تاليف

البروفيسير : ي ـ ايسبرغ

باريس

ترجمة واعداد

المهندس : شريف يوسف البعيني

الترانزستور

الترانزستور...؟ هذا سهل جداً

مراجعة وتنقيح الدكتور

المهندس

عصام عبود

تأليف

البروفيسير : ي ـ ايسبرغ

باريس

فن الترانزستور

بدون

الترانزستور ... ؟ هذا سهل جداً

ترجمة وتكملة واعداد

المهندس : شريف يوسف البعيني

تاليف

البروفيسير : ي ـ ايسبرغ

باريس

ترجمة واعداد

المهندس : شريف يوسف البعيني

الترانزستور

الترانزستور ... ؟ هذا سهل جداً

مراجعة وتنقيح الدكتور

المهندس

عصام عبود

بسم الله الرحمن الرحيم

ـ مقدمة القائم بالترجمة والاعداد :

يعتبر هذا الكتاب ، حلقة من سلسلة من المنشورات العلمية المبسطة صدرت في فرنسا تحت عنوان « ..؟ **هذاسهلَ جـدا** » .

ـ الحلقة الثانية كانت بعنوان . « **الراديو ...؟.. هذا سهل جدا** ».

ـ الحلقة الثالثة كانت بعنوان . « **التلفزة ..؟.. هذا سهل جدا** » .

ـ والحلقة الرابعة كانت بعنوان « **الترانزستور ... ؟ هذا سهل جدا** » انتشرت في فرنسا ومعظم الدول الاوربية الناطقة بالفرنسية وانتقلت الى اللغة الروسية ، فانتشرت في الاتحاد السوفييتي ومعظم الدول الاشتراكية ، وها هي تشكل الجزء الاساسي من هذا الكتاب وتضفي عليه طابعها ، السلس الممتع .

وان هذا الكتاب هو ، وسيلة فريدة من نوعها ، لتعريف العدد الكبير ، من القراء العرب ، على العناصر الحديثة والهامة في مجال الصناعات الالكترونية ، ـ على انصاف النواقل (الديود والترانزستور) التي دخلت معظم الوسائل الضرورية لمواجهة الحياة العصرية واصبح من الضروري ، أن يعرف المرء مع ماذا يتعامل ، وما هي طريقة عمل الاجهزة ، التي اصبحت من ضروريات الحياة ، مثل : الراديو ، التلفزيون ، التلفون الالة الحاسبة ، الساعة الالكترونية ..و...و...الخ ، ولو بشكل عام .

ـ لكي تكون معرفة مبادىء وطريقة عمل أنصاف النواقل والاجهزة التي تتكون منها ، متيسرة لاكبر عدد ممكن من القراء ، ذوي المستويات العلمية ، المقبولة جاء هذا الكتاب ليشرح الامور والحوادث التالية :

آ ـ بنية انصاف النواقل ، ب ـ الحوادث الفيزيائية التي يعتمد عليها عمل انصاف النواقل ، جـ ـ مبدأ عمل الترانزستور ومجالات استخدامه ، د ـ الخواص والصفات الايجابية للترانزستور بالمقارنة مع الصمام ، هـ ـ دراسة مراحل جهاز استقبال (راديو) ترانزستوري . و ـ حساب قيم عناصر بعض مراحل جهاز الاستقبال (الراديو) الترانزستور . ز ـ وضع المخططات التفصيلية لمراحل جهاز الاستقبال . ح ـ طرق التوصيل وافضل الطرق للاستفادة من منابع القدرة . وذلك بطريقة الحوار الحي ، ذي الاسلوب الممتع ، الذي يعتمد التشابيه ، المأخوذة من الحياة اليومية ، بروح رياضية مرحة ، وسيلة للاقناع ، وتوضيح الافكار ، بالاضافة الى العديد من الرسوم الهامشية ، التي جاءت لتزيد الفكرة وضوحا وتمثلها بما يجري في مجتمعنا الانساني ، وتجعلها سهلة الفهم .

هذه الامة التي كان قدرنا أن وجدنا من أجلها

ـــ يمكن لهذا الكتاب أن يكون مفيدا ، لهوات اللاسلكي ، الفنيين العاملين في استثمار وصيانة . واصلاح الاجهزة اللاسلكية ،

ـــ يمكن أن يقدم مساعدات قيمة لطلاب المعاهد المتوسطة وكليات الهندسة اللاسلكية . ولكل راغب في تنمية وتطوير مداركه في تقنية انصاف النواقل واللاسلكي .

ـــ قمت باعداد هذا الكتاب ، بحدوني هدف وحيد ، هو ، نقل العلوم العصرية ، سيما ما يتعلق منها بصناعة وهندسة الالكترونات ، التي أصبحت دعامة أساسية من دعائم الحضارة العصرية ، الى القراء ، على أوسع المستويات ، من أبناء هذه الامة ، التي كان قدرنا أن وجدنا من أجلها .

ـــ سعيت جاهدا ، أن يبقى للكتاب طابعه الاصيل ، في الاسلوب الحواري الممتع، المحلى بروح الفكاهة .

ـــ وبذلت الكثير من الجهد ، في وضع المخططات التكنولوجية والهندسية ، اللازمة لشرح بنية الترانزستور وطريقة عمله ، والمخططات العملية والحسابية ، التي تمكن القارىء ، من تركيب وحساب معظم مراحل جهاز الراديو الترانزستوري اذا كانت لديه بعض الخبرة .

ـــ أجريت على القسم الاساسي من الكتاب ، الكثير من التعديل والاضافات، بقصد جعله ينمشى مع التطور المستمر ، في صناعة انصاف النواقل ، وليكون أعم فائدة وأكثر شمولا لمعظم دارات ومراحل اجهزة الاستقبال الترانزستورية .

ـــ يمتاز كتابنا ، بوجود الرسوم الهامشية التوضيحية ، التي ترافق الفكرة وتمثل صورة حية عنهـا .

ـــ حرصت على استعمال الارقام المسماة خطأ ((**بالارقام الانكليزية أو الفرنسية**)) وهـي **أرقام عربية** ، اصلا وانتماء وذلك كدعوة لاستعادة تراثنا التليد .

نرجو من كافة الزملاء والرفاق القراء عذرا ، عما قد يكون هناك من ثغرات أو تقصير في عملنا العلمي هذا آملين أن نتلقى نصائحهم ونقدهم البناء واثقين بأنها ستكون لنا خير مؤشر ودليل، لسد الثغرات ، ومشجعا لمتابعة الطريق .

ـــ وأخيرا أرى لزاما علي،أن أتقدم بشكري العميق **للدكتور المهندس عصام عبود،** مدرس مادة التلفزيون بكلية الهندسة الالكترونية بدمشق ، على الجهود التي قدمها في تنقيح هذا الكتاب ، والنصائح القيمة التي أسداها ، والتي كان لها الاثر الايجابي ، في وصول هذاالكتاب الى شكله النهائي .

شريف يوسف البعيني

- متى ولد الترانزستور
- ما تأثير درجة الحرارة على كل من معاوقاته ، ثوابته
- ما هي ثوابت الترانزستور ؟

ـ مقدمة المؤلف :

كانت ولادة الترانزستور عـام 1948 ، ثورة في تكنولوجيا الصناعات الالكترونية ، قلبت المفاهيم السائدة في هذا المجال،راسا على عقب وخلال عدة سنوات، احتلت انصاف النواقل ، مكانا اساسيا في الصناعات الانفة الذكر . وجد فنيو هـذه الصناعة ، انفسهم ، امام عنصر جديد ، يختلف كل الاختلاف،عن العنصر المألوف لديهم، « الصمام الالكتروني » . فكان من الصعب ، على الكثيرين منهم ، التلاؤم مع العنصر الجديد وتحسس تلك الميزات الخاصة التي يتميز بها الثلاثي الكرستالي .

ظهر في المكتبات ، الكثير من الكتب ، التي تبحث في صناعة وعمل الترانزستور ، على أعلى المستويات الفنية ، الا أن قراءة وفهم هذه الكتب ، تتطلب معرفة اساسية، بالرياضيات وفيزياء الاجسام الصلبة ، الامر الذي يعتبر على غاية في الصعوبة ، ونادرا ما وجد في المكتبات ، كتابا جيدا ، متوسط المستوى ـ معد لعمال اللاسلكي ، والفنيين المتمرنين الراغبين بالتعمق في عالم الترانزستور وفهم الظواهر الفيزيائية التي تحدث به وامتلاك المقدرة ، على استيعاب المخططات الحديثة،التي نستعمل بها الترانزستورات، بدون صعوبـات .

ـ الحاجة الى مثل تلك المراجع المبسطة اضحت تتزايد بالحاح والرغبة في الحصول عليها ، اصبحت تتطلب الاستجابة . من اجل ذلك عمدنا الى وضع هذا الكتاب الى اولئك الذين يملكون بعض المعارف الاساسية في علوم الالكترون والكهرباء ، ويرغبون في معرفة عمل الترانزستور بدون كبير عناء .

ان هذه المهمة لا تعتبر سهلة للغاية ، لا تحتاج اية دراسة ـ بل على العكس لابد من أساس من المعرفة وبذل جهد ملموس ، في دراسة الابحاث ، ذلك لان الترانزستور، يختلف كثيرا بصفاته عن الصمام الالكتروني بسبب الترابط المتبادل بين كافة ثوابته ، انخفاض مقاومة دخله وتأثـره الشديد بالحرارة وبقيت العقبات التـي تقف بطريق استيعاب التقنية الحديثة .

من هنا كان الاتجاه في بادىء الامر الى تسمية الكتاب **الترانزستور ..؟ ليس بتلك السهولة** » الا انه من خلال الطريقة الحوارية ، التي تمت بها مناقشة كافـة المواضيع ، بين صديقينا ، **العـارف والمبتدىء** تمكنا من اقناعنا ، بأن المواضيـع ، لاتنطوي على صعوبات تذكر . ومن تلك اللحظة ، اصبح من المنطق ، ان يأخذ الكتاب صفة الحلقتين السابقتين من هذه السلسلة ويسمى**الترانزستور ..؟ هذاسهل جدا**

ـ هل هذا يعني ، ان محتويات الصفحات التي ستتلو هذه المقدمة ، سوف تكون

هل الجدية هي مفتاح سعادة الأغبياء!

على درجة من السهولة بحيث يمكن فهمها واستيعابها ، بدون أي عناء ..؟ طبعا لا .. فعلى القارىء ، أن يزج كامل اهتمامه في الدراسة الهادئة ، الجادة والمنتظمة ، وأن يكون متمكنا من العلوم الاساسية في الالكترونيات والكهرباء .

ـ لعل الرسوم التوضيحية الموجودة على الهامش تكون عامل مساعد لتوضيح الفكرة ومسحة من المرح في الجوي العلمي الجـــاف .

قد يجد بعض القراء ، أن محتويات الكتاب ، من معلوماتهم السابقة وعندها يكون الامر أفضل ، حيث تعمل دراسته ، على تثبيت معلوماتهم ، والتعمق في فهمها . وقد يجد البعض الاخر العكس ويستنفرون كامل طاقتهم لفهم طريقةاستخدامهنحنيات خواص الترانزستور وهذا مانصبوا اليـــه .

ـ لا داعي هنا ، للبحث عن النظريات الكاملة والدقيقة في علم الترانزستور ، ولا عن الوصف الدقيق ، لبنية مختلف نماذجه . وان جل اهتمامنا،أن نساعد القارىء على فهم المبادىء الاساسية لعمل الترانزستور والاجهزة الترانزستورية .

ـ كلا شخصيتي ، الحوار ، الذي يملأ صفحات الكتاب ، لا يتميزان عن بعضهما، لا في دراسة المواضيع ولا في جدية العمل ، وهما يتمسكان بوجهة نظر **مونتسكيو** الذي يؤكد ان « **الجدية ـ سعادة الاغبياء** » .

ي : آسبرغ

- من الطرق الكيميائية لتنقية الماء من الغازات الموجودة في الشمس وهو الماء
- يبدأ بدراسة الموضوع بشكل سطحي ومن ثم يدخل في الاستزادة في صلب
الموضوع .

شخصيات الحوار :

العارف : مدرس شاب لمادة اللاسلكي ، كان قد درس هذه المادة ، ذات مرة ، بمساعدة عمه المسمى راديوؤلا ، وهو مستعد دوما ، لاشباع الرغبات الجامحة ، في حب الاطلاع لدى محدثه وصديقه .

المبتدىء : رجل تحدوه رغبة جامحة في حب الاطلاع ، على الصناعات العلمية الحديثة ، وخصوصا صناعة اجهزة الاستقبال الترانزستورية . كان الطالب الاول ، عند المدرس الشاب الانف الذكر . جرت بينهما مناقشة واسعة ، في هذا الموضوع ، دونت في كتابين ، الاول بعنوان ، اللاسلكي شيء بسيط جدا . والثاني بعنوان ، التلفزة شيء بسيط جدا ...! من خلال المناقشة بين العارف والمبتدىء ، يمكن الاقتناع ، بان الشاب المبتدأ ، كانت تنقصه ، في بعض الاحيان ، بعض المعلومات الجزئية الضرورية لفهم مادة المناقشة ، ولكنه يبدو وكأنه يبحث دائما عن الطرق والوسائل الغير مألوفة ، لتغطية ذلك النقص وفهم الموضوع ، بطريقة مسلية مرحة ، تدفع على الاستزادة في حب الاطلاع ، وتساعد على فهم المسائل وتمثلها بسرعة فائقة . وفي الوقت الحاضر ، يعمل الشاب المبتدىء في مصنع لجمع وتطبيق اجهزة الاستقبال اللاسلكي ، كعامل جمع وتوصيل .

المحادثـــة الاولـــى :

حياة الذرة :

لا يمكن فهم عمل الترانزستورات ، بدون التعمق في بعض العلوم الاولية الاساسية : كالفيزياء والكيمياء ، المتعلقة في بنية وتركيب الذرة ، والروابط الاتحادية التي تربط بـــين الذرات . والى هذه الغاية ، يسعى أصدقاؤنا شخصيـات الحوار ، في مناقشتهما الاولي .

عناصر الحوار :

انصاف النواقل ، مبدأ عملها ، حسنـات الترانزستورات ، تأثير الحرارة على الترانزستور ، الحدود العملية للترانزستور ، سواء من حيث التردد ، أو الاستطاعة الجزيئيات ، الذرة ، البروتونات ، النوترونات،الالكترونات ، توزع الالكترونات علـى المدارات ، التأين ، العدد الكافـىء الاتحادي ، الشبكة الكرستالية (البلورية) .

المبتدىء ضحية أجهزة الاستقبال الترانزستورية :

العارف : انني سعيد جدا ، برؤياك ايها الصديق العزيز ـــ ارجو ان تكون قد امضيت اجازتك ، بسعادة وهدوء .

المبتدىء : ـــ آه ـــ كلا ...!، لم اكن سعيدا في هذه الاجازة

العارف : ما السبب ...!، اكان الطقس غير موات والسماء مليئة بالغيوم ...؟ ام كان البحر هائجا عالـــى الامواج ...؟

م ـــ ابدا ليس كذلك ، بل على العكس ، من تلك الناحية كنت محظوظا والطقس مثاليا ، ولكن لم تتوفر لي امكانيـــة الاستراحة على الشاطىء ، لان كافة الاماكن كانت مزدحمة بالمستحمين واجهزتهم الترانزستورية،التي ملات الجوضجيجا. حيث كانت تصدر من اجهزة الاستقبال الترانزستورية هذه ، الاغاني الملة لبعض المغنيـات ذات الاصوات السمجـة ،

والموسيقى الصاخبة ، وهكذا فقد تعرضت أعصابي ، لتأثير كافة المزعجات تلك . حقا انها لتجربة قاسية،يصعب تحملها. انني اتمنى لو كنت اعرف كيف ان هذه المستقبلات الترانزستورية الصغيرة ، تستطيع ان تخلق كل هذه الضجة ...! كما انني حاولت قراءة ذلك الكتاب ، الذي كان يجب ان يفتح عيني ، على نظريات عمل الترانزستورات ومواضع استخدامها .. الا انني لم افهم شيئا .....!

ع ــ نعم يا صديقي،لقد فهمت ما كان يضايقك في رحلتك الغير موفقة ، ولكن هذا يجب ان لا يجرح كبريائك ، وثق بي ، ان الترانزستور ليس بالشيء السهل الذي يمكن فهمه بسهولة، **فابان انعقاد المؤتمر العلمي العالمي ، الخاص بالترانزستور ، في مدينة لينينغراد عام** 1959 **، تحدث اللورد هلتوم في هذا الموضوع قائلا : ((انا اعتقد ، انه حتى في ارقى الدول المتقدمة صناعيا ، ربما لا يوجد شخص واحد ، من كل عشرة آلاف شخص،يستطيع فهم وشرح : ما هو الترانزستور ....؟..! أو حتى ما هي انصاف النواقل)) .**

م ــ يا الهي ...! ان هذا يثلج صدري ، والذي يبعث الاطمئنان في نفسي اكثر ، هو انني استطيع ان اقول : ما هي انصاف النواقل .

ع ــ مرحى لك يا عزيزي ..، وبامكانك ان تطور معلوماتك وتنميها في هذا المجال .

البنية ثلاثية الارجل :

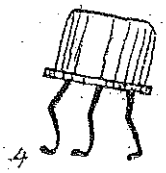
م ــ هيا لنبدأ ذلك ، حتى ولو ، من الخواص الاساسية البسيطة لانصاف النواقل ، التي تتمثل في ان انصاف النواقل ، تملك مقاومة اكبر بكثير من مقاومة النواقل واصغر بكثير من مقاومة الاجسام العازلة .

ع ــ هذا صحيح ...، ولكن هذه معلومات عامة جدا، ولكي تكون معلوماتنا اكثر دقة ، يجب ان تقول : ان انصاف النواقل ، كالجرمانيوم (الذي يستعمل بصورة اساسية لانتاج

الترانزستورات) ، تملك مقاومة نوعية ، اكبر بثلاثين مليون مرة ، من المقاومة النوعية في المعادن ، واقل بمليون مرة ، من المقاومة النوعية للزجاج . **الجدول رقم 1 يبين ذلك .**

م ــ يمكن اختصار ذلك بالجملة التالية : ان مكان انصاف النواقل ، في جدول المقاومات النوعية للاجسام ، اقرب الى مكان النواقل ، منه الى مكان العوازل .

ع ــ نعم ... هذا بالتأكيد ... لان الجرمانيوم يعتبر، الى حد ما ، ناقلا للتيار الكهربائي ، ولذا ، يمكن ان يصنع منه بنية ثلاثية المساري .



م ــ من هو ذا ، الذي نسميه بهذه التسمية .

ع ــ ان هذه التسمية ، يمكن ان تطلق على الترانزستور (أو النصف ناقل ثلاثي المساري) ، وذلك لانه يكون ذا مرابط سلكية ثلاث .

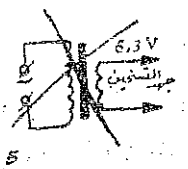
الاجسام العازلة	كوارتز	— 1000 000 000 000 000 000	
	ميكا	— 10 000 000 000 000 000	
	بارافين	— 100 000 000 000 000 000	
	كاوتشوك	— 1 000 000 000 000 000	
	ورق	— 10 000 000 000	
	زجاج وخزف	— 100 000 000	
انصاف النواقل السيليكون والجرمانيوم	صدا النحاس	— 1 000 000	المقاومة النوعية للاجسام مقدرة بالاوم في السنتمتر مكعب
	أملاح معدنية	— 10 000	
	خليطة من الشوائب	100	
	ملح الجرمانيوم	1	
		0,1	
الاجسام الناقلة (النواقل)	حديد	0,000 1	
	نحاس	0,00 000 1	
	فضة		

الشكل رقم 1 يبين توزيع اهم النواقل ، انصاف النواقل والمواد العازلة ، وفقا لترتيب المقاومة النوعية لكل منها . وهنا يبدو واضحا، أن المقاومة النوعية لانصاف النواقل ، تتوزع في مجال عريض جدا وتتغير بشكل ملموس .

م — اذا كنت قد فهمت الموضوع ، بشكل صحيح ، ارى ان الترانزستور ، يمكن أن يقوم مقام الصمام الالكتروني ،فهل يستطيع القيام ، بكافة المهام التي يقوم بها الصمام ، وايـــة ميزات يملكها ، اذا ما قورن مع الصمام ... ؟

ع — انظر ...! هذا ما كنت اتوقعه ، سيل مـــن الاسئلة ، تتدفق من صديقي العزيز . نعم يا عزيزي المبتدىء، ان الترانزستور كالصمام الالكتروني تماما ، يستطيع القيـام بتضخيم جهد الاشارات وكشفها ويستطيع القيام بتوليـــد الاهتزازات الكهربائية ، ويمكن استخدامه في تغيير الترددات ايضا ، وفي كافة الحالات الاخرى ، التي لا تزال حتى الان ، تستخدم فيها الصمامات الالكترونية.اما فيما يتعلق في الميزات، فانها في الترانزستور ، كثيرة : ولنبدأ اولا ، بعدم الحاجة الى جهد التسخين .

م — هذا شيء رائع ، — يعني لا حاجة بعد الان لمنبع خاص لجهد تسخين الفتائل ....؟



ع — كلا ...، لا حاجة لمثل هذا المنبع ، ولـذا فـان الترانزستور يبدأ عمله بسرعة ، بدون اي تأخير وبمجرد وصول جهد التغذية ، في حين ان عملية التسخين في الصمام ، تستغرق عدة ثواني على الاقل ، لتصل درجة حرارته الـى القيمـة اللازمة للاصدار (الاشعاع) الالكتروني .

م — انني اعتقد ان الغاء جهد التسخين ، يجب ان يرفع قيمة المردود ، وذلك لان قسما لايستهان به ، من قدرة منبع التغذية ، يضيع في تسخين فتائل الصمام ، على شكل حرارة متبددة .

ع — صحيح تماما .... الترانزستور بعيد جدا ، عما هو مألوف في الصمامات ، مـــن المساومات لتخفيض واطات القدرة التي تصرف بدون فائدة ، وتضيع على شكل حرارة . كما أن عمل الصمام الالكتروني ، يتطلب استطاعة قدرها 3÷2 واط ، بينما يكفي لعمل الترانزستور،عدة مئات من الميللي واط،

اي ان الاستطاعة اللازمة لعمل الترانزستور ، اقل بمئة مرة من الاستطاعة اللازمة للصمام الالكتروني . فاذا كان جهاز الاستقبال الصمامي ، يستهلك 200 W واط ، فان جهاز الاستقبال الترانزستوري ، تكفيه تماما ، استطاعة لا تتجاوز الـ 10 واط .

م ــ هذا يعني ، ان بطارية واحدة ، او بطاريتين من البطاريات المستعملة في تغذية مصباح الجيب ، تكفي تماما لارضاء الشهية المتواضعة للمستقبل الترانزستوري .

ع ــ نعم ... هكذا تتغذى تلك المستقبلات المحمولة ، التي اقلقت راحتك ، ونغصت وجودك على الشاطىء الجميل .

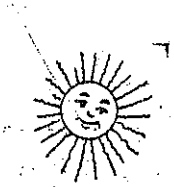
م ــ هل يمكن ان نقول ايضا ...؟ ، ان الترانزستور امتن واطول استمرارية في العمل ، من الصمامات الالكترونية ، حيث لا توجد فيه اسلاك التسخين الدقيقة ، التي تتعرض

للقطع والاحتراق ، ولا تنفذ في نهاية المطاف ، قدرته على اصدار الالكترونات .

ع ــ صحيح ... ان الترانزستور يتميز بثباته ، وطول عمره العملي ، وخفة وزنه وحجمه الصغير ، وهو عبارة عن بللورة (كرستال) من الجرمانيوم او السيليكون ، مزودة باطراف ثلاث ، وموضوعة داخل غلاف صلب البنية .

م ــ انه لشيء رائع ، يتميز في الحسنات فقط ، وليس له مساوىء .

الوجه الاخر للميدالية :



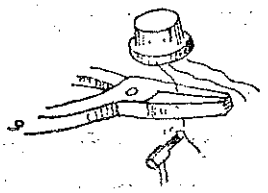
ع ــ لا تتعجل يا صديقي ، فان النتائج والقرارات السريعة ، تنطوي دوما على مخاطر ومحاذير جمة ... ! فمع الاسف ، توجد للترانزستور مساوىء ايضا ، ففي درجات الحرارة العالية ، للوسط المحيط ، والتي تتعدى 55°c ، ينخفض مردوده بصورة كافية . واذا تجاوزت درجة الحرارة

85°c ، فان الترانزستور ، يفقد خواصه النوعية الاولى حتى يعاد تبريده ، ويعتبر هذا صحيحا ، في ترانزستورات الجرمانيوم على الاقل،أما ترانزستورات السيليكون ،فتستطيع بكل سهولة ، تحمل الحرارة العالية ، ولا تخيفها ، حتى الحرارة التي تصل الى 150°c . ويفسر ذلك ، بان الكترونات الطبقة الخارجية في السيليكون ، ترتبط ارتباطا اقوى بنواة الذرة .

م — ما هذا الخطر ... ، اعدك بأنني بعد الان ، لااقترب بالمكواة الحامية ، نحو الترانزستور ابدا ، طالما ان في ذلك مثل هذا الخطر على عمله .

ع — حسنا تفعل ، وبصورة عامة ، لكي نلحم أرجل الترانزستور ، يجب ان تمتص الحرارة الناتجة عن عملية اللحام ، والتي تعطيها نهاية الكاوي ، ولا يسمح لها بالوصول الى العنصر الفعال في الترانزستور .

م — كيف يتم تحقيق ذلك ... ؟



ع — ان هذا يمكن تحقيقه بسهولة . يجب ان يمسك السلك الواصل بين الترانزستور ومكان اللحام (مربط الترانزستور) ، بملقط أو بنسة،لامتصاص الحرارة وتبديدها، وبالاضافة الى ذلك ، تصنع مساري (أرجل) الترانزستور ، من معدن سيء الناقلية الحرارية . ولحسن الحظ ، فان المعدن ذا الناقلية الحرورية السيئة ، يكون ذو ناقلية كهربائية جيدة .

م — أيمكن أن يوصم الترانزستور ، بمعايب أخرى أيضا .

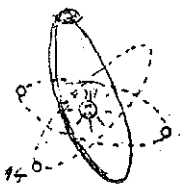
ع — نعم يا صديقي ... فلسوء الحظ ، ان امكانية الترانزستور ، من حيث التردد محدودة ، وكذلك من حيث مجال الاستطاعة . فهو لا يستطيع العمل ، في مجال الترددات التى تزيد عن عدة آلاف من الميغاهرتز .

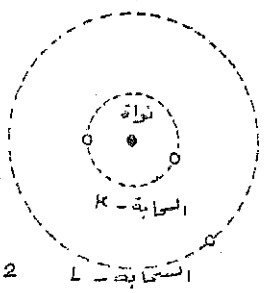
م — ولكن هذا لا يعتبر سيئة بارزة ، اذا نحن تذكرنا ، أن الميغاهرتز ، هو مليون هزة في الثانية .

• ما الفرق بين المنظومة الشمسية والذرة
• ما هي العلاقة بين اضلاع أضلاع المثلث

غ ــ مرحى لك أيها المبتدىء ...! لقد اخذت تتقدم شيئا فشيئا . لنعمل الان على تحطيم الجزيء الذي يتكون من الذرات ، التي هي عبارة عن الدقائق الاولية للمواد البسيطة (او العناصر) . ان كل ذرة ، كما هو معلوم لديك : ..!

م ــ نعم ــ .... نعم تعتبر مثل منظومة شمسية كاملة، مصغرة ، مع اعتبار الشمس نفسها ، نواة لهذه المنظومة . وان منظومتنا الشمسية هذه ، تتكون من البروتونات (دقائق أولية مشحونة بشحنة كهربائية موجبة **والنترونات** ، اماالاقمار والكواكب ، في هذه المنظومة ، فتمثلها **الالكترونات** او الدقائق الاولية التي تدور حول نواة الذرة . وهي ذات شحنة كهربائية سالبة ، (انظر الشكل رقم 2





شكل رقم 2 ذرة لاثيوم تملك الكترونين على الطبقة والكترون واحد على الطبقة L

ع ــ انت تتكلم ، كما هو وارد في الكتاب تماما ، ولكن ، يجب أن تكون حذرا كل الحذر ، من المطابقة والمقارنة ، فاذا كانت كواكب المنظومة الشمسية ، تدور حول الشمس في مستو واحد ، فان الالكترونات تدور حول النواة ، على مدارات تمر من مستويات مختلفة ، وان هذه المدارات،تتوضع في الفراغ حول النواة ، ليس حسب الصدفة ، بل تستطيع ان تشغل اماكن معينة فقط ، دون أن تتعداها ، وذلك ضمن ما يسمى **بالطبقات الالكترونية** ، التي يرمز لها بالرموز : K, L, M, N, O, P, Q, ويمكن أن نتصور هذه الطبقات، على شكل كرات فارغة رقيقة جدا ، تتجمع بكثافة معينة لتكون السحابة ، التي تتوضع في مركزها نواة الذرة . اما

أنصاف اقطار هذه الكرات ، فتتناسب مع مربعات أرقامها ، (أرقام ترتيبها) .

م — انتظر رويدا ياصديقي العارف ، ..! ان هـذا المقدار من المعلومات ، بالنسبة لي ، دفعة واحدة أمر يصعب فهمه .. آه لو كنت تبسط الموضوع أكثر .

ع — لا شيء أبسط من ذلك ...، الطبقة K هي الطبقة رقم 1 ، وتبعا لذلك تأخذ الطبقة L الرقم 2 والطبقة M الرقم 3 ، وبناء على ما ورد اعلاه ، فان نصف قطر الكرة المكونة من الطبقة L ، يكون اكبر بمقدار $2^2 = 4$ مـرات ، من نصف قطر الكرة المكونة من الطبقـة K ، ونصف قطر الكرة المكونة من الطبقة M ، اكبر بـ $3^2 = 9$ مرات من نصف قطر الكـرة المكونة مـن الطبقـة K ، وهكذا ... ، .

م — وهذا يعني ، أن نصف الكرة المكونة من الطبقة السابعة ، التي تسميها انت الطبقة Q ، يصبح اكبر بـ 7^2 أي 49 ، من نصف قطر الكرة المكونة من الطبقة K ، ... ؟

ع — طبعا . بدون أي شك ، وعدا عن ذلك ، فان القدرة التي يملكها كل الكترون من الالكترونات ، تزداد وفقا لازدياد أرقام الطبقات (ويقال عادة الارقام الكونية) ، التي يوجـد عليها الالكترون .

م — أصبح من المفهوم ان المسافة بين النواة والطبقات الالكترونية تزداد من طبقة الى أخرى ولكن ما هي المسافات الحقيقية بين النواة والطبقات الانفة الذكر ...؟

ع — لا تخف ...، انها مسافة أصغر من ان تقاس ، حيث أن أقرب طبقة الى النواة ، هي الطبقة K ، وتبعد عنهـا بمقدار ، خمسة أجزاء مـن المليار مـن السنتمتر $\frac{5}{1000\ 000\ 000}$ سم ولكن أخشى ، أن يكون هذا الرقم لايعنى شيئا ، بالنسبة لك لذا ، فانني سأحاول توضيح ذلك . تصور

نفسك يا صديقي ، انك ساحر خارق القدرة ، تستطيع بواسطة العصا السحرية ، تكبير اي شـــيء بمقدار عشرة مرات ، ولنفرض ايها الساحر ، انك تضرب بالعصا السحرية علـــى ذرة الفحم 14 مرة متتالية .

م ـــ عندئذ تكبر الذرة بمقدار 10^{14} (1) مرة ، ويمكن ان يصل حجمها الى حجم الكرة الارضية ، بحيث انك لن تجد مكانا يسعها . والتصفيق الحار للساحر الخارق القدرة .

ع ـــ ابدا ليس كذلك ..! البروتون يصبح حجمه بحجم التفاحة العادية ، والالكترون (وان كان وزنه اقل بـ 1837 مرة ، من وزن البرتون) يصبح بحجم كرة القدم ، واذا وضعت نواة هذه الذرة ، في ساحة المرجة، فان زوج الالكترونات الواقع في الطبقة . K ، تراه يدور على بعد 5 كيلو متر من مركز الساحة ، يعني على اطراف مدينة دمشق ، اما فيما يتعلق بالالكترونات الاربع المتبقية ، والواقعة على الطبقة الخارجية، فتأخذ مدارها على بعد 20 كيلو متر عن مركز المدينة ، حيث تقـــع النواة .

المبتدىء أصيب بدوار الرأس :

م ـــ ولكن ماذا يوجد بين التفاحة وكرات القدم ...؟

ع ـــ لا يوجد اي شيء ...!، يوجد فراغ ، وتوجد بالطبع ، قوة محركة كهربائية ومغناطيسية ، وقوى الثقل وقوى اخرى ، هي قوى التجاذب فيمابينها جميعا . وتعمل هـــذه القوى جميعها ، للمحافظة على المنظومة الذرية بكاملها ، في وضعية التوازن . أما الشحنات الكهربائية ، ذات الاشارات المتعاكسة ، فتسبب تجاذب متبادل ، ولذلك لا تستطيـــع الالكترونات ، الانفصال عن نواة ذرتها ، على الرغم من وجود القوة النابذة ، التي تعمل على فصل هذه الالكترونات عن النـــواة .

---

(1) تحوي نواة ذرة الفحم ، على 6 بروتونات و 6 نانيترونات ووفقا لذلك ، فان هذه الذرة ، تحوي على 6 الكترونات ، اثنان منها على الطبقة الاولى و K والاربعة الباقية على الطبقة الثانية L

م — انك تخيفني بما تقول ، فاذا كان الامر هكذا ، فان الذرة أقرب في تكوينها ، الى الفراغ ، منه الى المادة .

ع — ان ما تقوله صحيح ، تماما يا صديقي ، ولو كان بالامكان ، جمع كافة النوى والالكترونات الموجودة في جسمك على سبيل المثال ، وضغطها هكذا ، بحيث ان لا يبقى فراغات بينها ، لاصبحت جميعها حبة صغيرة جدا ، يصعب تمييزها ، حتى ولو تحت المجهر .ولكن وزن هذه الحبة الصغيرة يساوي، وزنك تماما ، 70 كيلو غرام .

م — اني احس بقشعريرة تنتشر في جسمي ، كل مرة عندما تذكرني ، بأنني أيضا اتكون من ذرات ، ولكن الان ، وبعد أن أوضحت لي ، أن في جسمي ، توجد تلك الفراغات الكثيرة ، اصبحت اتعرض لنوبات صرعية ، من دوران الرأس .

ع — لذلك من الاعقل ، ان نتحدث في المستقبل عن ذرات أخرى ، وليس عن ذرات جسمك ، ولكي تكون بنية الذرة اكثر وضوحا ، بالنسبة لنا ، لنتفق على تمثيل كل طبقة، بدائرة تحيط بالمركز الذي هو النواة ، وكما تعلم بالطبع ، تتميز ذرة الهيدروجين بابسط بنية ، فهي تتكون من بروتون واحد ، والكترون واحد فقط ، موجود على الطبقة K ، اما في ذرة الهليوم،فيدور زوج من الالكترونات ، على نفس الطبقة K ، حول زوج من البروتونات يكونان نواة ذرة الهليوم ، كما هو مبين على الشكل رقم — 3 .

شكل رقم 3 ذرتان من ابسط الذرات تركيبا
أ — ذرة الهايدروجين فردية الالكترونات . ب — ذرة الهليوم زوجية الالكترونات

م — ففي أي عنصر ، توجد ثلاث الكترونات ، تدور على الطبقة — K ...؟

عدد الاماكـــن محدود :

ع ـــ لا يوجد اي عنصر ، ذلك لان هذه الطبقة،لاتستطيع احتواء ، اكثر من زوج من الالكترونات ، وعلى غرار ذلكتماما، تجد ، أن الطبقة ـــ L ، لا تستطيع امتلاك أكثر من ثمان الكترونات،والكترونات الطبقة M ، لا تزيد عن 18 الكترونا، والكترونات الطبقة ـــ N ، لا تزيد عن 32 ، والكترونـــات الطبقة ـــ O ، لا تزيد عن 50 ، والكترونات الطبقة ـــ P لا تزيد عن 72 ، والكترونات الطبقة ـــ Q ، لا تزيد عن 98

م ـــ ان هذا التسلسل شيق جدا ، ومثير للفضول ، خاصة وانك تذكره بهذا التدرج السهل .

ع ـــ ان الفضل في ذلك لا يعود لي ، ذلك لان هـــــذه الاعداد تحدد بواسطة قانون سهل للغاية ، يأخذ الشكل التالي:

$$M = 2 \times N^2$$

حيث أن ـــ M عدد الالكترونات و N رقم المدار وبناء على ذلك يكون عدد الالكترونات :

بالنسبة للطبقة الاولـى	K	$M = 1^2 \times 2 = 2$
بالنسبة للطبقة الثانيـة	L	$M = 2^2 \times 2 = 8$
بالنسبة للطبقة الثالثـة	M	$M = 3^2 \times 2 = 18$
بالنسبة للطبقة الرابعـة	N	$M = 4^2 \times 2 = 32$
بالنسبة للطبقة الخامسة	O	$M = 5^2 \times 2 = 50$
بالنسبة للطبقة السادسة	P	$M = 6^2 \times 2 = 72$
بالنسبة للطبقة السابعة	Q	$M = 7^2 \times 2 = 98$

م ـــ ان هذا التسلسل شيـــق جدا ، ومثير للفضول ، وهذا يعني ، أنه توجد ذرات تحوي على هذا العدد مـــــن الالكترونات .

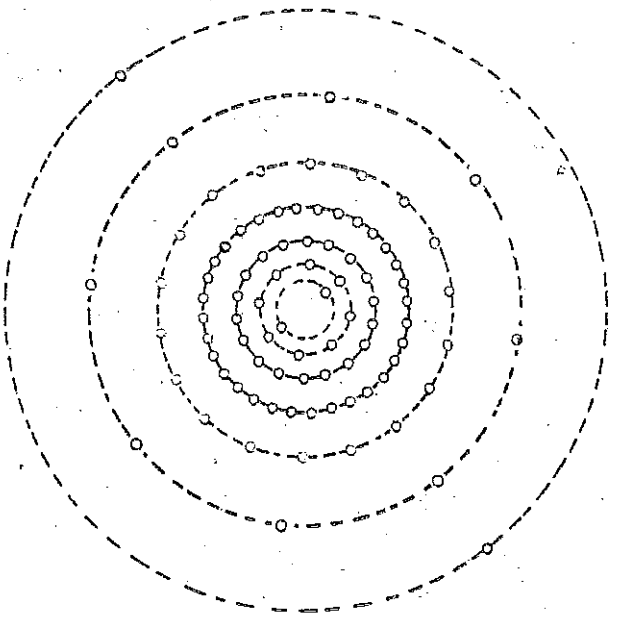
ع ـــ كلا . . . ! .وذلك لانه اذا كانت الطبقات K L M N تستطيع فعلا ، أن تمتلك الكميات المشار اليها من الالكترونات،

فانه لا يوجد عادة على الطبقة ــ O اكثر من 18 الكترون، وعلى الطبقة ــ P ، اكثر من 32 الكترون ، ولا يوجد على الطبقة ــ Q ، أكثر من 10 الكترونات فقط ، .. انظر الشكل رقم 4

م ــ هذا جميل جدا ، ولكنني أظن ، أننا سوف نتعرض للوقوع في الخطأ،وربما نتوه في مختبرات فيزياء الذرة والنواة.

ع ــ بالعكس ، نحن الآن سنتخذ القرار الذي يسهل لنا ، الى حد بعيد ، دراسة كافة المسائل ، فاذا كنت موافق ... ؟ سنبدأ الان ، فقط بحساب الالكترونات الموجودة على الطبقة الخارجية في الذرة .

م ــ حسنا ، انت كشفت لي الان ، عن وجود طبقات



الشكل رقم 4 مخطط توزيع الالكترونات في ذرة الراديوم على مختلف الطبقات في الحقيقة ، ان المدارات التي تدور عليها الالكترونات تتوزع على مختلف المستويات .

متعددة ، ولذلك اصبحت الذرة تذكرني ، بتكوين البصلة ، وتمنعني من تقشيرها فورا . اترغب ياترى في حفظ الدمرع التى تستنزفها البصلة من عيوني عند تقشيرهاوالدخولبينطبقاتها .

الحالة الحيادية وحالة التأين :

ع ــ ان القانون الذي سنتوصل اليه ، لا بد وأن يكون قانونا شرعيا تماما ، ولكن ما هو الموضوع الذي يهمنا بحثه في نهاية المطاف ...؟ طبعا الحالة الالكترونية للذرة ...!، وبنفس الوقت نحن نعلم ، ان الذرة تحوي في طبقاتها على الكترونات تساوي عددها عدد البروتونات الموجودة داخل النواة ، وفي النتيجة نرى ان الشحنة الكهربائية السالبة في الاولى ، تساوي وتعادل الشحنة الكهربائية الموجبة في الثانية . وفي مثل هذه الحالة تكون الذرة ساكنة ، محايدة ، ولكن يمكن أن يحدث ، ان تنتزع قوة خارجية ما، الكترونا واحدا أو عدة الكترونات من بنية الذرة ، في هذه الحالة يختل التوازن الكهربائي ، حيث ان القيمة الاجمالية للشحنة الكهربائية السالبة في الالكترونات ، الدائرة على الطبقات الخارجية ، تصبح اقل من الشحنة الموجبة . للبروتونات ، الموجودة في النواة . ان مثل هذه الذرة تسمى بالذرة **المتأينة** ، وهذه العملية تسمى بعملية **التأين** .

م ــ ولكن اذا حصل العكس ، أي اذا اكتسبت الذرة لسبب ما ، الكترونا اضافيا ، فانها تصبح سالبة الشحنة ، أعتقد في هذه الحالة ، يمكن أن تسمى الذرة سالبة **التأين**.

ع ــ رائع جدا ...، الا أن عملية فقدان أو كسب الالكترونات ، (العملية المسماة بالتأين) ، تحدث بصورة رئيسية ، على الطبقة الخارجية ، حيث تكون قوة جذب النواة للالكترونات ، صغيرة القيمة .

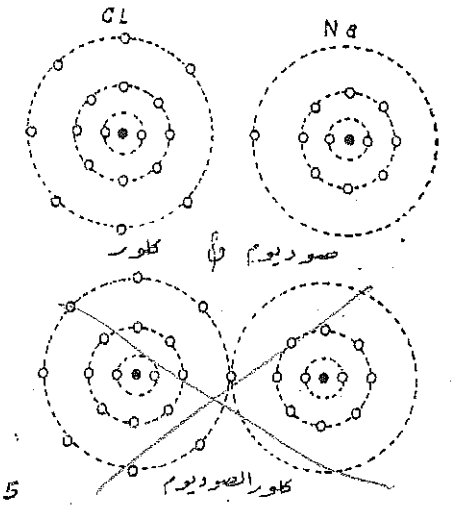
م ــ نعم ... انني اعلم ، واعرف انه في هذه الحالة ، يمكن أن نهتم فقط ، بالالكترونات الموجودة على الطبقات الخارجية .

مواضيع التزاوج :

ع ــ يعود ذلك لسبب آخر أيضا ، حيث نرى بالتأكيد ، أن هذه الطبقة ، هــي التــي تحدد الخواص الكيميائيــة للالكترونات ، وفعلا ترى ، أن الالكترونات ، لا تكون راضيــة عن وضعها ، الا في الحالة التي يكون فيها على الطبقة الخارجية ، ثمان الكترونات ، ففي هذه الحالة ، تصبح الذرة مستقرة ، لا تفكر في ضم اية الكترونات ، ولا في التخلي عنها . فعلى سبيل المثال ، نرى ان ذرة النيون ، التي يحوي مدارهــا الخارجي M على ثمان الكترونات ، تكون راضية جدا ، ولا تفكر ولا تسعى للاتصال مع اي عنصر كيميائي آخر . اما ذرة الكلور ، التي تملك على مدارها الخارجي ــ M ، نفسه فقط 7 الكترونات ، فهي تسعى بأية طريقة كانت ، لتدخل في اتصال مع العناصر الاخرى ، القادرة على اعطاء الكترون واحد ، وذلك لاستكمال عدد الكتروناتها على المدار الخارجي الى ثمانيــة .

م ــ وكيف يتحقق مثل هذا الترابط والاندماج الفردي بينهمــا ...؟

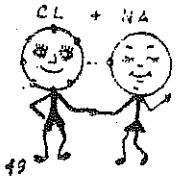
ع ــ خذ على سبيل المثال ، ذرة الكلور ، التي يوجد على مدارها الخارجي ــ M ، 7 الكترونات والصوديوم ، التي تملك الكترونين على الطبقة الاولى ــ K ، وثمان الكترونات على الطبقة ــ L ، والكترونا واحدا على الطبقة الخارجية ــ M ، وبذلك تقدم لك هنا ، زوج مثالي من الذرات القابلة للتفاعل الزوجي . فعندما يدخل عنصر الصوديوم ، في تفاعل مع عنصر الكلور ، يعطيه الكترونه الوحيد الموجود على الطبقة الخارجية ، فتكتمل ذرة الكلور الكتروناتها ، على المدار الخارجي الى ثمانية ، وبنفس الوقت تصبح الطبقــة الخارجية للصوديوم ، هي الطبقة ــ L ، التي تحوي أصلا ، على ثماني الكترونات ، وهذا يعطي لذرة الصوديوم ، درجــة ثبات عالية (انظر الشكل رقم 5)



رسم رقم 5 يبين التفاعلات التي تجري عند اتحاد ذرة من الكلور مع ذرة الفترات التي تشكل جزئيات فترات الكلور .

م ــ نعم ... ولكن، عندما يحصل الكلور ، على الكترونا زائدا ، يصبح متاين تاينا سالبا ، وعندما يفقد الصوديوم ، احد الكتروناته ، يصبح متاينا ايجابيا ، اليس كذلك ...؟

ع ــ نعم ... بدون شك ...!، كما ان التجاذب المتبادل بين الذرتين المتاينتين ، يجعل بنية الجزيئيات ثابتة مستقرة ، وذلك بنتيجة التزاوج .



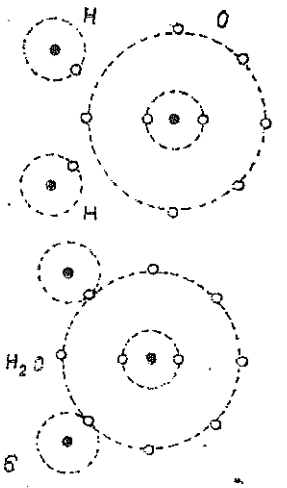
م ــ وكيف نسمي التركيب الناتج الجديد ...؟

ع ــ كلور الصوديوم . ولكن اذا كنت ترغب في شرائه، من المخازن الكيميائية ، فهو يباع ايضا في البقاليات ، باسم الملح البافاري (ملح الطعام) .

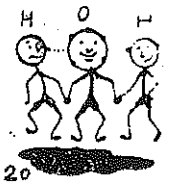
م ــ انني لم اكن متأكدا من ذلك ، اما الان ، فاظن انه على ذلك النحو ، يمكن تفسير التزاوجات الاخرى للذرات ، وكيف يحدث ذلك ، مثلا ، عند تشكيل جزيء الماء .

ع ــ ان عملية الاتحاد ، تتم بطريقة لطيفة جدا ، حيث ان ذرة الاكسجين ، تملك على مدارها الخارجي ــ 6 الكترونات ، وبناء على ذلك ، فانه يوجد على هذا المدار ،

مكانين شاغرين ، وعندها ، يقوم الاكسجين ، بضم ذرتين من الهيدروجين ، لاملاء المكانين الشاغرين الانفي الذكر ، ولتسمح لي يا صديقي ، أن اذكرك ، بان ذرة الهيدروجين ، تملك الكترونا واحدا فقط ...، انظر الشكل رقم 6 .



الشكل رقم 6 يبين كيف ان ذرتين الكترونيهما الوحيدين ، الى ذرة من الهيدروجين H ، تعطيان الاوكسجين O ، ليتم عدد الكتروناته على مداره الخارجي L ، الى ثمانية، وبنتيجة اتحاد هذه الذرات الثلاث ، ينتج جزيء جديد ، هو اكسيد الهيدروجين ، أو ما يسمى عادة ، بالماء (H^2O)



م ــ الان اصبحت أعلم جيدا ، لماذا يتألف الماء من ذرة واحدة من الاكسجين ، وذرتين من الهيدروجين ....!

ع ــ تسمى الطبقة او المدار الخارجي ، **بطبقة الاتحاد أو التكافيء الكيميائي** مع الاخذ بعين الاعتبار ، ان عدد الالكترونات على هذه الطبقة ، يحدد التفاعل أو التركيب ، الذي يمكن للذرة ، أن تدخل به ، مع الذرات الاخرى ، ويسمى عدد الذرات ، اللازمة للعنصر ، لكي يصل الى حالةالاستقرار، أو بطريقة عكسية ، عدد الالكترونات التي تستطيع الذرة اعطائها الى ذرة أخرى ، كي تصبح هذه الاخيرة متعادلة مستقرة ، يسمى هذا العدد **بالعدد الاتحادي أو التكافؤ الكيميائي للذرة** .

م ــ عفوا .. اسمح لي ياصديقي ، أن اقول لك، أن هذه التسمية بالنسبة لي ليست واضحة ...! .

ع ــ اطمئن ..، سأوضح لك هذه الفكرة ثانية ، كي لا يبقى هناك أي غموض . فعلى سبيل المثال ، اذا كان على

أحمد غبطة !!

الطبقة الخارجية للذرة ، 6 أو 7 الكترونات ، فحتى تستكمل طقمها الكامل،المكون من ثمان الكترونات،يلزمها على التوالي : 2 أو الكترون واحد ، فمثل هذه الذرات،يمكن أن يقال عنها: **ثنائية أو أحادية التكافؤ** ، على التوالي . أما اذا كانت الطبقة الخارجية ، تحوي على : 1 ، 2 أو 3 الكترون ، فعندها ، تصبح الذرة اكثر ميلا لان تعطي هذه الالكترونات الى ذرات اخرى ، لان الحصول على الالكترونات ، تكمل هذا العدد الى طقم كامل ، 8 الكترونات ، اصعب من التخلي عنها . وفي هذه الحالة ايضا ، يمكن ان تسمى الذرات : **احادية التكافؤ ، ثنائية التكافؤ أو ثلاثية التكافؤ** ، على التوالي .

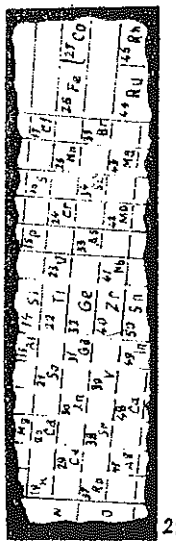
م ــ واذا كانت الطبقة الخارجية ، تحوي على أربع الكترونات ...؟

ع ــ في هذه الحالة ، تكون الذرة اكثر غبطة ، لو تسنى لها ، أن تتحد مع ذرة اخرى ، تحوي في طبقتها الخارجية ، على اربع الكترونات ايضا ، وتبعا لذلك،فان مثل هذه الذرة تسمى: **برباعية التكافؤ** ، وبصورة خاصة ، فان مثل هذه الذرات ، توجد في مادتي **الجرمانيوم والسيليكون** ، اللتان تستخدمان في صناعة الترانزستورات ، وفي الكربون . واخيرا ، اذا كانت الطبقة الخارجية ، تحوي على خمسة الكترونات ، فان الذرة عندئذ ، تسمى : **بخماسية التكافؤ** ومن خلال عودتنا للبحث في موضوع الترانزستورات ، فانني اقدم لك بعض العناصر الكيميائية المستخدمة في صناعتها . فمن جهة ، يوجد لدينا كل من عنصر الالمنيوم والغاليوم ، التي لمتلك مداراتها الخارجية ، فقط ثلاث الكترونات ، على كل منها ، اي **ثلاثية التكافؤ** ، ومن جهة اخرى ، يوجد الزرنيخ والانتيمون التي تحوي مداراتها الخارجية على خمس الكترونات ، اي**خماسية التكافؤ** ، كما هو مبين في الجدول رقم 7 ،

م ــ هل يعني اننا سوف نستعرض ، بمثل هذه الطريقة، كافة العناصر الكيميائية .

الترتيب الرقمي للـــذرة	اسم العنصر	الرمـــز الاصطلاحي	عدد الالكترونات على كل مدار					
13	المنيوم	AL	2	8	3			
14	سيليكون	Si	2	8	4			
31	غاليوم	Ga	2	8	18	3		
32	جرمانيوم	Ge	2	8	18	4		
33	زرنيخ	As	2	8	18	5		
49	انديوم	In	2	8	18	18	3	
51	انتيمون	Sb	2	8	18	18	5	

جدول رقم 7 يبين توزيع الالكترونات (العدد العـــام للالكترونات في العنصر يسمى « بالرقم الذري ») على مختلف المدارات ، في العناصر الاساسية .

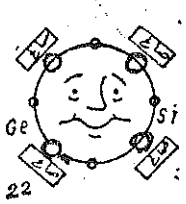


21

الحياة الاجتماعية في مجتمع الذرات :

ع ــ لا .. اطمئن ، سوف نحدد عملنا في العناصر ، ذات القيم والعلاقات الهامة في تكنولوجيا الترانزستورات . ولكن نحن نرتكب خطأ ، اذا اقتصرت دراستنا على خواص وطبائع الذرات،بل يجب ان نهتم خصيصا،بحياتهم الاجتماعية. باستثناء تلك الخواص الخاطئة ، مثل حدوث التأين وتواجد ثمان الكترونات على المدار الخارجي ، بحيث يمتنع العنصر ، بصورة قطعية ، حتى تحت أية ظروف كانت ، من الاتحاد مع أية عناصر اخرى ، تعيش معه في نفس المجتمع ، وتركيبهـــا التنظيمي ، يملك خواصا ، اقل او اكثر تنظيما من الخواص الطبيعية . لا تنسى ذلك . . . !

وفي الاجسام الصلبة ايضا (باستثناء الاجسام الصلبة ، تلك ، التي تشبه في بنيتها السوائل كالزجاج مثلا) ، حيـــث تتوضع الذرات في نظام محدد بدقة ، وتشكل شبكة كرستالية (بللورية منتظمة) .



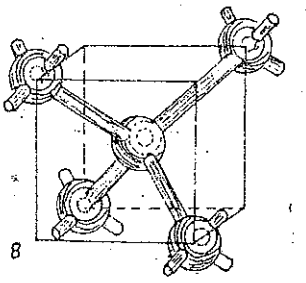
22

م ــ بأية طريقة يتم اتحاد الذرات في هذه الاجسام . . . ؟

ع ــ ان هذا يتوقف على طبيعة الاشياء :

لنأخذ على سبيل المثال ، عنصر الجرمانيوم ، أو السيليكون ، ففي هاتين المادتين ، ترتبط كل ذرة ، بواسطة الكتروناتها الاربعة ، الموجودة على المدار الخارجي ، مع أربع ذرات أخرى ، بمعدل الكترون واحد ، لكل ذرة مجاورة ، كما أن كل ذرة مجاورة ، تعطي ، بدورها ، الكترونا واحدا ، للاتصال مع الذرة الاولى . وهأنا قد رسمت هنا ، ذرة واحدة فقط ، تتصل مع جاراتها الاربع ، بأربع روابط اتحادية (انظر الشكل رقم 8) . ولكن ، كل من الذرات المتجاورة الاربع ، تتصل بدورها ، مع الذرات الاربع المجاورة لها ، بما في ذلك الذرة المبينة في مركز ، (الشكل رقم 8) وهكذا دواليك . والان يبدو لنا جيدا ، أن كل ذرة تملك الان بمعدل 8 الكترونات على المدار الخارجي ، الامر الذي يحدد ، كما رأينا سابقا ، شروط استقرار الذرة ، وسوف نتقدم فيما بعد ، نموذجا مماثلا ، لتوضع الذرات في الفضاء .

م ــ آه .. انها لخارطة يصعب تذكرها ، بل بالعكس ، قابلة لسرعة النسيان .. ان هذه الكرات المعلقة بالهواء ، والتي تشبه ، كل منها ، آلهة الهندوس ، تتجاذب مع جيرانها



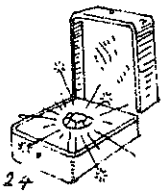
شكل رقم 8 يمثل ذرة الجرمانيوم الموجودة في مركز المكعب تتصل بواسطة الكتروناتها الاتحادية الاربعة مع أربعة من الذرات المجاورة .
ان المكعب رسم فقط ليوضح طريقة توضع الذرات في الفلاء كما أن بلورات الكربون والسيليكون تملك بنية مشابهة لهذه البنية المبينة اعلاه .

من الذرات، بأربعة أيدي....!..؟هل كافة الاجسام الصلبة، تشكل بلورة (كرستال) مشابهة ..؟

المعادن تملك عدداً قليلاً من الالكترونات السطحية
لماذا تعتبر أشباه المعادن عازلة

ع ــ لا يا صديقي المبتدىء ..، ولكن ، بعض العناصر الكيميائية الاخرى ، تملك مثل هذا التوزيع ، وبصورة خاصة ، الكربون الذي يسمون بلوراته الكبيرة .....

م ــ الذي يسمون بلوراتها الكبيرة ، **الالماس** ، أليس كذلك ...؟ انني اعلم ذلك ، لان الالماس أعز أصدقائي . ومن حظنا نحن ، أن الترانزستور يصنع من الجرمانيوم وليس من الالماس ، والا لكانت اثمان الترانزستور غالية جدا ...



ع ــ نعم ...، بالنسبة لنا والا، لكانت ياصديقي ، خسارة كبيرة جدا ، ولكن بنفس الوقت ، يوجد أنواع كثيرة من البلورات ، التي لا تهمنا في بحثنا اليوم ، والامر الـــذى يعتبر على درجة عالية من الاهمية ؟ بالنسبة لنا ، هو دراسة خواص الالكترونات الموجودة على المدار الخارجي للذرة ، أو كما قد اسميناها ، **الالكترونات الخارجية** .

م ــ أنت قلت لي ، أن فصلها عن نواة الذرة ، أسهل من فصل غيرها مـــن الالكترونات ، لان جذب النواة لها ، أضعـــف .....

ع ــ هذا صحيح ...، ولكنها تنفصل عن النواة ، فقط، عندما يكون عددها على المدار الخارجي ، قليلا ، (واحد ، اثنان أو ثلاثة) وفي مثل هذه الظروف ، توجد كافة المعادن ، مثل : الذهب ، الفضة والنحاس ، التي تملك فقط ، الكترونا واحد خارجيا ، في كل ذرة ، والحديد والزنك والمنغانيز ، التي تملك زوجا من الالكترونات الخارجية ... والالمنيوم ، الذي يملك ثلاث الكترونات خارجية ، ان هذه الالكترونات ، تنفصل بسهولة عن النواة وتصبح حرة،تشكل تيارالالكترونات الذي نسميه نحن **التيار الكهربائي** وخلافا للخواص الالكترونية في المعادن ، نجد أن المواد المسماة اشباه المعادن ، تملك عددا كبيرا من الالكترونات ، على المدار الخارجي في ذراتها ، وان هذه الالكترونات ، لا تبدي رغبـــة في التخلي عـــن نواتهـــا والانجذاب نحو تلك الذرة ، التي تستمليها ، رغبة في ضمها الى الكتروناتها ، بنفس الطريقة المتبعة في المعادن . من هنـــا نرى ، لماذا تعتبر اشباه المعادن عازلة .

م ــ هل ان الجرمانيوم ، بالكتروناته الاربع، الموجودة على مداره الخارجي ، يعتبر عازلا أيضا ..؟

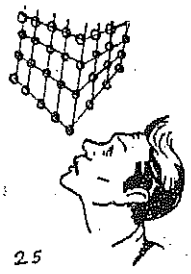
ع ــ ان هذا السؤال ، يمكن الاجابة عليه ، بنعم ...! او لا ، وفي المرة القادمة ، سأشرح لك يا صديقي العزيز ، ماذا تعني اجابتي الاغريقية ، بالامتناع عن الاجابة او امتنـــاع الامتناع ...

المحادثات الثانية :
انتقال الالكترونات عبر الوصلات :

ـ ان الشوائب التي تكون موجودة في انصاف النواقل ، ولو بكمية ضئيلة جدا ، تسبب تغيرا حـــادا ، في الخواص الالكترونية لمواد انصاف النواقل . ان صديقينا يدرسان هنا ، الحوادث التي تجري ، عندما تقوم ذرات غريبة عـــن المادة، بالتغلغل داخلها ، وأحداث خلل في البنية السليمة للشبكـــة الكرستاليـــة .

محتويات المحادثة : الناقلية الذاتية ، المقاومة الضوئية، الخلية الكهرضوئية والشوائب والمواد المانحة والثقوب وانصاف النواقل من نوع P-n . ووصلات الحاجز الجهدي والجهد الامامي والعكسي ، وجهد الانهيار،والديودواستخدامه لتقويم التيـــار .

الحياة العائلية الهادئة ، في مجتمع الذرات :



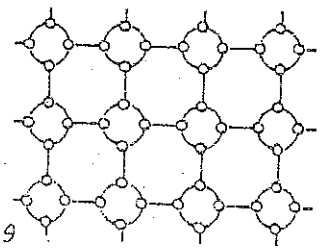
م ـ انني فكرت كثيرا في الشبكات الكرستالية (البلورية)، حتى انني ذهبت الى قصـــر الاكتشافات العلمية(1) ، لارى النموذج الذي يمثل البنية التركيبية ، لمختلف انواع الكرستالات، ان هذا النموذج جميل جدا ، تبدو عليه الكرات الصغيرة الملونة، التي تمثل النوى وتتصل فيما بينها بواسطة الانابيب المعدنية ، التي تمثل الروابط الاتحادية .

ع ـ أحر التهاني ..، لك مني يا صديقي ، على تلك الفائدة ، التي حصلت عليها في وقت فراغك . بماذا أوحى لك تفكيرك عند مشاهدتك لنموذج البنية الكرستالية ...؟

م ـ أوحى لي التفكير ، في أن بلورة الجرمانيوم تشبه مجتمع تكثر فيه الاسر ، التي يوجد في كل منها اربعة اطفال ، وكل طفل ، من أطفال كل أسرة ، يتزوج طفلة من أطفال الاسرة الاخرى ، وعلى هذا الاساس ، عن طريق الترابط بالتزاوج ،

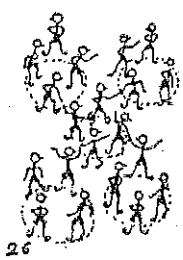
1 ـ متحف في باريس ، يشبه متحف البوليتكنيك ، الموجود في موسكو وكلاهما يحوي على تاريخ لاكتشافات العلمية،ونماذج من المكتشفات والمخترعات العلمية في فرنسا او في الاتحاد السوفييتي .

كل اسرة من اسر هذا المجتمع ، تتقارب من اربعة اسر ...!
ومرة اخرى ، انظر الشكل رقم 9 .



الشكل رقم 9 يمكن أن تمثل الشبكة الكرستالية على الشكل المبين أعلاه بغض النظر عن أن الاتصال بين الذرات لا يحدث بالواقع على مستوى واحد .

ع ــ انك بذلك ، ترسم لوحة غير سيئة ، يمكن أن توضح لك ، فيما بعد ، المواضيع التالية ... وبالحقيقة ، أن ما وصفته ، يمثل مجتمع متوازن ومستقر ، بشكل منقطع النظير ، بحيث لا يمكن أن نتوقع ، أن تحدث فيه اهتزازات كبيرة ، اذا كانت كافة الازواج تحتفظ بدرجة من التكاتف ، والثقة المتبادلة ، وفي بلورة الجرمانيوم ، يجب أن تبقى ، كافة الالكترونات ، متينة الارتباط مع نواتها ، بواسطة الروابط الاتحادية .



م ــ وماذا تفعل المشاعر والعواطف الانسانية ...؟

حول بعض حوادث الطلاق :

ع ــ انت تبدو الان وكأنك قرات رواية عاطفية ، من روايات القرن الثامن عشر ، ولكن ، لا بأس ... ان الذرات في المجتمع البلوري ، تتحرك بتأثير الحرارة ، تماما ، كما تتحرك مشاعر الناس في المجتمع الانساني ، ويؤدي التأثير الحراري ، من وقت الى آخر ، الى فك هذا الالكترون أو ذاك ، من روابطه وتحريره ، وانت تعرف ، ماذا يحدث عندما يصبح الالكترون حرا .

م ــ نعم أعلم ... ، يصبح ناقلا للتيار الكهربائي . هل هناك كثيرا من الالكترونات الحرة ، توجد في الجرمانيوم ، عندما تكون الحرارة طبيعية ...؟

ع ــ كلا ، قليلا جدا . قد لا يصل زوج من الالكترونات ،

في كل عشرة مليارات ذرة، أي بين كل 10^{10} ذرة، يوجد الكترون حر واحد ان هذه النسبة تبدو ، كما لو كان هناك ، بين العدد المضاعف لسكان الكرة الارضية ، شخص حر واحد فقط .

م — يا لها من صورة مرعبة ...! اذا كان الامر هكذا ، فان الجرمانيوم ، يجب أن يكون ناقل سيء جدا ، ...؟

ع — نعم ...! هو كذلك بالضبط ، ولهذا السبب ، أسموه **نصف ناقل** . هل لاحظت ذلك ...؟ كما انه في الوقت ذاته ، نجد أن غرام واحد من الجرمانيوم ، يتضمن آلاف مليارات المليارات من الذرات ، (أي 10^{22}) ، وهكذا ، فانه يحوي على ألفي مليار من الالكترونات الحرة ، (أي 2×10^{12}) ، وهذا أحسن من لا شيء ، كما أن هذه الكمية كافية لتمرير تيار غير كبير

م — أنت تتحدث ، عن آلاف المليارات من الالكترونات ، وتؤكد بنفس الوقت ، أن التيار ليس بكبير ...!

ع — ان تعجبك ياصديقي المبتدىء ...، يشير الى أنك نسيت ، أن كثافة التيار الذي شدته أمبير واحد ، يقابل مرور ستة مليارات مليارات (أو 6×10^{18}) ، من الالكترونات في الناقل خلال ثانية واحدة . وانت تعرف أيضا ، أن الالكترونات الحرة، التي لا تتعدى بضعة آلاف من المليارات ، يعز علينا التخلي عنها ، وهي مبعثرة داخل الحجم الكبير من الشبكة الكريستالية لمادة الجرمانيوم ، فلا يمكن أن تشكل الا ناقلية صغيرة .

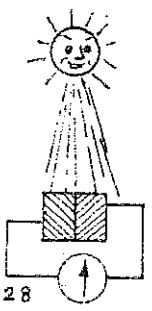
ان هذه الناقلية ، ناجمة عن الحركة الحرارية للذرات، (يجب أن تولي اهتمامك بها) وتحمل تسمية **الناقلية الذاتية** .

م — اسمع يا صديقي ، يمكن أن نوجز ما قلته ، بأنه ، تحدث في مجتمعنا النموذجي المنظم ، حوادث نادرة من الطلاق ، ثم الزواج من جديد ، وهذا بدوره ، يؤدي الى الانتقال ، من أسرة الى اخرى ...

ع — هذا صحيح أيضا . ولكي نستخدم مقارنتك ، بشكل أفضل ، نقول ، أن هناك في مكان ما، يمكن أن يحدث أحيانا ، كما يكتبون في الروايات ، أن تهب رياح ساخنة تسبب هزات عاطفيـــة .

م ــ انني أتوقع ، ماذا تريد أن تقول ... انك ترغب بالحديث عن أثر الحرارة ، اذا ارتفعت درجة حرارة كرستال الجرمانيوم ، تصبح الحركة الحرورية ، أسرع بكثير ، مما يؤدي الى تمرير عدد أكبر من الالكترونات . وبهذه الحالة ، ترتفع الناقلة الذاتية للمادة ، خلافا لما هو معروف بالنسبة للنواقل . فان المقاومة النوعية لانصاف النواقل ، تنخفض عند ارتفاع درجة حرارتها .

ع ــ انك تناقش الامور بتفهم جيد يا صديقي ...! ولذلك بالضبط ، نجد أن الجرمانيوم يعمل بصورة سيئة، عندما ترتفع درجة حرارته ، ان ما يهمنا في الجرمانيوم ، ليس ناقليته الذاتية ، لانها ليست هي المستعملة في الترانزستورات . والسيليكون أفضل ، في تحمل درجات الحرارة العالية ، ذلك لان الالكترونات الاتحادية ، موجودة على المدار الثالث . ارتباطها مع النواة ، أوثق من ارتباط الالكترونات الاتحادية لذرة الجرمانيوم ، الموجودة على المدار الرابع . كما انني أحب أن أضيف ، انه يمكن تحرير الالكترونات ، ليس فقط، بالتأثير على ذرات أنصاف النواقل بالحرارة ، بل يمكن تحريرها أيضا، بتأثير الطاقة الضوئية .



م : الا تريد أن تقول ، أن حبيبات الضوء (الفوتونات)، بسقوطها على ذرة الجرمانيوم ، تنتزع منها بعض الالكترونات .

ع ــ نعم ..، وان هذه الخاصة ، تساعد على أن تجعل من الجرمانيوم ، مقاومة ضوئية ، أي أن تجعل منها ، تلك الخلية ، التي تتغير مقاومتها تحت تأثير الانارة المسلطة عليها . ومن أقدم الخلايا الضوئية ، المعروفة سابقا ، عنصر السيلينيوم ، الذي يستخدم كعنصر ضوئي ، ويعتبر نصف ناقل أيضا .

م ــ في الحالات الاخرى ، انني استخدم مقياس شدة الضوء ، المستخدم في آلات التصوير ، والذي يحوي على خلية ضوئية (خلية حساسة بالاضاءة) .

ع ــ ان الخلية الضوئية الموجودة في مقياس شدة

الاضاءة ، لديك ، من الواضح،انها صنعت ليس من السيليوم، الذي يعتبر مقاومة ضوئية ، بل يمكن أن تكون قد صنعت ، من الكاديوم أو السيليكون ، ان هاتين المادتين ، تسمحان بصنع خلية ضوئية ، تولد الجهد ، اي وسيلة تحول الطاقة الضوئية الى تيار كهربائي .

م — هل أن المحطات الكهرضوئية ، التي تغذي الاقمار الصناعية ، بالقدرة الكهربائية ، والتي تضاء بنور الشمس ، مصنوعة من مثل هذه العناصر ...؟

المشادات والمشاحنات تحدث في أحسن العائلات

ع — نعم يا صديقي ...! والان سوف نصبح شهودا ، على الخلافات والفوضى ، التي تحدث في المجتمع الراقي بتنظيمه ، بعد أن تدخل اليه ، أسرة تحوي على خمسة أطفال .

م — ماذا تريد أن تقول من خلال ذلك ...؟

ع — أريد أن أقول ، انه ضمن ذرات..،حتى اكثر انواع الجرمانيوم نقاوة ، لا بد من أن توجد ولو بأقل كمية ذرات عناصر أخرى ، وهذا ما يمكن أن نسميه **بالشوائب** . في اشد انواع الجرمانيوم نقاء ، يوجد ضمن كل مليار ذرة جرمانيوم ، ذرة واحدة من الشوائب .

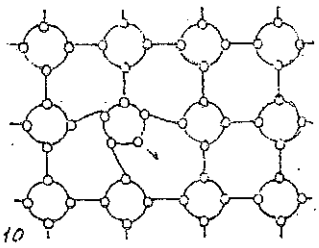
م — وهل يجدر أن نولي الاهتمام الى هذه الكمية ...؟ أليس الامر واحدا ... سواء بوجودها أو عدم وجودها بشكل عام ...؟

ع — انك غير محق عندما تهمل هذه الشائبة ، حتى ولو كانت بهذه النسبة الضئيلة،لانه حتى في هذه النسبة المعدومة، في السنتمتر المكعب الواحد من الجرمانيوم الذي تسميه نقيا ، يوجد خمسون الف مليار **ذرة غريبة**،أو كما تسميها هنا **شائبة**.

م — انني لم افكر أبدا ، أن السنتمتر المكعب الواحد ، من الجرمانيوم ، يحوي آلاف المليارات من الذرات الغريبة ، او

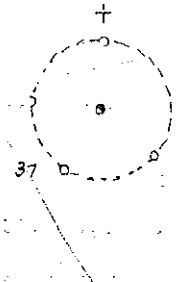
ذرات الشوائب كما تقول ...! اعذرني يا صديقي،والان ... ماذا يحدث للاسرة ذات الخمسة أولاد...؟أنت تريد أن تقول، أن الحديث يدور حول الذرةالتي تحتوي علىخمسةالكترونات، في المدار الخارجي ...؟

ع ــ هــذا هــو المقصود بالضبط ..، ذو واحدة ذات خمسة روابط اتحادية (خمسة الكترونات علـى المدار الخارجي) ، ولتكن ذرة من الزرنيخ أو الانتيمون ، على سبيل المثال ، قد تغلغلت في مجتمع ، سعيد متجانس ، من ذرات الجرمانيوم ، (انظر الشكل 10) ، فسببت نشوب خلافات حادة في هذا المجتمع ...!



الشكل رقم 10 ذرة شائبة من مادة خماسية الروابط الاتحادية تخل بنظام المجتمع الهادىء الوديع في الشبكة الكرستالية . وماذا يحدث للذرة الخماسية الالكترونات ؟

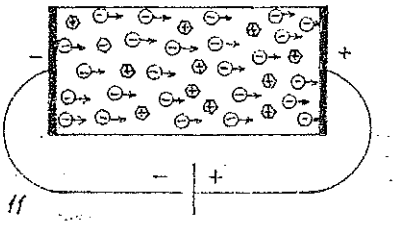
م ــ هذا واضح بلا شك ...، اذا كان من نصيب هذه الاسرة الغريبة ، أن تتزاوج أربعة من أطفالها ، مع أربعة أطفال من الاسر المجاورة ، فان الطفل الخامس سيبقى يائسا بلا أمل ... عازب ..!



ع ــ نعم يا صديقي . أربعة الكترونات تشكل روابط اتحادية ، مع أربع الكترونات أخرى ، من ذارت مجاورة في الشبكة الكرستالية ، أما الالكترون الخامس ، فيبقى طليقا .

م ــ اذا كان مفهومي لمنشأ التيار الكهربائي صحيحا...! فانني أعتقد، أن تطبيق جهد معين ، بين نقطتين من الكرستال، يمكن أن يشكل هناك تيارا كهربائيا ، لان الالكترونات ، التي ظهرت بنتيجة اتحاد الذرات،ذات الروابط الاتحادية الخمسة،

مع ذرات رباعية الالكترونات ، سوف تنجذب نحو القطب الموجب لمنبع الجهد ، وبنفس الوقت ، يقوم القطب السالب ، من منبع الجهد ، بارسال كمية مماثلة من الالكترونات الى الكرستال ، (انظر الشكل رقم 11) .



الشكل رقم 11 بين الناقلية في نصف ناقل نموذج الالكترونات الحرة (طبقا لقانون السالبية) تفلت من الذرات خماسية الروابط الاتحادية التي من جراء ذلك ، تصبح موجبة الثايين . وفقا لقانون الايجابية .

ع — نعم صحيح ...! ان مثل هذه الظاهرة تحدث في أنصاف النواقل ، التي تحوي على شوائب خماسية الروابط الاتحادية،اي الشوائب التي تحوي على فائض من لالكترونات، بالنسبة لذرات المادة الاساسية . ويقال عن أنصاف النواقل هذه ، أنها من النمط n (مختصر الكلمة اللاتينية (negative) — سالب) ومثل هذه الخليطة ..، يسمونها الشوائب المانحة (donors) ، أي التي تعطي الالكترونات الحرة ....

م — كم يتضمن الكرستال من الشوائب عادة ...؟.

ع — محتويات الكرستال من الشوائب تقدر ، نسبيا ، وهي كحد أقصى ، ذرة واحدة من الشوائب ، الى عشرملايين ذرة من الجرمانيوم ، اي شخص واحد الى اكثر من سكان سوريا تقريبا .

م — نعم ..، ولكن في هذه الحالة ، نحصل على كمية شوائب اكثر بمئة مرة مما يحويه كرستال الجرمانيوم النقي . ولكن ماذا يحدث مع ذرات الشوائب الزرنيخ مثلا ، التي ذهب منها الالكترون الحر الطليق ...؟ وهذه الذرة قد أصبحت تملك الان ، الكترونات أقل من البروتونات الموجودة في نواتها، ومن ثم تصبح ذات طبيعة موجبة .

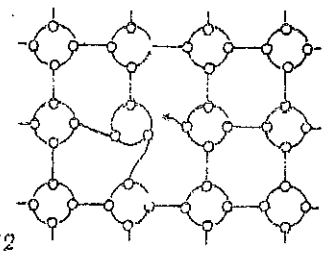
الثقب المشكل يمكن ان يشكل بسهولة عن طريق احتواء اي الكترون جانبي

ع ــ آه ... نعم ..! مع ان هذا الامر لم يكن متوقعا ، مطلقا ، فان ذرات شوائب الجرمانيوم ، من النمط P تبدو متاينة ، تأينا ايجابيا ...،

قصص اختطاف الاطفال :

م ــ ولكن ما يحدث في المجتمع الكرستالي ، اذا كانت احدى الاسر ، تضم فقط ، ثلاثة اطفال ،او كما يقال ،وباسلوب آخر . اذا اضيفت الى ذرات كريستال نصف الناقل،ذرات تحوي على ثلاثة الكترونات فقط ، على مدارها الخارجي ...؟

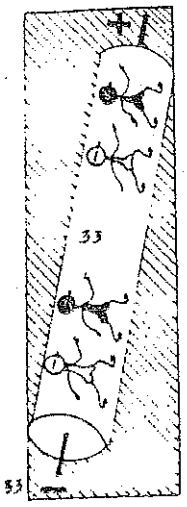
ع ــ ان المشاكل والخلافات ، لن تكون اقل مطلقا ، مما هي في حالة الاسر الكثيرة العدد ، حيث ان الذرة الثلاثية التكافؤ ، تشكل ثلاثة روابط اتحادية ، تربطها مع ثلاثة ذرات مجاورة اخرى . وفي منطقة الالكترون الرابع ، تتشكل فجوة او ثقب ، يمكن ان تملا وتستكمل بسهولة ، عن طريق احتواء اي الكترون جانبي .



12

الشكل رقم 12 توجد هنا في الشبكة الكرستالية لنصف الناقل ذرة من الشوائب ثلاثية الالكترونات الاتحادية تسعى لاجتذاب الكترونا من الذرات المجاورة

م ــ باختصار ... يمكن القول ، ان هذه الاسرة الثلاثية الاطفال ، تسعى بكل جهدها ، وباية وسيلة كانت ، لتبني طفلا رابعا ، وذلك كي تحذو حذو بقية اسر العشيرة ، وتطبق التقاليد المألوفة فيها ، وبصورة ادق ، كي تتلائم مع التنظيم السائد في العشيرة . ولكن اذا استعارت ، تلك الاسرة ، الطفل الرابع من اسرة غريبة اخرى ، فانه بدوره ،

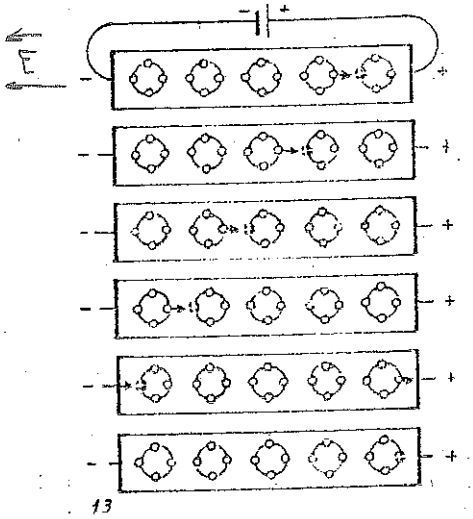


يتشكل عند هذه الاخيرة ، فجوة أو ثقب ، في مكان الالكترون المستعـــار .

ع ــ بدون شك .. ان عمليـــة استعارة،أواختطـــاف الاطفال هذه ، يمكن أن تنتقل ايضـا ، من بداية الكرستال حتى نهايتـــه .

م ــ واذا أوصلنا الى الكريستال جهد معين ، كمـــا أفترض ...؟

ع ــ طبعا : من البديهي ، ولكن تابع بانتباه مايحدث في هذه الحالة (انظر الشكل رقم 13) مبتدأ من ذلـــك الجهد ، الذي يوجد فيها .



الشكل رقم13 في انصاف النواقل نمـوذج P تاخذ ذرة الشائبة ثلاثية الالكترونات الكترونا رابعا من الذرة المجاورة في نصف الناقل مخلفة ورائها هناك فجوة تملا بدورها بالكترون متحرر من ذرة مجاورة وهكذا تستمر سلسلة من الانفكاك والاستكمال . وقد بينا في الرسم سلسلة مـــن مراحل هذه الناقلية حيث نجد ان الفجوات التي تعتبر شحنة موجبة تنتقل من القطب الموجب الى القطب السالب . في المرحلة الاخيرة يقوم الالكترون الوارد من المنبع باستكمال الفجوة القريبة من القطب السالب وبنفس الوقت يقوم الالكترون الاخر القريب من القطب الموجب بمغادرة الذرة الاخيرة من الكرستال ويتولد مكانه فجوة جديدة ثم تتكرر الحوادث من جديد .

ــ القطب السالب ، فمن هنا يأتـــي الالكترون ، ليملا

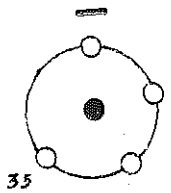
الفجوة في الذرة الثلاثية التكافؤ . وتبعا لذلك ، يقرب الالكترون من القطب الموجب ، حيث تكون قد تشكلت فجوة جديدة في الذرة المجاورة ، المتوضعة بقرب القطب السالب . وبعد ذلك تجري نفس الحادثة تماما ، فالفجوة الجديدة ، تمتلىء بدورها بالكترون ، وتقترب بذلك الى القطب الموجب ، اما الفجوات المتشلكة بعد ذلك ، فتبدو أقرب الى القطب السالب ، وفي آخر مرحلة ، نجد ان الالكترون القادم من منبع التيار ، يملا الفجوة ، الاقرب الى القطب السالب ، وفي نفس الوقت ، يغادر الكترون آخر الذرة الاقرب الى القطب الموجب ، وفي مكانه ، تنشأ فجوة جديدة ، وكل شيء يتكرر من جديد .

التدفـــق :

34

م ــ ذلك يعني ... ، ان الالكترون ، عندما يتجه ، كما يفترض له ، نحو القطب الموجب ، تتحرك الفجوات منتقلة نحو القطب السالب ، كما أنها لو كانت جزيئيات مشحونة بشحنة موجبة .

ع ــ نعم بالفعل ... ! ان كل ما يجري في نصف الناقل ، المحتوي على شائبة ثلاثية الروابط الاتحادية ، يظهر وكأنه يوجد في نصف الناقل المذكور ، شحنات موجبة ، تتحرك من القطب الموجب نحو القطب السالب .



35

م ــ على هذا الاساس ، يجب أن تأخذ الفجوات ، الاتجاه الذي يمليه عليها اتجاه التيار الكهربائي ، من القطب الموجب الى القطب السالب ، في حين أن الالكترونات ، تتحرك في الاتجاه المعاكس . ولكن ، هل يمكن القول هنا ، اننا نملك تيارا كهربائيا ، مكونا من شحنات موجبة ... ؟

ع ــ ولماذا لا .. ؟ الا انه يجب أن لا تنسى ، أن الفجوات ، هي عبارة عن أماكن فارغة فقط ، معدة لاستقبال الالكترونات واجتذابها .

م ــ بناء على الخواص التي يتميز بها نصف الناقل ،

. ما هي شوائب النوع P
. هل هي وصلة أو حاجز !

المحتوي على شائبة ثلاثية الروابط الاتحادية ، اعتقد ، انـــه يمكن أن نعتبره من النوع P ، (من الكلمة Positive اللاتينية الاصل والتي تعني موجب) .

ع ــ نعم ...! وهكذا يسمونه ، وهل انت الان مسرورا مرتاح البال تفكر في جديـــة ونشاط ، حتى تقول لـــي ، ماذا يحدث في ذرات الشوائب ، عندما يأتي الكترون من الذرات المجاورة في كرستال نصف الناقل ، ويملأ فجواتها ...؟

م ــ طبعا وبكل سرور ... ان هذه الذرات ، تصبح متأينة بشحنة سالبة . لان كمية الالكترونات فيها ، اصبحت أكثر من كمية البروتونات ...! انه لامر مثير للتساؤل ، كيف انه في نصف الناقل من النوع N ، تكون الذرة الشائبة متأينة ايجابيا ، وفي نصف الناقل من النوع P ،سلبيا...؟!

ع ــ وانا اضيف الى ذلك ..، ان الشائبة من النوع . P ، تكون من معدن الالمنيوم أو الغاليوم او الانديوم ،وغالبا ما يسمونه المتقبل ، وذلك لانه يستأثر لنفسه بالالكترونات ، في حين أن الشوائب من النوع N ، تعطيها الى بقية ذرات نصف الناقل ،

م ــ لقد بدأت اشعر ، أن المانحات والمتقبلات ، أخذت تختلط في رأسي،كما يختلط الحلو والحامض في سلطةالشمندر.

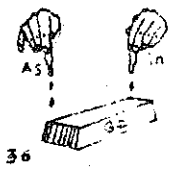
ع ــ لذلك ، قصدت ان اعطيك قاعدة صغيرة ،كي تريح نفسك من تلك الكلمات . بدلا من كلمة المانح ، يمكن أن نستخدم الحرف N وبدلا من كلمة متقبل ، يمكن أن نكتفي بالحرف اللاتينـــي P .

م ــ شكرا جزيـــلا يا عزيزي ..، ان ذلـــك يبسط المشكلة ...!

الوصلة التي هي عبارة عن حاجز :

ع ــ بما انك اصبحت تعرف طباع وعادات المجتمـــــع الكريستالي ، الذي يتعكر صفوه ، بتأثير الاسر الغريبة عـــن

هذا المجتمع ، والممثلة بالذرات المانحة والمتقبلة ، لذلك يمكن أن تستعرض الان ، ماذا يعطينا ، اتحاد نصف ناقل من النوع N مع نصف ناقل آخر من النوع P لنتصور ، أننا أخذنا قسما من كرستال الجرمانيوم ، ثم « سممنا » أحد نصفيه بذرات مانحة للالكترونات ، (Donors) (ذرات الزرنيخ مثلا) ، وفي النصف الاخر ، ادخلنا ذرات متقبلة ، (وليكن الانديوم اذا اردت) ، فعندها ، تسمى منطقة الحدود الفاصلة بين النصفين المذكورين ، **الوصلة** P – n وسماكة هذه الوصلة ، تبلغ حوالي 3 ,0 ميكرون ، الا انها ، رغم دقتها المتناهية ، تلعب دورا هاما في عمل الترانزستور .



36

م — انني لا ارى في هذه الوصلة اية ميزة خاصة ، تميزها عن بقية اقسام نصف الناقل ، حيث انه يمكن في كل نصف من نصفي الكريستال ، للالكترونات ، ان تتابع رحلتها دون ان ترى ابدا ، ماذا يحدث في النصف الاخر .

ع — انك تخطىء ياعزيزي اذا كنت تفكر هكذا . لان التيار الناتج عن الحركة الحرارية للالكترونات،يكون مصحوبا، في هذه الحالة ، بظاهرة اخرى ، وهي : ان ذرات الخليطة ، المتأينة بشحنة سالبة في المنطقة P تدفع الالكترونات الحرة الموجودة في المنطقة N بعدا عن الممر .

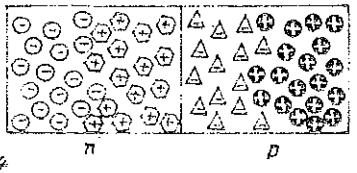
م — في الحقيقة ، انني لم افكر في التنافس المتبادل بين الشحنات ، ذات الطبيعة الواحدة ، ولكن في هذه الحالة ، يجب ان تقوم الذرات المتأينة ايجابيا ، في المنطقة N ، بدفع الفجوات عن الوصلة في المنطقة P .

ع — تماما كما تقول ... ان هذه الفجوات ، (التي يمكن أن ينظر اليها كشحنات موجبة) تتنافر مبتعدة عن الوصلة . وبالحقيقة ، ان الايونات الموجبة في المنطقة N ، تجتذب الالكترونات الموجودة في المنطقة P ، نحو الوصلة ، وبنتيجة ذلك ، تمتلىء الفجوات الموجودة هناك . والالكترونات المنتزعة على هذا الشكل،تترك فجوات في الذرات البعيدةعن الوصلة، ولكن كل شيء يجري هكذا ، وكأن الفجوات الموجودةفي المنطقة

ان الوصلة تتحول إلى ما مزدوج خاص

P ، ذهبت من الوصلة P - n ، (انظر الشكل رقم 14)

م — هذا يعني ...، انه في منطقة الوصلة ، من الناحية P ، نجد ، أن كافة الذرات المتقبلة ، تصبح مكتملة بالالكترونات ، أي انها تتأين سلبيا . وهكذا يحدث تماما ، في منطقة الوصلة من الناحية N ، حيث نجد ، أن كافة الذرات المتقبلة ، الموجودة قرب الوصلة ، تخسر الكترونا من كل ذرة ، الامر الذي يجعلها متأينة ايجابيا ، وبنفس الوقت ، تغيب حوامل الشحنات الكهربائية ، (الالكترونات والفجوات) من منطقة الوصلة P - n ، ذلك لان ، شحنات التأين في ذرات الشوائب ، دفعت حوامل الشحنات الاساسية ، وطردتها من منطقة الوصلة ، الى أطراف الكرستال . ان كل ذلك يحدث بشكل شيق ودقيق ، يستهوي الى التعمق في الدراسة وحب الاطلاع . اذ ان الوصلة ، يمكن أن تتحول الى حاجز من نوع خاص ، يفصل بين المنطقتين المحيطتين به ، P - n ، اذا اعطينا احداها جهدا سالب والثانية جهد موجب .

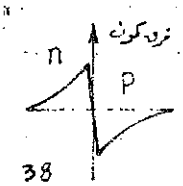


الشكل رقم 14 يبين الوصلة P - n والفجوات الموجودة في المنطقة P تندفع مبتعدة عن المرر ، تاركة ايونات الشوائب المتقبلة السالبة ، ومثل ذلك تماما . تبتعد الالكترونات الموجودة في المنطقة N عن الوصلة ، تاركة خلفها ايونات الشوائب ، المانحة — الموجبة، ويجب أن نتذكر جيدا ، الرموز الاصطلاحية الاربعة ، وذلك لانها سوف تستخدم في الاشكال القادمة

⊖ الكترون .
⊕ فجـــوة .
⊕ ذرة مانحة متأينة ايجابيا .
△ ذرة متقبلة متأينة سلبيا .

ع — نعم ... انك تستوعب الموضوع بشكل جيد ، فالوصلة موضوع المناقشة ، هي عبارة عن حاجز يتركز على

طرفيه ، جهد أو فرق كمون معين ، وفي هذه الطبقة الرقيقة جدا تحدث تغييرات في جهد (كمون) الذرات المتأينة ، من قيمة موجبة (في المنطقة N لا تنسى هذا) ، الى سالبة (في المنطقة P) ، ولكن حتى في هذه الحالة ، يبقى الكرستال بمجمل تعقيداته ، في وضع حياد وهدوء ، وذلك لان الشحنات الموجبة والسالبة ، بوضعها العام ، يعادل احداها الاخر تعادلا يؤدي الى السكون ، عندما تتشكل في نصف الناقل منطقة من النوع P والنوع N نكون بذلك ، قد استدعينا ، فقط الشحنات المتحركة في كل من نهايتي المنطقة ، في حين انها ، في حال عدم وجود الوصلة P - n ، تتوزع الشحنات الكهربائية ، على كامل الكرستال ، بصورة متساوية .



38

م ــ انني اتصور كل ذلك ، ويبدو لي بشكل واضح ومفهوم جيدا ، ولكن أريد أن أعرف ، ما هي الفائدة ، التي نجنيها من هذه الوصلة ، ومن حاجز الجهد التابع لها ...؟

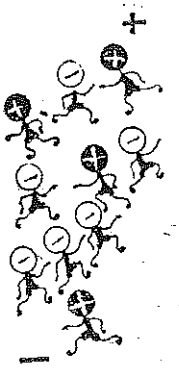
ع ــ انك سوف تكتشف هذه الفائدة بسرعة ، اذا طبقت على الوصلة جهد معين .

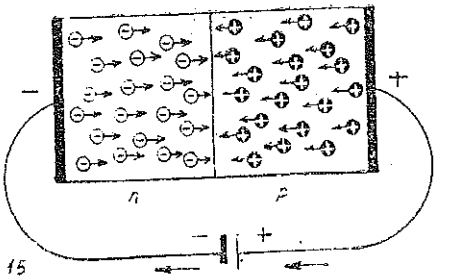
الالكترونات والفجوات في نزهة :

م ــ انا اتوقع ، انه اذا طبقنا جهد على طرفي الكرستال السابق ، سوف نحصل على تيار كهربائي ، يتشكل من الالكترونات الحرة في المنطقة N ، والفجوات الحاصلة في المنطقة P ، على الرغم من أن ، احداهما يتحرك باتجاه وآخر بالاتجاه المعاكس .

ع ــ ان هذه الفكرة ، التي تحدثت بها ، يمكن أن تكون صحيحة،الى حد ما ، ولكنك تستعجل كثير وتستبق الحوادث، فأولا : يجب أن تستعرض بالتفصيل ، ماذا يجري في كرستال النصف ناقل ذي الوصلة P - n ، عندما يطبق عليها جهد من هذه القطبية أو تلك . ولنفرض أولا : ان القطب الموجب لمنبع الجهد موصولا مع المنطقة P ، والقطب السالب ــ مع المنطقة n ، انظر الشكل رقم 15 .

ما هي آلية العمل الباعث والمستقبل





15

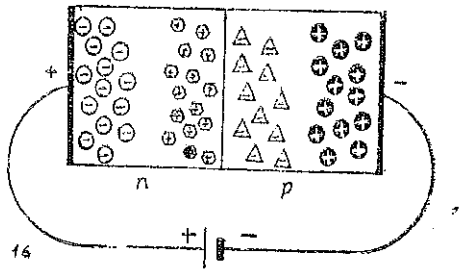
الشكل رقم (15) يبين هذا الشكل ، مرور التيار عبر الوصلة P-n ، ويظهر الرسم ، فقط حوامل التيار الكهربائي . الالكترونات (ويرمز اليها باشارة ناقص) والفجوات (مشار اليها باشارة موجب) ، اما الذرات المانحة في المنطقة n ، والمستقبلة في المنطقة P ، فلم تظهر هنا في الرسم ، بقصد ابقاء الشكل أوضح .

م — حسنا : لنفرض أن الالكترونات الواردة من منبع الجهد ، تدفع الالكترونات الحرة في الكرستال النصف ناقل باتجاه الوصلة ، وتقطع هذه الالكترونات الوصلة ، وتقوم باملاء الفجوات التي دفعها الجهد الموجب ، في منبع القدرة الى هذه الوصلة .

ع — ان القطب الموجب لمنبع الجهد ، سوف يجذب اليه، الالكترون ، في كل مرة يقطع فيها الالكترون آخر الوصلة ، من المنطقة n الى المنطقة P . والالكترونات التي يجتذبها منبع الجهد ، تغادر ذراتها ، مخلفة ورائها الفجوات ، التي تعود فتملأها الالكترونات القريبة من الوصلة ، وفي أماكن هذه الالكترونات ، تتشكل فجوات جديدة ، وهكذا ، تتحرك الفجوة نحو الوصلة ، الى أن تملأ هناك بالكترون جديد ، يأتي من المنطقة . (الشكل رقم 16) عندما يطبق على الوصلة P - n جهد عكسي ، فهو يجتذب فقط ، الالكترونات والفجوات من الحدود الفاصلة بين منطقتي الكرستال ، وعلى هذا الاساس، نرى أن حاجز الجهد ، يزداد ارتفاعه ، الى درجة ، يحول دون مرور أي تيار .

م — بناء على ذلك ، أنا كنت محقا تماما عندما قلت ، انه عندما يطبق على طرفي كرستال نصف الناقل ، جهد معين،يتولد تيار تشكله الالكترونات والفجوات التي تتحرك باتجاهين متعاكسين .

ع ــ نعم ..، هذا صحيح ، عندما يطبق على طرفي كرستال النصف ناقل ، كما كنا قد قلنا آنفا ، جهد في الاتجاه الامامي ، اي انه عندما يوصل القطب الموجب لمنبع الجهد الى المنطقة P ، والقطب السالب ــ الى المنطقة n ، أما اذا طبق الجهد بالاتجاه المعاكس،فان النتائج في الحالة الثانية، تكون مختلفة عنها في الحالة الاولى ، انظر الشكل رقم 16 .



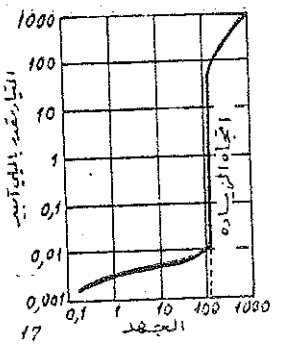
16

40

الشكل رقم 16 عندما يطبق على الوصلة n - P ، جهد عكسي ، فهو يجتذب فقط ، الالكترونات والفجوات من الحدود الفاصلة بين منطقتي الكرستال ، وعلى هذا الاساس ، نرى ان حاجز الجهد ، يزداد ارتفاعه ، الى درجة ، يحول دون مرور اي تيار .

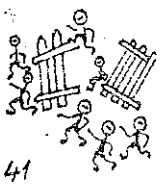
م ــ اود ان اعرف ، لماذا الكترونات القطب السالب من منبع الجهد تجذب الفجوات الموجودة في المنطقة P حتى تقترب من نهاية كرستال الناقل ، بينما يقوم القطب الموجب ، للمنبع نفسه ، باجتذاب الالكترونات الحرة ، نحو الطرف الثاني من كرستال النصف ناقل ...؟ هل رايت مثل هذه المفاجآت الغريبة ...؟ ويبدو انه في مثل هذه الحالة ، لا الالكترونات، ولا الفجوات لا تستطيع اختراق الوصلة وعبورها ، وهذا يعني ، أن حاجز الجهد يزداد ارتفاعا فقط ، وهذا يعني اننا لا نستطيع الحصول على اي تيار ...!

ع ــ انني لم اجبرك على التحدث على ذلك ...! وانت نفسك رايت ، ان التيار يمكن الحصول عليه ، فقط عند تطبيق جهد امامي ، عندما يوصل القطب الموجب لمنبع الجهد ، مع المنطقة P ، والقطب السالب ، مع المنطقة n ، من كرستال النصف ناقل . ولكن اذا بدلت توصيل الاقطاب ، فلن يكون هناك اي تيار،او قد يوجد تيار صغير،للغاية ،يمكن ان نسميه ، **التيار العكسي** انظر الشكل رقم 17 .



الشكل رقم 17 تبعية الجهد العكسي المار عبر الوصلة P - n الى الجهد المطبق عليه .

ملاحظة : ان الخط البياني غير مرسوم بمقياس خطي وانما بمقياس لوغاريتمي



م — حتى ولو كانت قيمة الجهد العكسي المطبق مرتفعة ...؟

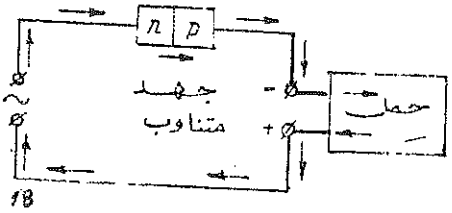
ع — حتى في هذه الحالة ..، ولكن الى حد معلوم ... ولكن اذا زادت قيمة الجهد عن هذا الحد النظامي فان حاجز الجهد ينهار ، وتندفع الالكترونات الى الامام بكميات هائلة ، وتبعا لذلك ، ترتفع قيمة التيار بشكل لحظي حاد . ان هذه الظاهرة ، تشابه تماما ، حادثة تلف العازل في الاسلاك الكهربائية ، وحدوث دارة قصر ، تؤدي الى ارتفاع التيار. وان الجهد الذي يحدث عنده الانهيار هذا ، يسمى **جهد الانهيار** للوصلة P - n ، ويستفاد من هذه الظاهرة ، في بعض الحوادث في الصناعات الالكترونية ، ولكننا لن نستبق الامور الان ونبني الطابق الثاني من البنان ، قبل وضع اساسه . وبالنسبة لنا فان الوصلة P - n ، تعتبر **ناقلا في الاتجاه الامامي وعمليا عازلا في الاتجاه العكسي** للجهد المطبق عليه .

حتما اتجاه واحد للحركة فقط :

م — ولكن عندما تكون الوصلة ناقلة باتجاه واحد فقط، فانها تكون عبارة عن مقوم حقيقي للتيار ، اليس كذلك ...؟.

ع — نعم ... والف مرة نعم ياصديقي ، واذا انت طبقت بين طرفيه جهدا متناوبا . فان التيار يمر مرة خلال فترة

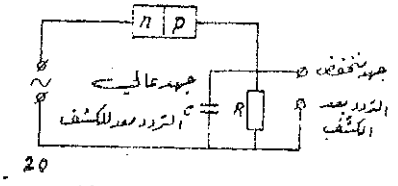
نوبة واحدة (نصف دور) فقط ، وهي النوبة ، التي يكون فيها على الوصلة جهدا امامي ، ولا يمر خلال فترة .
النوبة الثانية ، التي يكون فيها الجهد عكسيا انظر الشكل 18

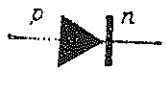


الشكل 18 ثنائي نصف ناقل ، ذو الوصلة P - n يمكن أن يستخدم كمقوم للتيار ، مثل الصمام الثنائي تماما ولكن يتميز عن هذا الاخير ، في أنه لا يتطلب جهد تسخين،وعلى هذا الشكل ، مبين مقوم نصف موجه

م ــ يمر التيار عبره كما يمر عبر أي ثنائي آخر ..؟

ع ــ بالضبط تماما ، ولهذا السبب بالذات ، يسمون الوصلة P - n ، والمنطقتين المحيطتين بها **بالثنائي النصف ناقل** (انظر الشكل رقم 19) وهو مثل أي ثنائي آخر ، يمكن أن يستخدم بصفة كاشف (انظر الشكل رقم 20) ، وهو ينفذ مهمة الكاشف بشكل رائع ، جيد جدا حتى أننا نجده على الترددات العالية جدا ، أفضل من الصمام الثنائي ، المفرغ من الهواء .



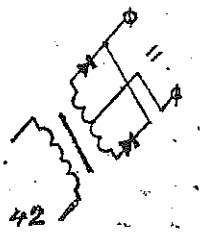


الشكل رقم 19 الرموز الاصطلاحية للثنائي النصف ناقل ، مختارة مع مراعاة الاتجاه الاصطلاحي للتيار ، من القطب الموجب ، الى القطب السالب ، على الرغم من أنه لا يوافق الاتجاه الحقيقي لحركة الالكترونات .

الشكل رقم 20 ثنائي نصف ناقل ، ذو الوصلة P - n يستخدم بصفة كاشف، حيث تم فرز الجهد المكشوف على المقاومة R ، كما أن الموجات العالية الترددات ، تصفى (ترشح) بواسطة المكثف C

• ما هي انواع الثنائيات المستخدمة في تقويم التيارات العالية
• ما هي محاسن الثنائيات ذات الصمامات

م ــ وهل يمكن أيضا ، استخدام الوصلات في الثنائيات النصف ناقلة ، بصفة مقومات للتيارات العالية ، بدلا من الصمامات الثنائية ، التي تقوم بتقويم الجهود العالية ، اللازمة لتغذية المصاعد .



ع ــ ان هذا منتشر بشكل واسع ، وأن الثنائيات المستخدمة في مثل هذه الحالات،هي ثنائيات السيليكون واكسيد النحاس والكيوبركستوم ، أو مقومات السيلينوم ، التي تحل وبكل نجاح، محل مقومات الصمامات المفرغة ، كما انها تتمتع أيضا ، بعدة حسنات ، فهي متينة واقتصادية ، اما مدة خدمتها (عمرها) ، فهي أكبر بكثير ، من مدة استخدام الثنائيات الصمامية .

م ــ اذا كان الامر هكذا ، فانني بدون اي تردد ، سأهتف عاليا ، تعيش انصاف النواقل تعيش ... تعيش ....!

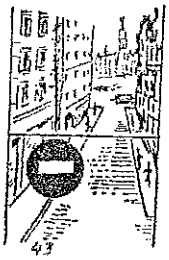
المحادثات الثالثة :

نهارا سعيدا أيها الترانزستور :

ـ بعد ان انتهى الصديقان ، من دراسة خواص الوصلة P - n ، وفهمها جيدا،يباشران هنا ، بدراسة الترانزستور، الذي نكتشف عند التعرف عليه ، لاول وهلة ، تشابهه العميق، واختلافه الذي لا يقل عمقا ، مع الصمام الالكتروني .ويناقش الصديقان العارف والمبتدأ ...، جوهر عملية التضخيم ، في الترانزستور ، ويقومان باستخلاص ملاحظات قيمة ، حسول مقاومة الدخل ومقاومة الخرج في الترانزستور .

مواضيع البحث : الترانزستور من النوع P-n-P والنوع n-P-n ، تيار السكون ، تيار القاعدة ، الاثر الترانزستوري ، تضخيم التيار ، التشابه بين الترانزستور والصمام الالكتروني ، مقاومة الدخل ومقاومة الخرج ، تضخيم الجهد ، تغذية الترانزستور ،

انها لقطعة بلهاء يصعب التعامل معها :



ع : مرحبا ياصديقي المبتدأ ...! لماذا تأخرت علي ..؟ ولماذا تبدو شاحبا ، جاف الملامح ، منهك القوى ... ؟ .

م : هناك مصاعب كثيرة ، هل تعلم انت انه بعد الان لا يمكن السير في شوارعكم بالسيارات ابدا ..؟

ع : يمكن السير في شوارعنا باتجاه واحد فقط ، ولذلك يجب التقيد في انظمة السير ، والسير فقط في الاتجاه المسموح كـــي ....

م : لم يعد هناك اتجاه مسموح للحركة ، لان رجال ضبط المرور ، علقوا في الشوارع ، اشارة ممنوع المرور ، في النهاية الاخرى للشارع ، وبذلك اصبح شارعك مغلقا من الجانبين.

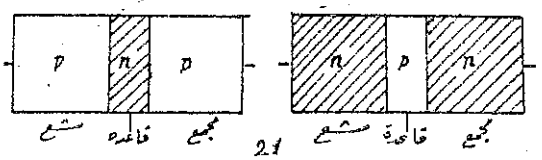
ع : كلا يا عزيزي ، ان ذلك يمكن أن يكون من قبل المزاح

• ما هي اسماء كل منطقة من مناطق الترانزستور
• ما هي ميزات القاعدة

نقط ، او نكتة قام بها احد الناس ، الذين أضجرهم ضجيج العربات ، وهذا مفيد لنا ايضا . حيث اننا الان،بكل هدوء...، وبعيدا عن ضجيج العربات وضوضاء السائقين ، نستطيع ان نستعرض مبدأ عمل الترانزستور .

م : انني أنتظر بفارغ الصبر ، واتحرق شوقا ، لمعرفة كيف صنعت هذه البنية الثلاثية الارجل .

ع : لا تقلق ياصديقي ، لا يوجد في الترانزستور شيء صعب أبدا ، كلما هنالك ، انه يتكون من وصلتين من النوع P - n ، متعاكستي الاتجاه.فعلى سبيل،المثال يمكن جمع زوج من الوصلات نوع P-n ، هكذا بحيث تصبح المنطقة مشتركة بين الوصلتين ، فنحصل على ترانزستور بنيته من النوع ، n-P-n (انظر الشكل رقم 21/ب)



21

الشكل رقم 21 ويبين عليه شكل التوعين الاساسيين من الترانزستورات P-n-P و n-P-n

م : أعتقد أن الامر تماما ، كما هو الحال ، لو وحدنا المنطقة n ، في وصلتين من النوع P - n ، فاننا نحصل على بنية ترانزستور من النوع P-n-P .

n P + P n = n P n
P n + n P = P n P

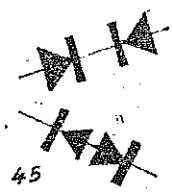
ع : بالضبط تماما ...، وكل ما أضيفه على ماتقول ، هو أن احدى المنطقتين الخارجيتين ، **تسمى بالباعث** (Emitter) والثاني ، **المجمع** (Collector) والمنطقة الواقعة بين هاتين المنطقتين ، والتي يجب أن تكون رقيقة جدا (وانني لارجوك أن تعير هذا الشرط اهتماما خاصا) ، **تسمى بالقاعدة** (Base)

م : مختصر الكلام ...، أن الترانزستور عبارة عن سندويتش من نوع خاص،يتمثل في قطعتين سميكتين من الخبز، توضع بينهما قطعة رقيقة من اللحم .

ع : نعم اذا كان ذلك يرضيك ...!

م : اسمح لي أن أقول لك ياصديقي ، ان سندويتشك هذا ، غير قابل للاكل أيضا ، كما أن شوارعك لا تسمح بمرور العربات فيهـــا .

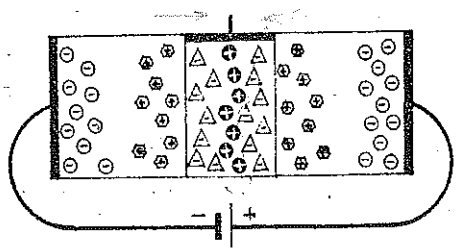
السندويتش غير النفاذ :



ع : ماذا تقصد ياعزيزي ...؟

م : الامر واضح وبسيط للغاية ، وصلتان تتجهان فـــي اتجاهين متعاكسين يعبقان طريق التيار ، في كلا الاتجاهين . بالضبط ، كما هو الحال ، عندما يعلن في شارع واحد،باتجاهين متعاكسين ، اشارة ممنوع المرور ، لمنع الدخول الى الشارع بالسيارة ، من أية جهة .

ع : ان مناقشتك لا تخلو من المنطق ، وفي النهاية ، تبدو وكأنك تشك في مقدرتي على شرح طريقة عمل هذه القطعـــة البلهاء ، الذي اعتقد ، انني قمت به لغرض واحد فقط ، هو تسهيل مهمتك في فهم طريقة عمل الترانزستور . والعملية بكاملها ، تتلخص في ، انه اذا طبقت جهدا على الترانزستور، بين الباعث والمجمع ، فانه كيفما كانت قطبية الجهد الانف الذكر ، لا بد وان تكون احدى الوصلتين ، في الاتجاه الامامي ، والاخر في الاتجاه العكسي ، لمرور التيار . انظر الشكل رقم 22



الشكل رقم 22 يبين فرق الجهد الحاصل بين طرفي الحاجز ، المتشكل في الترانزستور ، والذي يعطي شكلا خاصا لتوضع الالكترونات والفجوات والايونات الايجابية (المانحات) والسالبة (المتقبلة).

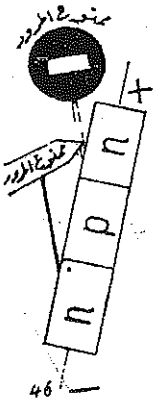
م : مثلا ، لو نحن طبقنا جهدا على طرفي ترانزستور من النوع n-P-n ، بحيث يكون القطب السالب من اليسار والقطب الموجب من اليمين ، فان الوصلة الاولى n-P ، تسمح للالكترونات أن تمر ، بكل حرية ، من اليسار نحو اليمين . أما الوصلة الثانية P - n فتغلق عليها الطريق حتما .

وبنفس الوقت ..، الن توجد هناك ، حتى ولو بضعة الكترونات ، تنفلت بعيدا بحيث ، تستطيع ، بغض النظر عن كافة الحواجز ، ان تدور في الدارة الكهربائية المغلقة ، المبينة على الشكل رقم 22 !...؟

ع : نعم ..، ان مثل هذه الالكترونات ، لا ينعدم وجودها ، بل انها تستطيع أن تشق طريقها عبر الدارة ، بفضل التأثير الحراري الذي يساعدها على اجتياز الوصلة P - n ، ان هذه الالكترونات ، المخترقة للحاجز ، رغم اغلاق الطريق ، والتي تمر عبر الدارة ، تشكل ما يسمى :

بالتيار الحراري او تيار الاشباع (1)

م : من أين اتت هذه التسمية الاخيرة للتيار ...؟ وهل يمكن أن يكون هذا التيار كبيرا للغاية ...؟



ع : كلا ...، بالعكس فهو صغير للغاية ، وهو عمليا، لا يتوقف على قيمة الجهد المطبق على الترانزستور ، واذا زدنا قيمة هذا الجهد ، فان قيمة التيار ، تبقى تقريبا بدون تغيير ، ومن تسمية الاشباع الانفة الذكر ، يمكن أن نفهم هنا ، أن كافة الالكترونات الحرة ، والقادرة ، عند درجة الحرارة

---

1 ــ هنا يرتكب العارف بعض الخطأ ، لان تيار الاشباع، الذي سيأتي الحديث عنه فيما بعد ، يمر عند تطبيق جهد عكسي ، على واحد من الممرين P - n فقط ،اي عندما يطبق الجهد بين القطب المتوسط من الترانزستور (القاعدة)، واحدى القطبين المتطرفين . ويجب ايضا الاهتمام في تصريف الحرارة المتولدة على الترانزستور .

المعنية ، على اجتياز حاجز الجهد ، تساهم في تشكيل تيار الاشباع ، موضوع البحث .

م : واذا ارتفعت درجة الحرارة ...؟..

ع : كذلك ، فان قيمة تيار الاشباع ، تزداد ايضا ، وعموما يلاحظ اكثر من ذلك ، انه عندما تكون قيمة الجهد عالية ، فان الاستطاعة التي يتطلبها ازدياد قيمة التيار ، تسبب حدوث تسخين اضافي ، للوصلات والحواجز الموجودة في الترانزستور ، الامر الذي يؤدي بدوره ، الى ازدياد جديد في قيمة التيار .

م : الامر الذي يؤدي بدوره ، الى ارتفاع درجة حرارة الوصلات ، من جديد ، وهكذا بالتتالي ...

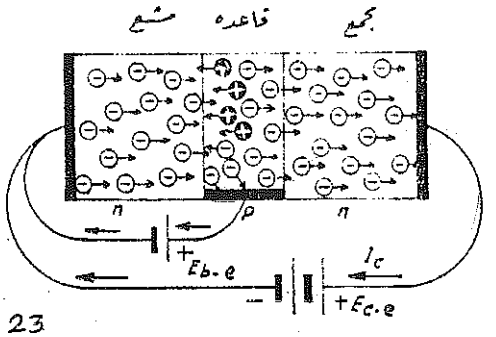
ع : نعم ..، وفي هذه الحالة يمكن الحديث عن وجود عدم ثبات او تقلقل حراري ، يمكن أن يؤدي الى تدمير الترانزستور ، (هذا ما يسمى بالانهيار الحراري) . لذلك فانه عند العمل مع وجود درجات الحرارة المرتفعة ، يجب..، الا يطبق جهد مرتفع جدا على الترانزستور .

م : كن مطمئنا يا صديقي ، انني اعدك ، بأن اضع مراوح في جهازي الذي سوف اصنعه من الترانزستورات . ولكنني حتى الان ، لم ار أية فائدة من سندويتش انصاف النواقل هذه .

القاعدة هي أساس كل شيء في الترانزستور :

ع : هذا لانك لم تصل بعد ، الى الدسم ، الى شريحة اللحم ياعزيزي ، اقصد الطبقة الرقيقة المتوسطة ، الموجودة بين كلا الوصلتين ، والتي نسميها نحن « **القاعدة** » ، لنطبق الان ، بالاتجاه الامامي ، جهد ليس بكثير،بين الباعث والقاعدة، كما هو مبين على الشكل رقم 23 .

م : انك تريد ان تقول ، انه لو اخذنا ترانزستور من



الشكل 23 يبين كيف انه ، عندما يتشكل تيار يمر من الباعث والى القاعدة ، بواسطة الجهد المطبق بينهما E b – e ينفتح الطريق عبر الوصلة الى المجمع .

البنية n-P-n ، فانه يجب أن نجعل باعثة سالبا بالنسبة الى قاعدته .

ع : هذا هو المقصود بالضبط ، وما رايك ... انه سيحدث في هذه الحالة ...؟

م : ليس من صعوبة في الامر ....! جهد يطبق في الاتجاه الامامي وهذا يعني انه يمر عبر الحاجز ، بين الباعث والقاعدة ، تيار معين ، هذا كل ما في الامر .

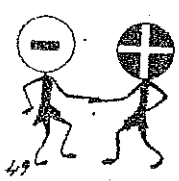
ع : لا ياعزيزي ...! ان هذا بعيدا جدا ، عن ان يكون كل شيء .... ان التيار يجلب الى القاعدة ، (المنطقة P) الالكترونات الحرة ، من المجمع ، الذي هو نصف ناقل من النوع n ، ولكن ، بما أن القاعدة رقيقة جدا ، فان كمية قليلة جدا أيضا ، من الالكترونات ، كافية لاملاء الفجوات الموجودة في المنطقة P ، (القاعدة) ، والناتجة عن هجرة الالكترونات منها .

عند ذلك ، ووفقا لالية الحوادث ، التي مرت معنا في المناقشة السابقة ، سوف يمر عبر مربط القاعدة ، تيار صغير يسمى بتيار **القاعدة** I b ، والقسم الاعظم ، من الالكترونات الداخلة الى القاعدة ، تستمر في حركتها وتدخل الى منطقة المجمع ، ومنها تنجذب نحو الجهد الاكثر ارتفاعا ، في منبع

الجهد Ec - b ، وتبعا لذلك ، فان هذه الالكترونات ،تجتاز حاجز جهد الوصلة الثانية ، وتتابع سيرها مارة عبر المجمع ومنبع الجهد المجمع ــ الباعث Ec – e ، لتعود الى الباعث من حيث أتت .

م : امر غريب جدا ...! اذا أنا فهمت سير الحوادث بشكل صحيح ، فانني أرى ، أنه يكفي أن يطبق قسم قليل من الجهد ، بين القاعدة والباعث ، كي يفتح الطريق للالكترونات، حتى تمر عبر الوصلة الثانية بين القاعدة والمجمع ، هــذه الوصلة ، التي تقف في الحالات العادية ، سدا حاجزا أمام الالكترونات ، وتمنعها من المرور في الاتجاه المعاكس .

ع : نعم يا صديقي الجاهل ، وبالتحديد ، يمكن القول ، أن الاثر الترانزستوري يتلخص في ، تخطي الحاجز الموجود في الوصلة الثانية ، رغم انها مغلقة بواسطة الجهد العكسي .



م : انني اعتقد ، بأن العلميلة تصبح واضحة بالنسبة لي اكثر ، اذا أنت سميت ، قيم الجهد والتيار الكهربائي ، المستخدمين في المخططات الترانزستورية ولو على شكــل مراتب تقريبية .

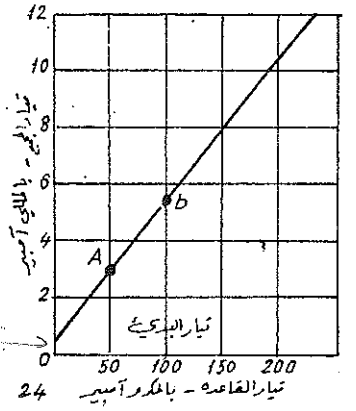
ميكرو امبيرات القاعدة وميللي أمبيرات المجمع :

ع : انك على حق يا صديقي ، ولا بد انك لاحظت ، أن قيمة الجهد المطبق عادةبين القاعدة ــ الباعثفي الترانزستورات المنخفضة الاستطاعة ، تكون قليلة ، من مرتبة 0,2 فولط، عند ذلك يمر في دارة القاعدة ــ الباعث ، تيار صغير ، قيمته تساوي عدة عشرات من الميكرو امبيرات ، وكذلك الجهــد المطبق ، بين ــ الباعث والمجمع ، يمكن أن يتكون 15 ÷ 10 فولط ، وفي الاونة الاخيرة ، بعد التطوير المستمر ، لصناعة الترانزستور،يمكن أن يكون حوالي 1,5 ÷ 6فولط ، أما تيار المجمع عندئذ ، يمكن أن يساوي ، من 0,5 ميكرو امبير حتى عدة مئات من الميللي أمبير .

م : مختصر الكلام ، يمكن أن تقول ، أن الباعث يقذف

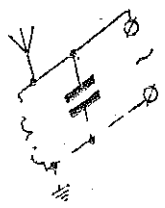
الى القاعدة ، بعض كميات من الالكترونات ، وتعود كميـــة صغيرة أخرى من هذه الالكترونات ، راجعة الى الباعث فورا. عن طريق منبع جهد القاعدة ــ الباعث Eb-e ان هذه الالكترونات، هي التي كان حظها سيئا ، خلال رحلتها القصيرة ، عبـر القاعدة ، فتقابلت مع فجوات ، لم تستطع تخطيها ، فملأتها مرغمة) ... أما القسم الاكبر من الالكترونات ، فيتابـــع طريقه ، حيث يجتاز الوصلة الثانية، متوغلا في المجمع ، ويعود بعد ذلك ، الى الباعث عبر منبع جهد المجمع ــ المشع Ec - e وانا كنت أتوقع أيضا ، أن عمليـــة التضخيـم في الترانزستور تتلخص ، في أن تيار المجمع ، يكون أكبر بكثير من تيار القاعدة.

ع : انك تستعجل بعض الشيء ، ولكنك لا تخطىء فـــي تقديراتك وتفسيرك للامور ، وان عملية التضخيم ، تتلخص في: أن تيار المجمع ، يكون تابعا ، بصورة اساسية ، لتيار القاعدة، ويتغير بشكل يتناسب مع تغيرات هذا الاخير ، وبصورة عامة، فان تيار المجمع، يكون أكبر عشرات وحتى مئات المرات من تيار القاعدة، وعلى سبيل المثال فان المخطط البياني ، المبين على الشكل رقم 24 يبين كيف يتغير تيار المجمع ، تبعا لتغيرات تيار



24

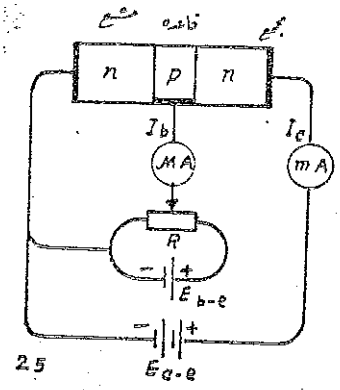
الشكل رقم 24 يمثل تابعية تيار المجمع Ic ، (القيم مقدرة بالميلي امبير) لتيار القاعدة Ib (قيمتـه مقدرة بالميكرو امبير) . وبين النقطتين A – b يزداد تيار القاعدة من 50 ÷ 100 ميكروامبير ، اي بقيمة قدرها 50 ميكروامبير او 0,05 ميلي امبير ، اما تيار المجمع بين هاتين النقطتين ، فيتزايد من 3 ÷ 5,5 ميلي امبير ، اي يتزايد بمقدار 2 , 5 ميلي امبير ، وبناء على ذلك ترى ان مقدار التضخيم بالتيار يبلغ 50 = 0–05 / 2 , 5 اي 50 مرة



القاعدة ، في احدى الترانزستورات . وأرجو أن تكون منتبها يا صديقي ، فلا يخفى عن بالك ، أن تيار القاعدة هنا ، يقدر بالميكروامبير ، أما تيار المجمع ، فيقدر بالميلي أمبير . واذا قمت بمراقبة كافية ودقيقة ، لكيفية ازدياد ، قيم التيارين الانفة الذكر ، لرايت ان تيار المجمع ، الذي يمكن أن نسميه **بتيار البدىء** . حيث أنه موجود حتى في حال عدم وجود تيار القاعدة ، تراه أكبر بخمسين مرة ، من القيمة البدائية لتيار القاعدة ، وان هذه النسبة تبقى موجودة ، على طول خط تزايد كل من التيارين ، وفي هذه الحالة ، يقال : أن التضخيم بالتيار يساوي خمسين مرة .

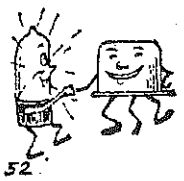
م : وكيف يبنى مثل هذا المخطط البياني .. ؟

ع : بغاية السهولة ...! نغير قيمة الجهد المطبق بين القاعدة والباعث ، بواسطة مقاومة متغيرة ، توضع بالدارة لهذه الغاية ، كما هو مبين على الشكل رقم 25 ، ثم تقاس قيم تيار القاعدة وتيار المجمع المقابلة لبعضها ، (يجري القياس بواسطة المكروامبير متر لتيار القاعدة)، أما تيار المجمع (فيجري القياس بواسطة الميلي أمبير متر)

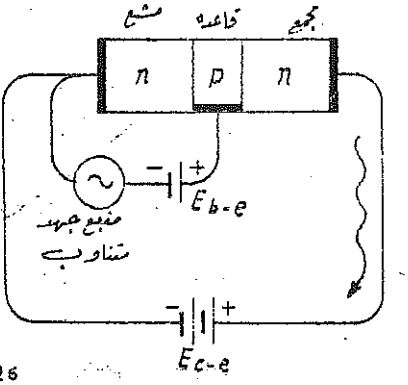


الشكل رقم 25 الدارة التي يمكن بواسطتها استخراج تابعية تيار المجمع لتيار القاعدة وتلك التابعية مبنية على المخطط البياني رقم 24 وفي الدارة المذكورة تقاس كل من قيمتي تيار القاعدة وتيار المجمع من أجل كل وضع لزالقة المقاومة المتغيرة .

م : يا صديقي توجد عندي فكرة ، فبدلا من أن ندور


52

ذراع المقاومة المتغيرة ، لتغير الجهد نفسه بين القاعدة والباعث، هيا بنا لنطبق بينهما بنفس الوقت ، مع منبع الجهد المستمر Eb - e ، اي اشارة كانت ، لا على التعيين ، وليكن على سبيل المثال ، الجهد العالي التردد ، والمأخوذ من الهوائي، أو الجهد المتناوب المنخفض التردد، الناتج بعد كشف الاشارات، (كما هو مبين على الشكل رقم 26) وبذلك، اذا أحدثنا تغيرات صغيرة ، في تيار القاعدة ، نحصل بنفس الوقت ، على تغيرات كبيرة في تيار المجمع .

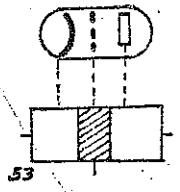


26

الشكل رقم 26 يطبق بين القاعدة والباعث ، جهد متغير ــ عند تطبيق هذا الجهد تظهر فورا المركبة المتناوبة من تيار المجمع، في دارة المجمع نفسه.

أوجه الاختلاف والتطابق بين الترانزستور والصمام :

ع : برافو يا صديقي المبتدىء ، كيف انك إستطعت أن تفكر في هذه الفكرة الرائعة .


53

م : هل ترى يا عزيزي ، انني في هذه اللحظة ، اتخيل التشابه المنطقي بين الترانزستور والصمام الالكتروني . فهذه على سبيل المثال : القاعدة في الترانزستور ، تشبه الى درجة مدهشة ، الشبكة في الصمام . وكذلك أيضا ، كما ان الشبكة تتوضع بين المصعد والمهبط ، فان القاعدة تتوضع بين الباعث والمجمع . وهذا الباعث أيضا ، كالمهبط ، يشع الالكترونات ، بينما المجمع كالمصعد يجمع الالكترونات) ومثلما يلاحظ ، أن

تغيرات بسيطة ، في جهد الشبكة ، تسبب تغيرات كبيرة ، في تيار المصعد ، كذلك يلاحظ هنا ، أن تغيرا ضعيفا ، في جهد القاعدة ، يشكل تغيرات كبيرة،لتيار المجمع ، والى الامام... لقد فهمت خواص الترانزستور ...! ولكني لست الوحيد،بين الاشخاص ذوي الفكر النير .

ع : اذا تكلمنا بصدق وصراحة ، فان نجاحك في هـذا المجال ، متواضع للغاية .. وانني لا اجرؤ،ان اقابل مبادهتك الشابة ، براحة واطمئنان . وارى لزاما علي ، أن أقول ، بأن مقارنة الصمام مع الترانزستور ، وان كانت تسهل فهم بعض الحوادث والظواهر ، الا انها تحوي محاذيرها ، الخاصة التى يجب الا تغفل ، وان تبقي عملية المقارنة ، ضمن حدود معقولة.

م : انني لا أرى هناك ، فوارق هامة بينهما .

ع : في البداية ، نلاحظ فارق ذو أهمية واضحة . وهو وجود تيار القاعدة في الترانزستور ، واذا كنت تذكر ، فاننا عند استخدام الصمام ، كنا نسعى بكل دقة وحذر ، لتجنب وجود تيار الشبكة .

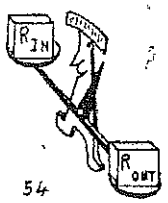
م ــ ان ما تقوله صحيح ، حتى اننا كنا نرسل الـــى دارة الشبكة ، جهد انحياز سالب القطبية ، كي نعيق تحول قطبية الشبكة ، الى القطبية الموجبة ، عند وجود اندفاعات حادة موجبة ، في اهتزازات الاشارة ، مما يجعلها تنافس المصعد نفسه ، حيث تصبح قادرة على اجتذاب الالكترونات .

ع : لذلك . تكون اشارة الدخل عند الصمام الالكتروني، عبارة عن جهد فقط ، جهد لا يشكل عمليا أي تيار،وتبعا لذلك، لا يوجد هنا صرف ولا ضياع في القدرة ، وفي الترانزستور ، نجد خلافا لذلك ، أن جهد اشارة الدخل ، يعطي تيار قاعدة معين ،وهذا يعنـــي ، أننايجب أن نحسب حســـاب القدرة المصروفة .

م : وهل يمكن الاستنتاج ، انه في القســـم الباعث ــ القاعدة من الترانزستور ، توجد مقاومة الدخل ، ومن المعتقد

ماهي مقاومة الدخول وماهي مقاومة الخروج وماهي طبيعتهما

أن قيمة هذه المقاومة صغيرة ...؟



54

ع : بدون شك ...! وان مقاومة الدخل في الترانزستور ، تشكل كأقصى حد ، حوالي بضعة مئات من الاومات ، في حين أن المقاومة بين المهبط والشبكة في الصمام الالكتروني ، تكون عمليا كبيرة ، تصل الى مالا نهاية ، في حين ان هذه المقاومة في الترانزستورات المرتفعة الاستطاعة ، تشكل فقط عدة أومات أو بضع عشرات من الاومات . ولكن مقاومة الخرج في الترانزستور . فتكون بالعكس ، فهي عالية بمافيه الكفاية ، وقد تصل الى عدة عشرات الالاف من الاومات (1)

51

59

م : هذا واضح ، حيث يطبق على الوصلة ... الباعث ـــ القاعدة ، جهد أمامي ، يؤدي الى انخفاض المقاومة . أما على الوصلة القاعدة ـــ المجمع ، فيطبق جهد عكسي ، مما يجعل مقاومة الخرج ، عالية نسبيا . وانه لامر يثير الاهتمام ، ان تكون مقاومة الخرج عند الترانزستور ، من نفس المرتبة ، التي هي عليها في الصمام الالكتروني .

ع : كما ترى يا صديقي المبتدىء . يجب الا نتعجل الحوادث ، ونركض الى اطلاق الكلام ، عن تشابه الصمامات الالكترونية مع الترانزستور ، دون أن يكون هناك ضرورة ملحة ، أو دون أن يسبق ذلك ، مناقشة وتمحيص دقيق ، خاص .

---

1 ان المقاومة التي يتحدث عنها صاحب الاطلاع ، تحسب عن طريق تقسيم التغير الصغير ، الذي يطرأ على الجهد ، على مايسببه ، من تغير في قيمة التيار . وتبعا لذلك فان مقاومة الدخل تكون

$$R_{in} = \frac{\Delta U_b}{\Delta I_b}$$

حيث ΔU_b التغير البسيط في قيمة الجهد ، بين المشع والقاعدة ، أما ΔI_b فهو التغير في قيمة تيار القاعدة ، كقيمة لتغير الجهد .

وبنفس الطريقة تماما تحسب قاومة الخرج

$$R_{out} = \frac{\Delta U_c}{\Delta I_c}$$

حيث ΔU_c التغير الطارىء ، على الجهد المطبق بين المشع والمجمع ، أما ΔI_c التغير الموافق على قيمة تيار المجمع .

واذا تابعنا مناقشة التشابه ، كما بدأنا بمناقشة الموضوع الرئيسي ، وهو مقاومة الدخل والخرج ، يصبح من السهل عليك ، أن تفهم،كيف تتم عملية تضخيم الجهد في الترانزستور.

تضخيم الجهد :

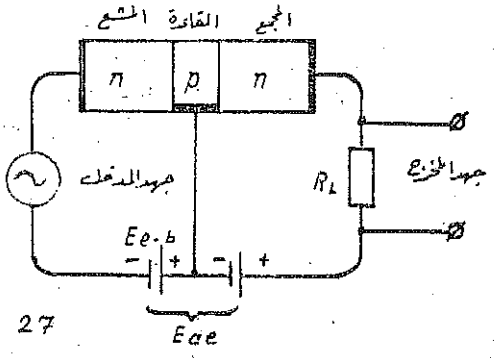
م : اعتقد أن الجهد المتناوب الصغير ، المطبق بين الباعث والقاعدة ، يحدد كما سبق أن ذكرنا ، تغير تيار القاعدة .

56

ع : وان هذا التغيير ، يكون أكبر ، كلما كانت مقاومة الدخل أصغر ، (هذا اذا كان منبع الجهد نفسه ، يملك مقاومة داخلية صغيرة أيضا .)

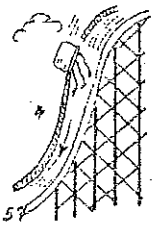
م : انني أعرف ذلك ، لانه يتواجد في رأسي ، على الدوام ، قانون أوم ، الذي بموجبه يكون التيار كبيرا ، كلما كانت المقاومة صغيرة .

ع : وبنفس الوقت ، فان تيار المجمع ، يتغير وفقا لتغيرات تيار القاعدة ، وبنسبة معينة ، وتبعا لذلك ، فانه سوف يتعرض أيضا ، لتغيرات ملموسة . ولكن ، بما أن مقاومة خرج الترانزستور كبيرة جدا ، فاننا بدون أية صعوبة،نستطيع تمرير تيار المجمع . عبر المقاومة الكبيرة للحمل — (وهذا يعني أن الحمل يجب أن يكون كبير المقاومة) ....



المشكل رقم 27 يبين عليه منبعان للجهد (احداهما لدارة القاعدة ، وآخر لدارة المجمع) يمكن أن يستعاض عنهما ، بمنبع واحد للجهد ، ذي تفريعة. وبدلا من تفريعة البطارية ، يمكن استعمال مقسم جهد ، يتكون من مقاومتين) ويبين المشكل ايضا ، مكان توصيل مقاومة الحمل RI . التي ،ينتج عليها جهد الخرج المضخم .

م : ... التي ينتج عليها ، الجهد المتناوب بعد تضخيمه، لدرجة كبيرة .... واذا كانت ذاكرتي لا تخونني ، فانني أتذكر، في الصمامات الالكترونية ، ان نسبة تغيير تيار المصعد : الى مسببه ، في **جهد الشبكة يسمى التوصيل المتبادل أو الميل** . وهل يمكننا ، هنا في مملكة الترانزستورات، استعمال هذا المفهوم نفسه ...؟ وفي هذه الحالة ، يجب أن يكون التوصيل المتبادل هذا ، مساويا لنسبة تغيير تيار المجمع ، الى تغيير جهد القاعدة ، اليس كذلك ...؟



ع : نعم ياصديقي المبتدىء ...، كثيرا ما يرد الحديث عن التوصيل المتبادل في الترانزستور ، ونحن كذلك ، سوف نصل في الوقت المناسب ، الى الحالة التي نستعرض فيها هذا المفهوم بالتفصيل . كما انني الان ، أستطيع أن أقول لك أن التوصيل المتبادل في الترانزستور ، يساوي تقريبا (30ma/V) 30 ميلي أمبير / فولط (هذا ، عندما تكون دارة المجمع ،مغذاة من المنبع الخاص بها ، بتيار قدره 1 ma ميللي امبير واحد) ولا يوجد ما يدعي للاستغراب ...

م : ولكن هذا رائع جدا ...! ، فمن الواضح ، انه بالتوصيل المتبادل المذكور ، يمكن الحصول على تكبير ضخم للغاية .... ؟

ع : كلا ... كلا يا عزيزي ، فللاسف كما أنك سوف ترى عاجلا ، اذ أن مقاومة الدخل المنخفضة في الترانزستور .تحرمنا جزئيا من الاستفادة من حسنة التوصيل المتبادل المرتفع المذكور آنفا وعدا عن ذلك ، لابد كما تعلم ، من الحد من اتساع الجهد المتناوب ، الذي يجري تضخيمه.

م : في الصمامات الالكترونية ، يجب الابتعاد عن الحالة التي يصبح فيها ، جهد انحياز الشبكة موجبا وكذلك هنا كما اظن ، يجب تفادي الظاهرة المعاكسة ، حتى لا تقوم القمم السالبة ، في الاهتزازات،بجعل الباعث موجبا،بالنسبة للقاعدة ـ أي انه ، كي لا تغلق تلك القمم السالبة ، وصلة الباعث ـ القاعدة .

ع : هذا صحيح ، وعدا عـــن ذلك ، يجب الا يسمح للقمم الموجبة ، في الجهد المتناوب ، الوارد الى القاعدة ، بقصد التضخيم ، أن تؤدي الى زيادة كبيرة جدا في تيار المجمع ، تفوق الحد المألوف ، المسموح به ، لان قيمة هـــذا التيار ، محدودة بقيمة الجهد الهابط على مقاومة الحمل ، وهذا الجهد ، لا يمكن أن يصل الى قيمة جهد المنبع ، المغذي لدارة المجمع — الباعث — Ec - e ...!

م : الا يجوز ، بقصد ازالة هذا الخطر ، جمع جهد كلا المنبعين معا — ؟

ع : ان مثل هذه العملية ، قد تؤدي في بعض الحالات ، الى حوادث لا تحمد عواقبها ، وذلك لانه ، لكل نوع من أنواع الترانزستورات ، توجد قيمة اعظمية للجهد المستمر ، يسمح بتطبيقها عليه ، ولا يجوز تجاوزها ، لكي لا تؤدي الى عطب الترانزستور (1) .

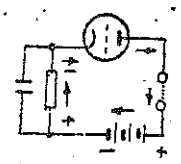
الا انني ، بنفس الوقت ، اريد أن اقول لك ...، يمكن جمع منبعي الجهد الانفي الذكر على التسلسل ، (وهـــذا أفيد عمليا) ، لان الجهد المطلوب توصيله الى المجمع ، أكثر ايجابية ، من الجهد الذي يرسل الى القاعدة ، وذلك بالنسبة للجهد المطبق على الباعث ، (انظر الشكل رقم 27)

م : انني ارى ايضا ، كيف أن البطارية Ec - b ، تضعف منبع الجهد Ec - e ، وتخفض جهده ،

ع : بالفعل ...، ان جميـــع مصممي المضخمـــات الترانزستورية ، يتجنبون في كافة الحالات ، استخدام البطارية الاولى Ec - b ، . اما جهد الانحياز ، اللازم تطبيقه على القاعدة ، فيمكن الحصول عليه ، أوتوماتيكيا ، وذلـــك ، بواسطة المقاومات المتغيرة ، التي توصل الى المنبع Ec - e والمقاومة الموصلة في دارة الباعث .

ان كافة هذه المناقشات ، تمس الترانزستور من النوع n-P-n اما بالنسبة للترانزستورات من النوع P-n-P ، فقطبية كافـــة الجهود ، تكون عكس ما هي عليه هنا

م : ذلك يشبه ما يستخدم في الدارات الصمامية ، حيث يمر جهد المصعد عبر المقاومة التي ينتج عليها جهد انحياز الشبكة .. أليس كذلك ...؟



59

ع : تقريبا ، ولكن تفاصيل هذا السؤال ، سوف نستعرضها فيمابعد ...! والان ، أرجوك ريثما نلتقي مرة أخرى ، أن تفكر كتمرين : في سلوك الترانزستور ، من النوع الاخر P-n-P (ويجب القول ، أن هذا النوع ، هو الاكثر انتشارا في صناعة الترانزستور)

م : آه ، اذن تنتظرني ليالي طويلة لا نوم فيها ...!

المحادثة الرابعة :
فيزياء الترانزستورات :

في المناقشات الثلاث الماضية . قام صديقانا العارف والمبتدىء ، بدراسة الاسس والظواهر الفيزيائية في الترانزستورات ، ومن أجل ذلك ، كان لا بد لهما ، من فهم تركيب البنية الداخلية للترانزستور ، مبتدئين من بنية الذرة ، ثم مكان ودور الذرة في بنية الكرستال (البلورة) والشبكة الكرستالية . وشاهد صديقانا أي خلل يحدثه دخول الشوائب في مجتمع الذرات المتجانسة . وأخيرا توصلا الى جمع وتركيب ، مناطق من المواد النصف ناقلة . من نماذج مختلفة الناقلية ، وحصلا على الديودات والترانزستورات .

ــ ولتمثل وفهم، كافة المواضيع الانفة الذكر، من المفيد أن ندرس، بعض التفاصيل المتعلقة بها ، والتي تطرقنا اليها آنفا . دراسة تفصيلية ، تلقي الاضواء على بعض الزوايا التي لاتزال غامضة . وهذا موضوع المناقشة الحالية :

محتويات الموضوع : حركة الشحنات الكهربائية ، الحوامل الاساسية للتيار . مبدأ عمل الترانزستور من النموذج P-n-P ، الوصل بين الاجزاء المعدنية ، رموز وتسميات المرابط ، الرموز الاصطلاحية للترانزستور ، شرح مختصر عن المفاهيم الاساسية .

أربعة نماذج من الدقائق المشحونة :

م : ان انصاف نواقلك ياعزيزي العارف ، اجبرتني ، أن امضي اكثر من ليلة بدون نوم وهذه الشياطين ، مسلية رغم صعوبتها ...!

ع : هل ترى انني مسؤول عن عدم نومك ...؟ ولزم ان اكتب لك طلاسم منومه ...؟ او انك تفضل ، أن اشرح لك بوضوح ، تلك المواضيع والمسائل ، التي تبدو لك صعبة غير مفهومه ....؟

م : أنني فضلت ، منذ البداية، الحصول على أجوبة ، للاسئلة والمواضيع التي تقلقني ، وتبعث في نفسي ، شغف المطالعة ، علني أجد تلك الاجوبة ، هل ترى ....؟ كيف تبدو لي بعض الظواهر ، القطبية . وهي

1) — الذرات المتأينة تأينا ايجابيا ، (مانحة الالكترونات Donors) ، التي تكون قد خسرت الالكترون الخامس من مدارها الخارجي ، واصبحت ذات شحنة موجبة .

2) — الالكترونات المتحررة على هذا الشكل ، والتي تملك شحنة كهربائية سالبة .

3) — الذرات المتأينة تأينا سالبا (مستقبلة الالكترونات Acceptors) ، التي تقوم بأخذ الكترون اضافي ، من الذرة المجاورة ، كي تكمل عدد الالكترونات على مدارها الخارجي الى اربعة ، وبهذا تصبح سالبة الشحنة .

4) — واخيرا : الفجوات التي تظهر ، بنتيجة الامساك بالالكترونات ، وتكون عبارة عن نقص أو عدم كفاية في عدد الالكترونات ، ولذلك فهي تقابل شحنة كهربائية موجبة .

ع — انك شرحت الاوضاع والحوادث ، التي تجري في نصف الناقل ، بشكل جيد ، فما الذي يشغل بالك بعد ...؟

م — آه ...، موضوع حركة الشحنات . فقد قلت لي، أن التيار الكهربائي في انصاف النواقل ، يتشكل عن طريق تدفقين بآن واحد . تدفق الالكترونات المتجهة من القطب السالب الى القطب الموجب ، وحركة الفجوات المتجهة بالاتجاه المعاكس ، من القطب الموجب الى القطب السالب . وهذه هي الصفات الاساسية ، التي تتميز بها انصاف النواقل ، عن المعادن ، التي تتكون فيها الناقلية الكهربائية من حركة الالكترونات فقط .

ع — ان هذا صحيح تماما ...، الا انه يجب أن تضيف الى القول ، ان حركة الفجوات ، تكون ايضا في نهاية المطاف، مشروطة بحركة الالكترونات ، وتابعة لها .

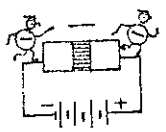
م ــ ولكنني لم افهم بعد، لماذا لاتسهم ، الذرات المتأينة، سواء المانحة منها ، أو المتقبلة ، في حركة الشحنات .

ع ــ انني اشعر بما يؤلمك ، وأنك لعلى حق بلا جدل ، في ان تطرح مثل هذه السؤال ، على الرغم من أن هذا الموضوع، سهل للغاية ، فالذرات المتأينة ، نفسها لا تستطيع الحركة ، ياعزيزي ، لانها كما أصبحت تعلم ، تدخل في قوام الشبكة الكرستالية ، وترتبط ارتباطا وثيقا في أماكنها ، مع بعضها ومع جاراتها من الذرات ، وطالما أن الجسم لا يزال بحالته الصلبة ، فان ذراته تبقى أسيرة روابط ، صعبة الانفكاك ، مستحيلة الرؤيا ، تعمل على تثبيتها في أماكنها . أما في السوائل،فخلافا لما هو مألوف في الاجسام الصلبة،فان الذرات المتأينة ، تتحرك بحرية ، وعند تطبيق جهد خارجي عليها ، تشكل ناقلية تسمى **ناقلية التأين** ، وتسمى هذه الظاهرة ايضا **بظاهرة التحليل الكهربائي** ، والمحاليل بدورها،تسمى **بالمحاليل الكهربائية** ، التي حدثوكم عنها ، أساتذة الفيزياء ، في دروسهم، عندما كنتم على مقاعد الدراسة .

م ــ ان كلامك رائع وجميل ، يبعث السرور في نفسي ، ويذكرني بايام الدراسة الحلوة ، واعتبارا من الان ، وبعد هذا الايضاح المقنع ، سأكون على حق،أن لا آخذ في الحسبان، تلك الذرات المتأينة ، في كافة مناقشاتي ، واكتفي فقط ، بدراسة حركات الالكترونات والفجوات .

ع ــ انك محق في ذلك تماما ، واسمح لى أن اضيف الى كلامي السابق ، اننا يجب أن نكون سعداء جدا ، لكون الايونات في انصاف النواقل ، تبقى ثابتة في مكانها لا تتحرك. لان ناقلية مختلف مناطق الترانزستور ، في الحالات المخالفة لذلك ، يمكن أن تتغير مع مرور الزمن ، الامر الذي يقصر من فترة استخدامه . أما فيما يتعلق بالالكترونات ، فانها تتدفق متجددة باستمرار ، لان منبع الجهد ، يقذفها من طرف ــ ويستعيدها من الطرف الاخر . مما يؤدي الى ، تولد فجوات جديدة . وهذا يعني ، أننا نحن لم نكتشف بعد ، أية حالات أو ظروف ، من شأنها أن تحد،من مدة استخدام الترانزستور . أو ما يسمى : **بالعمر العملي للترانزستور**

ان انشتاين كان محقا :


63

م ــ لطيف جدا ، ولكن لنتحدث بعد ، عن الالكترونات والفجوات ، لانني أرغب جدا ، لو كنت اعرف ، كيف انهما تتواجد معا في آن واحد ، دون أن يؤثر احداها على الاخر . وبالتالي : دون وجود التعادل الالكتروني ، فالشحنات الكهربائية المختلفة القطبية ، تتجاذب ....؟

ع ــ فكر جيدا ياعزيزي المبتدىء ، في المسافات الكبيرة جدا (طبعا بالمقياس الذري) ، التي تفصل بين معظم هذه الاجزاء ، بعضها عن البعض الاخر ، والالكترونات ، تستطيع أن تقطع ركضا ، طريقا تزيد مئات المرات، عن المسافة الفاصلة بين الذرات ، ويبلغ طول ذلك الطريق ، وسطيا ، حوالى جزء من عشرة آلف جزء من الميللي متر فقط ،.. ولكن هذه المسافة الزهيدة جدا ، في المقاييس الانسانية ، تقابل مسافات هائلة ، كالمسافات الفضائية بالنسبة للالكترونات ، . وانت تعلم ، انه في هذه الحالة ، لا يملك الالكترون ، حظا كبيرا جدا ، ليلتقي بفجوة ، ولذلك نجد أن الالكترونات والفجوات، تتواجد في الواقع معا على الدوام .

64

م ــ نعم ... لقد اوضحت لي ، انه حتى في الشروط الطبيعية للحرارة ، توجد هناك حركة حرورية معينة ، تؤدي الى انتزاع الالكترونات من الذرات ، وترميها في الفضاء الواسع بين الذرات .

ع ــ في كل سنتمتر مكعب من الجرمانيوم النقي ، وفي الشروط الطبيعية للحرارة ، يوجد حوالي خمسة وعشرون مليار ، من الالكترونات الحرة ، ومن الطبيعي أن يكون عدد الفجوات مساويا لمثل هذا العدد ، وذلك لان المكان الذي يتركه الالكترون ، لا يمكن الا أن يكون فجوة . ان هذا الزوج من حوامل الشحنات الكهربائية ، يعد امتدادا لحياته العملية حيث انه يتلاشى ويطفأ ، ولكن طيلة الوقت ، تتولد ازواج جديدة ، من الحوامل . وهكذا ، يحافظ داخل الكرستال على

توازن ستاتيكي في حوادث تولد الالكترونات والفجوات واعادة اتحادها من جديد .

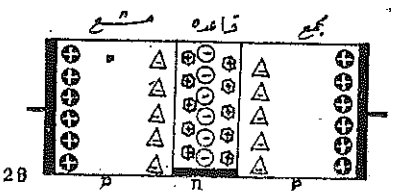
م ـــ اذا كان الجرمانيوم غير نقي ...؟ واذا نحن ادخلنا به شوائب من النموذج n على سبيل المثال ....؟

ع ـــ في هذه الحالة ، تصبح الالكرونات الحرة ، أكثر من الفجوات ولذلك ، ترى انه في المادة نموذج n ، تسمى الالكترونات بالحوامل الاساسية للشحنات الكهربائية .

م ـــ وانا اتوقع ايضا ، انه في نصف الناقل من النموذج P ، يكون هناك فجوات ، كثيرة العدد ، فارغة ، ولذلك يعتبر هنا ، ان الفجوات هي الحوامل الاساسية للتيار ، ومن هنا نرى ، أن **ايشتايـــن** كان محقا تماما ، في نظريته النسبة . **فكل شيء نسبي .**

بنية الترانزستور من النموذج :

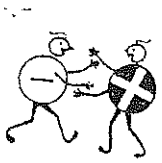
ع ـــ الان ، وبعد ان حققت لك رغبتك ، وارضيت غريزة حب الاطلاع لديك ، الا تستطيع انت بدورك ، ان تجيبني على السؤال الذي طرحته عليك في نهاية نقاشنا السابق ....؟. كيف يعمل الترانزستور من النموذج P-n-P (الشكل رقم 28



شكل رقم 28 يبين توزيع حوامل الشحنات الكهربائيـــــة (الالكترونات والفجوات) والذرات المتاينة في الترانزستورات نموذج P-n-P قبل وصل جهد التغذية اليه ، ويبين شكل حاجز الجهد والتاينات المتكونة ، مع الشحنات الموجبة والسالبة .

م ـــ انني فكرت بذلك كثيرا ،واعتقد انني استطيع الاجابة على هذا السؤال ،... في هذا الترانزستور ، خلافا لما هو

فكرة تيار القاعدة ... لماذا يكون تيار القاعدة سالبا فقط مع السيليكون فقط مع السي ؟



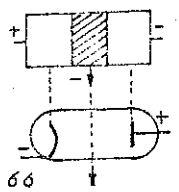
65

في الترانزستور نموذج n-P-n ، يجب ان يكون المجمع سالبا بالنسبة للباعث ،... اسمع ياصديقي ، انني مضطر ان اقول لك بانني اشعر بأن هذا لا يسرني ابدا ولا يكفي لاستجلاء الموضوع .

ع — ولماذا تعتقد ذلك .....؟

م — لانني اسعى دوما ، لمقارنة الصمام الالكتروني ، مع الترانزستور ، والفكرة تتلخص في ان اجعل المصعد ، سالبا بالنسبة للمهبط ، (فالمجمع والمشع ، يقومان بدور المصعد والمهبط تماما) وهذا ما يجعلني غير مقتنعا ، بعض الشيء ، أما شرط كون القاعدة سالبة ، بالنسبة للباعث ، فهذا يفرح قلبي ، بعض الشيء ايضا ، وذلك ، لانني افكر دائما في شبكة الصمام ، الالكتروني بلا شك ...!

ع — أيها المبتدىء ، احذر مثل هذه المناقشات ،....! لقد نبهتك عن ذلك مسبقا ...!



66

م — ولكن مهما كان ، فان مثل هذا التوزيع ، للجهد ، يجعل الوصلة بين الباعث والقاعدة ، في الاتجاه الناقل . وهذا يعني ، أن الفجوات التي يدفعها القطب الموجب ، من منبع التغذية ، تندفع من الباعث ، اندفاعا شديدا نحو القاعدة، عبر الوصلة P - n ، وبفضل السماكة الصغيرةللقاعدة فان قسم كبير من هذه الفجوات ، يستطيع أن يقفز عبرها ، وتتغلغل في المجمع ، غير عابئة بالجهد الضعيف ، للقطب السالب ، من منبع التغذية Eb - e (البطارية)

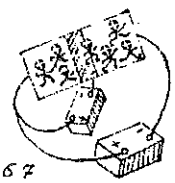
ع — ان هذا صحيح تماما ... ولكن ، ماذا يحدث مع ذلك العدد القليل من الفجوات ، التي تتأثر بالجهد الضعيف ، للقطب السالب ، من البطارية Eb - e ...؟ — (انظر الشكل رقم 28)

م — انها تصبح حيادية ، بنتيجة تعادلها مع الالكترونات الواردة من هذا القطب ، وتطفأ . وعلى هذا الاساس ، فانها تشكل تيارا ليس بكبير — Ib ، يجري من القاعدة الى

الباعث ، (في المعنى الالكتروني طبعا) .

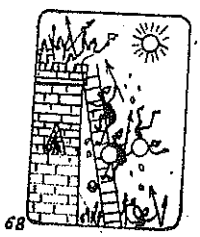
ع ــ وما هو نصيب الاكثرية العظمى من الفجوات ، التي وصلت الى المجمع ...؟

م ــ تجري هناك نفس الحوادث ؛ وتبدو نفس الظواهر الانفة الذكر ، . الفجوات تصبح حيادية ساكنة ، بتأثير الالكترونات المعادلة لها ، والواردة من القطب السالب للبطارية ــ Ec - e ، وفي كل مرة ، عندما ينتقل الالكترون من البطارية الى المجمع ، كي يعادل فجوة فيها ، يغادر الكترونا آخرا ، احدى ذرات الباعث ، منجذبا نحو القطب السالب ، من البطارية نفسها ومن الواضح طبعا ، أن الالكترون الحالي ، يغادر مكانه ، مخلفا وراءه في الباعث فجوة جديدة ، ويحافظ التيار على قيمته ، اعتمادا على حركة الفجوات ، من الباعث الى المجمع والالكترونات في الاتجاه المعاكس ، اليس الامر كذلك يا عزيزي ....؟


67

ع ــ اني معجب بك جدا ...! كيف انك استطعت تفسير عمل الترانزستور بشكل جيد ، بالحقيقة أن كل شيء يجري هكذا ، كما لو كان هناك جيش منظم ، يهاجم قلعة ، فالمهاجمون يصلون الى السور ، وفي صراع عنيف ، وهجوم كاسح ، يخترقون الحصن ، ويندفعون الى المدينة ، عبر صفوف المدافعين عن المدينة .

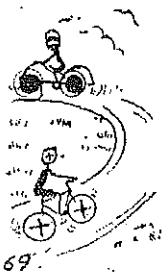
م ــ في مثالك البليغ هذا ، حيث سور القلعة ، يمثل القاعدة في الترانزستور ، بينما تمثل المدينة المجمع ، وكان من الافضل ، والاكثر اقناعا ، لو ان المحاصرين داخل القلعة ، قاموا بهجوم معاكس . ممثلين بذلك ، حركة الالكترونات ، التي تجري بعكس اتجاه الفجوات المهاجمة والمسلحة بشحنة موجبة لا تهزم . نعم ، على فكره هل تتحرك الالكترونات والفجوات بسرعة واحدة ام بسرعتان مختلفتان ....؟


68

بعض التركيبات المستقبلية :

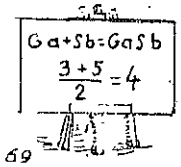
ع ــ لا ياعزيزي المبتدىء ، ــ في الجرمانيوم النقي ،

تحت تأثير المجال الكهربائي ، الذي تساوي شدته فولط واحد على السنتمتر الواحد ، نجد ، ان الالكترونات تجري بسرعة، تبلغ حوالي اربعين مترا في الثانية ، في حين ان الفجوات تتحرك بسرعة اقل من ذلك بمرتين . وبنفس الشروط السابقة ، تبلغ سرعة الالكترونات ، في مادة السيليكون ، حوالي اثني عشر مترا في الثانية ، اما الفجوات ، فان أعظم سرعة تتحرك بها ، تصل الى مترين ونصف في الثانية ، امـا في بعض المركبات المعدنية الوسيطة ، فتبلغ سرعة الالكترونات ، اكثر من نصف كيلو متر في الثانية .



م ــ ما هي هذه المركبات المعدنية الوسيطة،التي تضعها امام انفي فجاة ...؟

ع ــ هذه هي: عبارة عن انصاف نواقل،تتكون من تركيب عناصر ثلاثية الروابط الاتحادية ، مع عناصر خماسية الروابط الالكترونية .



م ــ هذا يعني ، ان المركبات المذكورة تكون بشكل متوسط ، رباعية الروابط الاتحادية ، كالجرمانيوم والسليكون ، هل يمكنك ياعزيزي،أن تسمي لي بعضا من هذه المركبات...؟

ع ــ بكل سرور ،ــ! من المواد خماسية القيم الاتحادية، الانتيمون ، ومن الثلاثية القيم الغاليوم وعلى سبيل المثال ، يمكن الحصول منهما على ترانزستور ، وبتركيب الانديوم ثلاثي القيم الاتحادية ، مع الفسفور الخماسي القيم الاتحادية،تحصل على مادة نصف ناقلة ، تستخدم في انتاج بعض انواع الديودات، وامكن ايضا ، استخدام وصلة الكاديوم ، ثانئي القيم الاتحادية، مع السيليزيوم ، سداسي القيم الاتحادية ، لتحضير الخلايا الضوئية (الفوتوغرافية) . ان انصاف النواقل المعدنية ، الوسيطة ، تعتبر مادة البحوث المحلية ، وتفتح آفاقا شبقة ، للمستقبل .

م ــ صديقي العزيز ، هيا بنا ، نعود الى الخـراف ثلاثية الارجل ، التي تركناها منذ فترة طويلة ، وانا اريد ان اعرف ، بماذا يختلف الباعث والمجمع في الترانزستور،فكلاهما،

في الترانزستور نموذج P-n-P ، من النوع P (تماما، كما هو الحال ، في الترانزستور نموذج P حيث كلاهما من النموذج ، n) الا يدل ذلك ، على امكانية تبديلها،واحد بالاخر .

ع ــ كلا ياصديقي العزيز ، وانت تعلم ، لماذا لا يجــوز ذلك ، فاذا فرضنا ان التيار يجري من الباعث الــى القاعدة ، ومنها الى المجمع،وله قيمة واحدة تقريبا،فهذا لا يجوز افتراضه بالنسبة للجهد ايضا ، فالجهد بين القاعدة والباعث ، ليس بكبير القيمة ، في حين انه بين القاعدة والمجمع ، اكبر بكثير .

م ــ نعم ... نعم ، انني فهمت ذلك ، لان جداء التيار في الجهد ، يعطينا الاستطاعة . وان الاستطاعة الموزعة في الترانزستور ، من جهة المجمع ، اكبر بكثير مــن التي تتوزع بين القاعدة والباعث .

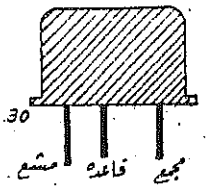
ع ــ انت الان محق الف مرة ، وهذا هو السبب ، الذي من اجله ، يجب ان يكون المجمع ، قادرا على تصريف الحرارة، التي تظهر هناك بسهولة ، ومن اجل ذلك ، تكون مساحة السطح عنده ، اكبر منها عند المشع ، وفي ترانزستوراتنا ، وكافة الترانزستورات المعروفة ، يوصل المجمع الى غلاف معدني ، ذي سطح كبير ، مما يسهل اشعاع الحرارة ونقلها، الى الشاسي المعدنية للجهاز . ويتبدد قسم كبير من الحرارة بفضل الناقلية الجيدة للحرارة في الشاسيه .

المرابط والرموز الاصطلاحية المعطاة لها :

م ــ الان اصبحت معلومة لدي ، اوجه الخلاف ، بين مساري الترانزستور ، ولكن السؤال الان .... كيف نميز المرابط والارجل المتصلة بتلك المساري ...؟ كيف نحدد ، اي مربط من مرابط الترانزستور ، يتصل بالباعث واي مربط ، يتصل بالقاعدة او المجمع ...؟

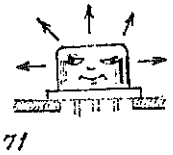
ع ــ انها تعرف بسهولة فائقة ، توضع المرابط السلكية الثلاث ، في الترانزستور على خط واحد . ضمن الهيكــل

(انظر الرسم رقم 30) ، بحيث يكون المربط الاوسط

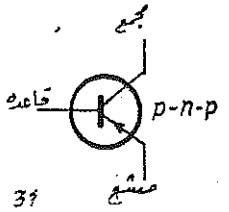


الشكل رقم 30 الموضع النموذجي لمرابط الثلاثة في الترانزستور .

موصولا مع القاعدة ، واحد المربطين الاخرين ، الاقرب من القاعدة ، يتصل مع الباعث ، أما الاخر فيتصل مع المجمع. (ان هذا المربط يرمز اليه أحيانا بنقطة ملونة)


71

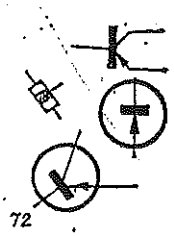
م — ان عملية التمييز هذه سهلة بسيطة ، مثل الشكل الاصطلاحي الترانزستورات المبين على الشكل رقم 31



الشكل رقم 31 الرموز الاصطلاحية للترانزستور من النموذج P-n-P

والاشكال الاخرى حيث يمثل الترانزستور ، على شكل مساحة مستطيلة قائمة الزوايا ، مقسم الى ثلاث مناطق ، قائمة الزوايا أيضا .

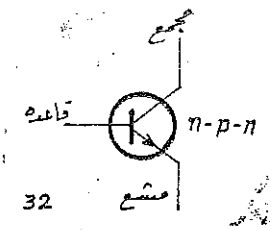
ع — اعلم يا صديقي المبتدىء ، ان هذا هو التمثيل المنطقي ، وهو يطابق البنية الحقيقية للترانزستور ، ولكنه لا يستخدم عادة في المخططات .


72

م — انه لشيء يهز الاعصاب ...! فما هي اذن الرموز والمصطلحات الرسمية، المستعملة في المخططات الترانزستورية.

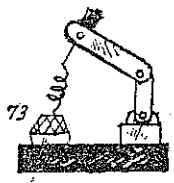
ع — ليس هناك رموز اصطلاحية مجازية ، مستعملة في كافة انحاء العالم ، بل ان المصطلحات المجازية ، تختلف من بلد لاخر ، حتى انه داخل البلد الواحد ، قد تختلف من

كاتب لاخر ، ومن مصنع لاخر . الا ان معظم الرموز الاصطلاحية المستعملة ، هي عبارة عن دائرة ، مع خط أسود قصير وعريض داخلها ، ويدخل وسط الدائرة ،خطان أسودان رفيعان ، تحت زاوية معينة ، الخط القصير العريض يمثل القاعدة ، والخط الرفيع المزود بسهم ، يمثل الباعث ، والخط الرفيع الاخر ، الذي لا يحوي سهما . فيمثل المجمع (يجب أن نتذكر ذلك جيدا) والى جانب ذلك ، اذا كان السهم يتجه نحو القاعدة ، كما في الشكل رقم 31 ، فان الترانزستور من النموذج P-n-P ، اما اذا كان متجها، الى خارج القاعدة كما في الشكل 32 — ، فالترانزستور من النموذج n-P-n



الشكل رقم 32 الرموز الاصطلاحية للترانزستور نموذج n-P-n

م — ولماذا كان من المفروض ، أن نستخدم مثل هذه الرموز ، التي لا تنطبق مع واقع بنية الترانزستور ، الابمقدار بسيط ، حيث يتوضع المشع والمجمع ، على جانبين متعاكسين من القاعدة ...؟

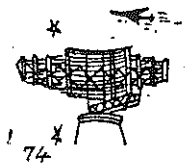


ع — ان هذه القاعدة المتبعة في استعمال المصطلحات ، متوارثة من منتصف هذا القرن ، وتعود الى عام 1948 ، عندما ظهر الى الوجود ، أول ترانزستور في العالم ، وكان من النموذج النقطي . وكان يتكون آنذاك ، من بللورات الجرمانيوم نموذج n ، تستخدم كقاعدة يثبت عليها ، رأسا سلكين معدنيين دقيقين جدا ، يتوضعان بقرب بعضهما بعضا ، على مسافة صغيرة جدا ، الشكل رقم 33 ،

م — يا صديقي العارف ، اليس هذا عودة الى صناعة الكواشف البللورية ...؟

ع ــ تقريبا كما تقول ...، ولكن ، بدلا من سلك معدني دقيق ، يوضع في الكاشف ، يوضع هنا سلكين . وكانت تغذية الترانزستور الاول،تتم بنفس طريقة تغذية الترانزستور الحديث ، نموذج n-P-n ،ويتميز الترانزستور النقطي، بنفس العيوب التي كان يتصف بها جده الاسبق ، الكاشف البللوري ، والمتمثلة في فقدان الثبات تجاه تغيرات الحرارة... وبعض العوامل الاخرى ، وعدى عن ذلك، فهو لم يستطع ، العمل على استطاعة ذات مقدار كاف ، نوعا ما ، ومن أجل ذلك ، لا يستعمل الترانزستور النقطي الان ، مطلقا ،. في حين أن الكاشف ، النقطي لا يزال يستعمل على نطاق واسع، حتى الان ، ولا سيما في مجال الترددات فوق العالية ، أو العالية جدا ، (في المحطات الرادارية مثلا .) لانه يعمل جيدا على تلك الترددات ، بفضل ممانعته السعوية المنخفضة ،...

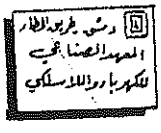
م ــ قبل أن نذهب بعيد في الموضوع ، انني اريد ياصديقي العارف ، ان تعطيني خلاصة موجزة ، (وبفضل أن يكون ذلك خطيا)عن فحوى ماكنت قد علمتني اياه ، وماذا يلزم لفهم المواد التي تشرحها لي ، في المرات القادمة . فان هذا قد يسمح لي بفهم المواضيع السابقة ، بشكل افضل ، والاستعداد لفهم المواضيع المقبلة ، وذلك قبل لقائنا المقبل .



ع ــ اني بكل سرور سوف أضع لك هذه الخلاصة ، وسوف أرسلها بالبريد أما الان فسأستودعك الله يا عزيزي المبتدىء ، متمنيا لك ليلة سعيدة ....

رسالة العارف الى المبتدىء :

ع ــ ها أنا ياصديقي العزيز ، أرسل اليك المعلومات ، التي كنت قد طلبتها مني ، والتي يجب أن ترسخ في ذاكرتك ، بشكل ثابت ومتين ، كي تبقى بعيدة عن النسيان .



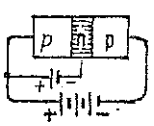
① ــ يتكون الترانزستور ، من ثلاث ساحات أو مناطق هي : الباعث ، القاعدة والمجمع وتحتوي تلك المناطق على شوائب تعطي الباعث والمجمع الخواص الكهربائية ، التي تعاكس خواص القاعدة .

2 ــ يوجد نموذجان من الترانزستورات ، النموذج P-n-P النموذج n-P-n ، النموذج الاوسع انتشارا هو النموذج الاول ، n-P-n ، او على الاقل انه الاوسع انتشارا في ترانزستورات الجرمانيوم (ولاعتبارات تكنولوجية ، نجد أن القسم الاكبر من الترانزستورات المصنوعة من كرستالات السيليكون ، تكون من النموذج

3 ــ في الترانزستور نموذج P-n-P ، تغذى القاعدة ، بجهد سالب ، بالنسبة لجهد الباعث ويغذي المجمع ، بجهد اكثر سالبية ، من جهد القاعدة ، وذلك بالنسبة لجهد الباعث أيضا .

4 ــ في الترانزستور نموذج n-P-n ، يجب أن تكون القاعدة موجبة ، بالنسبة للباعث اما المجمع ، فيجب ان يكون اكثر ايجابية ، من القاعدة .

5 ــ تجدر الملاحظة هنا ، الى انه في كلتا الحالتين،يجب أن يكون جهد تغذية وصلة الباعث ــ القاعدة ، في الاتجاه الذي يسمح بمرور التيار ، اي بالاتجاه المباشر (الامامي) .

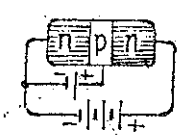


76

6 ــ يملك تيار القاعدة قيمة صغيرة للغاية ، (تقدر بالميكرو أمبير) ، أما تيار المجمع ، فيكون اكبر بكثير ، (يقدر بالميللي أمبير) .

7 ــ أن التغيير القليل في تيار القاعدة ، يسبب تغيير شديدا في تيار المجمع ، ونسبة تغيير تيار المجمع ا الى تغيير تيار القاعدة $\Delta Ib / \Delta Ic$ تسمى بعامل تضخيم التيار .

8 ــ يملك مدخل الترانزستور ، (القاعدة ــ الباعث)، مقاومة صغيرة نسبيا . لذلك نرى ، أن الاشارات الواردة الى المدخل ، لا بد وان تفقد بعضا من استطاعتها .



77

9 ــ يملك مخرج الترانزستور ، (المجمع ــ الباعث) ، مقاومة عالية نسبيا .

10 ــ ان تغيير قيمةالجهدالمطبق،بين القاعدة والباعث،

يحدد التغيير الطارىء ، على قيمة تيار القاعدة ، كما أن تغيير هذا التيار الاخير ، يسبب بدوره ، تغييرا كبيرا في تيار المجمع. فاذا وصلنا في دارة المجمع ، مقاومة حمل ، يمكن أن ينتج على هذه المقاومة ، الجهد المضخم وهانحن ياعزيزي المبتدىء ،

نكون قد أوجزنا كافة المواضيع ، التي سبق ودرسناها ، في بضعة سطور .

والى اللقـــاء
صديقك المخلص
العـــــارف

المناقشـــة الخامسة :

قليلا من التكنولوجيـــا :

ـــ طبعا ...، ان صديقنا المبتدىء ، لا يتسنى له أن يصنع ترانزستور بنفسه ، ولكن هذا لا يمنعه من أن يشعر باهتمام كاف ، لتقبله بفهم دقيق ، فكرة تحضير هذه الصيغة الثلاثية القوائم . ومن سياق الحديث ، اثناء المناقشة ، يتسنى له أن يتعرف على ذلك العدد الكبير والمختلف الانواع مـن الترانزستورات ، المصنوع للقيام بالمهام المختلفة . وهكذا فان كافة المتطلبات ، المطلوبة من الترانزستور ، تتصاعـــد باستمرار ، سيما ما يتعلق منها في حدود مجـــال الترددات والاستطاعة ، التي يمكن أن يعطيها الترانزستور ويعمل فيها، وقد اجبرت الاختصاصيين ، في تكنولوجيا أنصاف النواقل ، على اتخاذ بعض الاجراءات والحلول ، التي تعتبر أفضل ما يمكن ، لتلبية تلك المتطلبات المختلفة والتوفيق فيما بينها :

محتويات المناقشـــة :

التنقية بطريقة الانصهار الموضعي ، التسخين بالترددات العالية ، تحضير وحيدات البلورات ، التغير الفجائي السريع في وحيد البلورات، تحضير الوصلات المنتشرة، الترانزستورات المسبوكة ، مشكلة ترانزستورات الاستطاعة العالية ، طريقة الانتشار ، سعة الوصلة P - n (بالفاراد) ، أنصاف النواقل الرباعية ، الترانزستورات ذات الحاجز السطحي ـــ النقطي ، طريقة الانتشار المزدوج ، ترانزستور الانسياق نموذج P-n-P ، ترانزستور ((ميـــزا)) ترانزستور التأثير الحلقي :

التقنية الاوليـــة :

م ـــ هل تعلم ياعزيزي العارف ، انه لم يخطر لي ببال ، في وقت من الاوقات ، أن أصنع بنفسي صماما الكترونيا ...! ان افراغ الحبابة الزجاجية (البالون) ، من الهواء ، بصورة

80

تامة تقريبا ، كان بالنسبة لي عقبة لا يمكن اجتيازها ، وذلك لانني لم اعتقد في اي يوم من الايام ، أن منفاخ دراجتي العادية مناسبا لهذه الغاية . أما الان ، فانني أعتقد أنه باستطاعتي ، وبدون أية عوائق خاصة ، أن أصنع بعض الترانزستورات ، اللازمة . لتلبية احتياجاتي الخاصة . الا تعتقد يا صديقي ، بأنني أستطيع أن أجد في مخازن الكحالين والعطارين ، كافة المواد التي تلزمني لذلك ..؟ انها مواد بسيطة جدا : جرمانيوم نقي ، بصفة بللورات أساسية ، أنتيمون،لتشكيل المنطقة أنديوم لتشكيل المنطقة P ، وهذا كل ما يلزمنا ... اليس كذلك ... ؟

ع — هل أنت تتكلم بجد يا **صديقي المسكين** ..؟ ليكن الله بعونك ...!

م — طبعا ... طبعا ...! هل هذا أمر عسير في رأيك ...؟

ع — انه ليس عسير فحسب ...! آه لو كنت تعرف ، مدى صعوبته . قبل كل شيء ، يجب أن ينقى الجرمانيوم ① جيدا ، وبدرجة كافية ، وذلك لان الجرمانيوم الذي يمكن أن تجده انت في السوق ، تحت تسمية جرمانيوم نقي ، انه لبعيد جدا ، عن أن يكون نقيا — بدرجة النقاوة التي تلزمنا . بعد ذلك ، يجب أن يعطي ، بنية (كرستالية) بللورية صحيحة . وذلك بتحويله الى مادة وحيدة البللورات (مونوكرستال) MONOCRISTALL ② بعد ذلك ، يجب أن تدخل به الشوائب ، من النوعين P و n ، لتشكيل الوصلتين اللتين تقسمان الترانزستور الى ثلاث مناطق . واخيرا ، يجب ④ أن توصل وتلحم ، المرابط الى هذه المناطق الثلاث ، ثم تركيب ⑤ كافة هذه الاجزاء،وفي وحدة متكاملة ، ووضعها في غلاف محكم الاغلاق ، بقصد حمايتها من المؤثرات الخارجية.ومن الواضح، أنه لا يمكن تنفيذ تلك العمليات المختلفة المعقدة،بشكل صحيح، الا في المصانع الكبيرة ، المجهزة تجهيزا جيدا ، بكامل المعدات والالات اللازمة .

81

م — انك تدخلني في دوامة من القلق الشديد ، والتفكير

... هل هو صحيح فعلاً ما تقول ، وهكذا تكون صعبة عملية تنقية الجرمانيوم :

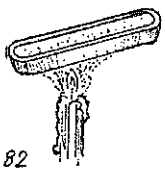
ع ــ لاتنسى يا صديقي ...!، انه يلزمنا جرمانيوم نقي فعلا . بحيث لا يحوي بين كل مليار ذرة من ذراته ، اكثر من عشرات معدودة ، من ذرات الشوائب او اقل ...!

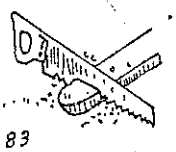
م ــ اعتقد ، لتنظيف الجرمانيوم من المواد الغريبة التي تشوبه ، تستعمل التفاعلات الكيميائية ...؟

ع ــ تفعل الكيمياء ، كل ما في وسعها من اجل ذلك ..، ولكن هذا غير كاف ، لذلك تستخدم بعد التنقية الكيميائية ، عملية فيزيائية ، تسمى بالصهر الموضعي او المنطقي . توضع صبة الجرمانيوم المنقى بهذه الطريقة ، في اناء نظيف للغاية ، مصنوع من الكوارتز او الكرافيت ، ثم يوضع في جو مشبع بالهيدروجين الجوي او الازوت لتجنب التأكسد ، مهما كان نوعه ، وتجنب عمليات التفاعل الحمضي . بعد ذلك تسخن منطقة ضيقة من صبة الجرمانيوم ، حتى تنصهر ، ثم يتم تحريك المنطقة المنصهرة من صبة الجرمانيوم ، من احدى نهايتي جفنة التسخين ، الى الطرف الاخر .

م ــ اعتقد ان الشوائب في هذه العملية ، تكون هي الرابحة ...؟

ع ــ انك تخطىء ، اذا كنت تعتقد ذلك يا صديقي ، لان هذه التفاعلات ، مبنية على الظاهرة التي تتلخص ، في أن الشوائب، تسعى للبقاء في المنطقة السائلة من الجرمانيوم، انها تبدأ بالتصلب ، بعد أن تبرد ، وبهذه الطريقة ، يمكن أن تطرد الشوائب ، تدريجيا ، من احدى طرفي قضيب الجرمانيوم الى الطرف الاخر ، وبتكرار هذه العملية ، عدة مرات ، يمكن تجميع هذه الشوائب في نهاية القضيب ، وتقطع هذه النهاية ، بما فيها من الشوائب التي يتم التخلص منها بهذه الطريقة .


82


83

م ــ وهل ترمى هذه النهاية مع النفايات ...؟

ع ــ كلا ...! لان الجرمانيوم غالي الثمن ، ورميه

يحدث خسارة فادحة ، لذلك يستخدمونه في عمليات التنقية التالية لبللورات الجرمانيوم .

م — ان هذا يجبرني على التفكير ، في تجربة للتنقيـــة أجريت بطريقة مشابهة على **فرانسوا** البارحة .

ع — من هي هذه **فرانسوا** التي تتحدث عنها ...؟ وما هذه القصص الهزلية التي تقصها علي ...؟

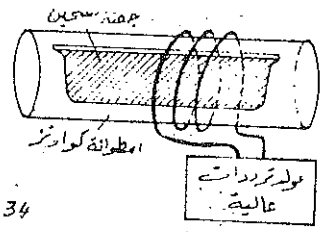
م — **فرانسوا هذه ...** هرتنا (ونحن نسميها بهـــذا الاسم ، لان نسبها لامها يعود الى أصول فرنسية) ، وهي عادة كثيرا ما تختلط مع شلة من الهررة الاشقياء ، مما يسبب تلوث شعرها الجميل ، ببعض الاقذار ، التي لا بد وان تزال ، عن ذلك الشعر الذهبي الجميل ، بواسطة المشط ، الـــذي يمرر على فرانسوا الشيطانة ، من رأسها وحتى نهاية ذيلها ، وتجمع الاقذار في تلك النهاية ، ، وبهذا نكون قد خلصناها من الاقذار والشوائب . ولكن كيف يكون شكل المشط المستخدم في تنقية الجرمانيوم ...؟ وانني لاود أن أسأل كيف يتسنى للتكنولوجيين ، أن يقوموا ، بصهر منطقة ضيقة من قطعـــة الجرمانيون .

84

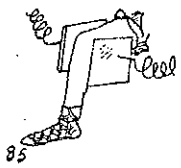
التسخين بالترددات العالية :

ع — يتم ذلك ، بواسطة التسخين بالتحريض العالي التردد ، والجهاز المستخدم لهذه الغاية ، هو عبارة عـــن : وشيعة قصيرة ، تحوي عدة لفات ، توضع ضمنها جفنـــة التسخين ، بحيث تحيط الوشيعة بالمنطقة المطلوب صهرها . ويمرر تيار كهربائي ، عالي التردد ، يصدر عن مولد عالـــي الاستطاعة ، عبر الوشيعة . عندئذ يحرض الحقل المغناطيسي ، لهذه الوشيعة ، في كتلة الجرمانيوم ، تيارات كهربائية ، تعمل على تسخين الجزء الواقع داخل الوشيعة ، الـــى درجـــة انصهار الجرمانيوم . (انظر الشكل رقم 34)

م — ان ذلك هو نفس ما أجري لعمي جوليو قبل وفاته ...!



الشكل رقم (34) يمثل الانصهار الموضعي ، المحقق عن طريق تسخين الجرمانيوم الموجود ضمن الجفنة ، بواسطة تيار متناوب عالي التردد، يمر عبر وشيعة ، تتحرك ببطىء حول جفنة التسخين ، من احدى نهايتيها ، حتى النهاية الثانية ، وتكون المجفنة موضوعة أيضا ، داخل اسطوانة من الكوارتز ، مملوءة بغاز الازوت أو الهيدروجين .



ع ــ وماذا اجري لعمك جوليو ..؟ أكان عنده دمامل وبثور أو زوائد تطلبت الاستئصال ...؟

م ــ لا .. لا شيء يستحق الذكر ، كل ما هنالك ، انه اثر سقوط غير موفق على الارض ، أصيبت ركبته برضوض ، وامتلأت بكدمات زرقاء ، وبقصد العلاج ، اجريت له معالجة فيزيائية ، بتيار متناوب عالي التردد .

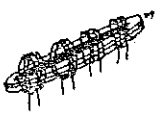
ع ــ انني أعرف كيف تتم مثل هذه المعالجة ، توضع الركبة المصابة بالرضوض والكدمات ، بين صفحتين تشكلان قطبين معزولين عن بعضهما تماما ، يوصل اليهما جهد متناوب عالي التردد ، ويقوم الحقل الكهربائي المتشكل بينهما ، بفضل الطاقة المتبددة في الصفائح العازلة ، بتسخين الصفائح نفسها، والعضو المريض المتوضع بينهما أيضا ، ولكن خلافا لذلك . فانه عند التسخين التحريضي ، المستخدم في التنقية بطريقة الصهر الموضعي،يجري التسخين بواسطة الحقل المغناطيسي، الذ يحرض تيارا كهربائيا عالي التردد ، يمر عبر كتلة النصف ناقل ، وتتلخص الميزات الرائعة ، للتسخين بواسطة التيار المتناوب عالي التردد ، في انه : سواء كان ناتجا عن تأثير الحقل الكهربائي عبر الاقطاب العازلة ، أو تأثير الحقل المغناطيسي عبر الاقطاب الناقلة ، فان عملية تسخين الاجزاء الداخلية ، لا تكون نتيجة استمرار تغلغل الحرارة ، من الاجزاء الخارجية للجسم المراد تسخينه ، الى اعماقه ، (كما ينصح

بذلك عند تحضير الشرحات المقلية) ، بل ان الحرارة او التسخين ، يجري على كافة اعماق الجسم ، دفعة واحدة ، وفي آن واحد .

م — لنعود الان الى مرجلنا،وطبخة الجرمانيوم الموجودة فيه ، ونرى كيف تتحرك الوشيعة على المرجل ، ببطيء ، من احدى طرفيه نحو الطرف الاخر .

ع — هذا ..، اذا كان المرجل نفسه ، لا يتحرك بطيء داخل الوشيعة ، مع العلم ان كلا الحركتين ، تعطي نفس النتيجة ، وفي الحقيقة ، يوضع في الموقد ، عدد من الوشائع ، على مسافات معينة بين الواحدة والاخرى ، هكذا ، بحيث ان المرجل،عندمروره عبر الموقد،يحصل على الحرارة،من عدة مناطق للتسخين والانصهار ، تتناوب مع عدد مماثل من مناطق التجميد، وبالنتيجة ، يحدث هكذا ، كما لو ان صبة الجرمانيوم ، على طول المرجل ، سخنت عدة مرات لدرجة الانصهار في منطقة واحدة . واريد ان انوه هنا ، ان الجرمانيوم يتحرك ببطيء شديد ، (ميللي متر واحد في الدقيقة) .

م — ولكن ماذا نفعل بالسيليكون ...؟

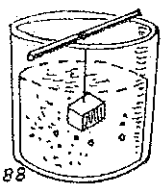


87

ع — هكذا بالضبط ، ولكن تكون درجة حرارة مناطق الانصهار ، .. اعلى ... لان الجرمانيوم ، ينصهر عند درجة الحرارة $940^0 C$ ، بينما انصهار السيليكون ، يتطلب حرارة قدرهـــا $1420^0 C$ درجة .

بعد مرحلة التنقية — البلورة (الكرستالية) :

م — لماذا ، لا يجوز استعمال مادة انصاف النواقل المنقاة، على هذا الشكل ، مباشرة في صناعة الترانزستورات ...؟ اليست هي مبلورة على شكل كرستالات بعد ...؟



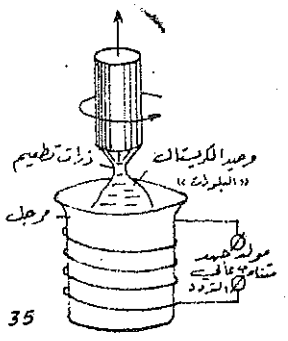
88

ع — انها كرستالية الشكل ، ولكنها ليست بالنوعية الكرستالية الجيدة ، كالتي نحتاج اليها . ولذلك ، بعد التنقية بالصهر الموضعي ، تصبح صبة الجرمانيوم مكونة من عدد كبير من الكرستالات ، المبعثرة بشكل غير منتظم ، في حين انـــه

يلزمنا هنا ، شبكة كرستالية من مادة الجرمانيوم ، منتظمة بشكل صحيح ودقيق ، الى اعلى درجات الانتظام ، في كامـــل قطعة الجرمانيوم،بترتيب موحد . وهذا يعتبر قاعدة أساسية، يجب أن نعرفها جيدا ، ونتخذها كدليل في العمل . ان مثل هذه الشبكة المتجانسة التي تشكل مادة وحيدة الكرستال ، يتم الحصول عليها ، عن طريق تحضير الكرستال وتجميده ، حول قطعة صلبة من الكرستال نفسه ، تسمى **بالطعم** .

م ــ كنت في وقت من الاوقات ، أتسلى بلعبة حلوة ، هي تحضير الكرستالات (البللورات) ، ومن اجل ذلك ، كنت انزل في كأس يحوي على محلول كثيف لملح الطعام ، خيطا ، ربط في نهايته ، قطعة بللورية من ملح الطعام نفسه ، وعلق الخيط بعلاقة تبقيه مرفوعا عن قعر الكأس ، وخلال اسبوع من الزمن ، كان يتشكل حول القطعة الصغيرة الملتصقة في النهاية السفلى للخيط ، مكعب شفاف ، بديع المنظر ، يبدو وكأنه نظم بدقة ومهارة فائقة . أليس بمثل هذه الطريقة ، تتم تنمية وتحضير كرستال انصاف النواقل ...؟

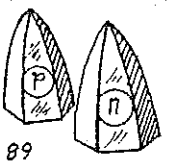
ع ــ ان المبدأ ، هو نفسه ، ولكن بدلا من المحلول المستعمل في لعبتك السابقة ، يستعمل هنا ، الجرمانيوم المنقى من الشوائب ، وهو في حالة الانصهار ، يلقى به طعم مثبت، على النهاية السفلى لاسطوانة تدور حول محورها ، وبنفس الوقت ترتفع نحوى الاعلى ، ببطء شديد ، (انظر الشكل رقـــم 35) . وعندها تتجمـــع ذرات الجرمانيوم ، (أو



الشكل رقم (35) طريقة سحب وحيد الكرستال ، بتسخين المرجل المستخدم لصهر المادة النصف ناقلة ، حتى تبقى في حالة انصهار ، تحت تاثير التيار المتناوب ، العالي التردد .

السيليكون) ، مرتصة حول الطعم ، مشكلة شبكة كرستالية منتظمة ، صحيحة التركيب . وبعد ذلكتتصلب مادة النصف الناقل ، مغطية الطعم من كافة نواصه ، بطبقة متجانسة الثخانة ، ونتيجة تلك الحوادث والتفاعلات ، وخلال بضع ساعات ، يتم الحصول على اسطوانة وحيدة الكرستال ، يبلغ قطرها عدة ، سنتمترات ، وطولها حوالي 30 سنتمترا ، ووزنها ، يبلغ 1 كيلو غرام أو اكثر ، ويمكن أن يصنع من تلك الاسطوانة ، الاف الترانزستورات .

م ــ يمكن القول باختصار ، ان وحيد الكرستال هذا ، هو عبارة عن : نصف ناقل ذي درجة عالية من النقاوة ...



89

ع ــ كلا ... ومعذرة يا صديقي ، انني نسيت ان اقول لك ، انه يضاف الى مادة نصف الناقل المنصهرة ، التي يسحب فيها وحيد الكرستال ، شوائب من النوع P ، أو النوع n ، وذلك لان تحضير الترانزستور ، يتطلب عادة، نصف ناقل يحتوي على مادة شائبة ، بنسبة معينة ، وبنتيجة ذلك ، تكون المادة المؤلفة لاحد مناطق الترانزستور (القاعدة مثلا) ، قد أصبحت جاهزة .

أما الآن فالى قليل من الميكانيك :

96

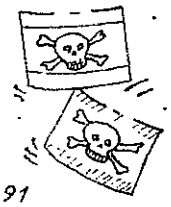
م ــ انت قلت لي ياصديقي ، انه من اسطوانة قطرها عدة سنتمترات ، وطولها 30 سنتمترا ، من مادة وحيد الكرستال ، يمكن أن تصنع الاف الترانزستورات . الا يعني ذلك ، أنهم يقسمونها الى قطع صغيرة جدا .....؟

ع ــ بدون شك ...! تقطع اسطوانة وحيد الكرستال، في البداية ، شرائح رقيقة مستديرة ، تشبه قطع البسطرما العادية ، تماما ، وتكون سماكة الشريحة من 0,1 ÷ 2 ميللي متر . ان مثل هذه العملية الدقيقة ، تتم بواسطة قرص من الالماس ، له شكل منشار مستدير . ويمكن أن يستخدم لهذه الغاية أيضا ، منشار شريطي ، يتكون من خيوط من مادة التنغستين المطلي بطلاء صلب وحاد ... وبعد ذلك ، تقطع منها ، عدة ميللي مترات . ان وزن كل واحد،من هذه المربعات،

الذي تبلغ أبعاده ، 2 × 2 ميللي متر ، وسماكته 5 , 0 ميللي متر لا يزيد عـــن واحد سنتيغرام . فانت تستطيع أن تحسب نظريا ، الان ، فتجد أن قطعة من وحيد الكرستال ، تزن 5 Kg غرامات ، كافية لصنـــع نصف مليون مـــــن الترانزستورات . الا انه في الحقيقة ، عند تصنيع هذا العدد من الترانزستورات،يتحول جزء غير قليل،من وحيد الكرستال، الى زوائد وبقايا ضائعة ، مما يؤدي الى انخفاض العدد المنتج ، في النهاية ، من الترانزستورات .

م ـــ ورغم كل ذلك ، فانه يمكـــن الحصول ، علـــى كمية ضخمة من الترانزستورات ، حتى ولو ذهب نصف المادة هدرا ... وبنفس الوقت ، يبقى السؤال الذي ينتظر الاجابة وهـــو : كيف تتحول هذه الرقائق ، مـــن الجرمانيوم الـــــى ترانزستورات جاهزة .....؟

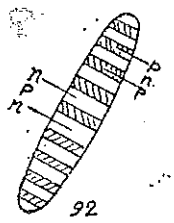
ع ـــ الاجابة حاضرة .. يتم ذلك ، بتطعيم هذه الرقيقة، من كلا جانبيها ، بشوائب من نموذج يختلف عن النموذج الذي تحتويه الرقيقة نفسها . فمثلا ، اذا كانت الشريحة مقطوعة من كتلة وحيد الكرستال تحوي على شوائب من النموذج n تطعم الشريحة ، من كلا جانبيها ، بشوائب من النموذج P هكذا بحيث يتشكل باعث ومجمـــع الترانزستور ، مـــــن النموذج P-n-P .



م ـــ عزيزي العارف المحترم : توجد لدي فكرة لامعة، فهل لك أن تسمعها ...؟ لماذا لا تنتج الترانزستورات بصورة كاملة ، مباشرة ، وذلك باضافة الشوائب ، الى مادة وحيد الكرستال مباشرة ، عند سحب هذه المادة . مثلا : من الممكن، في بداية السحب ، أن نقذف كتلة نصف الناقل المنصهرة ، بمادة شائبة ، من النموذج P ، وليكن ذلك انديوم ، بعد ذلك ، وبعد ان تتكون المنطقة P ، وتخرج الكتلة من المنطقة الصاهرة ، تضاف الى السائل المنصهر ، من جديد ، شائبة من النموذج n ، من الزرنيخ مثلا ، كي تتكون في نصف الناقل ، منطقة ذات ناقلية من النوع n ، ثم يلى ذلك . اضافة الانديوم ، كي تتكون منطقة من « الفجوات » الناقلية P ، تكون فيها الفجوات ، هي الحوامـــل

الاساسية للشحنات الكهربائية . وهكذا ، وبالتالي يتعاقب تشكيل المناطق P-n-P .... n ، وبنهاية المطاف ، تحصل على اسطوانة من الجرمانيوم ، تتعاقب فيها مناطق الناقلية P و n وبعد ذلك ، يكفي ان نقطع هذه الاسطوانة ، الى صفائح تكون المنطقة n واقعة في منتصفها ، اذا اردنا الحصول على ترانزستور من النموذج P-n-P ، او ان تقع المنطقة P ، في وسط الصفيحة ، اذا اردنا الحصول على ترانزستورات من النموذج n-P-n يجب ان توافق ياعزيزي العارف ، وتقتنع بأنه احيانا تأتيني افكار عبقرية

ع — ان ما يعجبني بك ، هو تواضعك ولكن مع الاسف ، لا يوجد شيء جديد في فكرتك الحالية هذه ، فهي معروفة منذ القديم ، وتعتبر اساسا في تحضير ما يسمى بالوصلات **المسحوبة أو المتابعة** وان هذه الطريقة غير اقتصادية ، وذلك لان المناطق التي تنتج بواسطتها ، تكون سميكة نسبيا ، وعدا عن ذلك ، فان اضافة الشوائب ، الى مادة النصف ناقل المنصهرة ، في كل مرة ، تارة من هذا النوع، وتارة من النوع الاخر ، تؤدي الى زيادة نسبة الشوائب ، في المناطق المتكونة ، بالتالي ، فان هذا لا يخلو من العيوب ، ومع ذلك ، فان طريقة تجديد الوصلات المسحوبة ، بصورة متتالية لا تزال تستعمل حتى يومنا هذا ، وخاصة عند تحضير الترانزستورات من السيليكون .

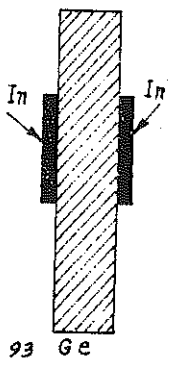


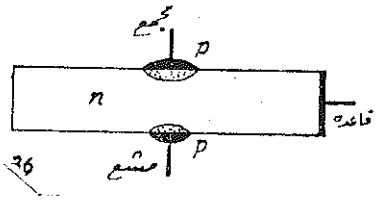
ترانزستورات الوصلات المسبوكة (السبائك)

م — هاناذا ، اقتنع مرة اخرى ، بانني ولدت متأخرا ، ولكن لنعود الان الى رقائقنا ، اشرح لي من فضلك ، كيف يتشكل عليها الباعث والمجمع ....؟

ع — من اجل ذلك ، وتبعا لنموذج الترانزستور المرغوب في الحصول عليه ، يستعملون طرق مختلفة في الانتاج ، واغلب هذه الطرق ، تتشابه ، وتتفق في تطعيم القاعدة ، اي ادخال شوائب فيها ، من نموذج آخر ، يختلف عن النموذج الذي تتكون منه القاعدة نفسها ، ان اسهل الطرق ، واكثرها

انتشارا ، في الاستخدام ، هي تلك الطريقة ، التي تتلخص في: وضع قطع لاصقة من الانديوم،على جانبي صفيحةالجرمانيوم، من النموذج n ، والتي تستخدم كقاعدة للترانزستور ، ثم تسخن هذه المركبات الثلاث ، بدرجة من الحرارة تصل الى 600°c . في هذه الدرجة من الحرارة ، تنصهر قطع الانديوم ، مع الطبقة التي توجد تحتها من الجرمانيوم ، بغض النظر ، عن أن الجرمانيوم ينصهر فقط في الدرجة 940°c . وعند التبريد ، يعاد تبلور المنطقة المنصهرة والمشبعة بالانديوم ، وتتحول ناقليتها الى النموذج P ، هكذا نحصل على ترانزستور من النوع P-n-P ،المبين في الشكل رقم 36 . وكما كنا قد قلنا سابقا ، تكون





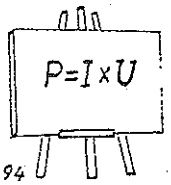
الشكل رقم (36) مخطط لمقطع ترانزستور ، محضر بطريقة الانصهار نموذج P-n-P

الصفيحة التي تشكل المجمع ، عادة ، أكبر من الصفيحة التى تشكل الباعث،لان هذا،يخفف من ارتفاع حرارة الترانزستور، (ففي المجمع تتبعثر وتضيع استطاعة كبيرة) وتتحسن خواص التكبير فيه ، ويجب أن تجري عمليات الصهر بدرجات حرارة مختارة بشكل دقيق ، وبمايتفق مع متطلبات الصهر ، للمادة المستعملة ، وزمن الصهر ايضا ، وذلك بقصد المحافظة على القسم المتبقي من صفيحة الجرمانيوم ، بين منطقتي المجمع والباعث ، اي بقصد المحافظة على القاعدة بسماكة لاتقل عن، جزء من عشرين جزء ، من الميللي متر . والترانزستورات المصنوعة بهذه الطريقة ، تسمى **بترانزستورات الوصلة المسبوكة** وهي صالحة لمختلف انواع الاستخدام ، في مجال الترددات المنخفضة ، والمتوسطة الارتفاع **(في مجال الامواج الطويلة والمتوسطة)**

م ــ ها انت تعود ، لتحدثني من جديد ، عن تلك الصعوبات ، التي كنا قد تطرقنا لها آنفا ، ابان حديثنا عن

استعمالات الترانزستورات، عن القيم العالية للاستطاعة ، والتردد . وانني أتمنى ، لو كنت استطيع الحصول،على بعض الايضاحات عن هذين الموضوعين :

انتشار الشوائب بطريقة البخار :



ع — وهكذا سنبدأ في الحديث ، عن الاستطاعة .ومن يتكلم عن الواطات من الاستطاعة ، لا بد وان يتحدث عن الحريرات ، للحصول على استطاعة كافية ، باستخدام قيمة غير كبيرة من الجهد ، في الحالات النموذجية للترانزستورات ، لا بد من اللجوء ، الى التيارات الكبيرة .

م — ان هذا لا شك فيه ، لان الاستطاعة تساوي جداء الجهد مضروبا بالتيار ....!

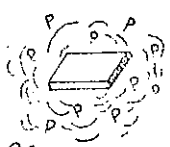
ع — برافو ...! ولكن ، هذه الجهود تمر عبر الوصلات التي تملك مقطعا صغير ، وتفرز عليها قيم معينة من الحرارة، وأنت تعلم ، كم هو سيء ، لنصف الناقل ، ارتفاع درجة الحرارة ...

م — واية وسائل ، تقترح انت،للحيلولة دون ذلك ...؟

ع — قبل كل شيء ، يجب زيادة مقطع النصف ناقل، وتبعا لذلك يجب صنع ترانزستورات ذات سطح واسع نسبيا، وبعد ذلك ، يجب العمل على تسهيل تصريف الحرارة . ومن أجل ذلك ، يثبت المجمع ، على صفيحة معدنية كبيرة ، تستخدم كمبرد مبدد للحرارة ، وباعتبار أن النحاس ، ناقل جيد للحرارة ، لذلك ينصح باستعماله لهذه الغاية .

م — هذا يعني أن استخدام الترانزستورات ، يتطلب بصورة أساسية ، استعمال تكنولوجيا وقوانين هندسة الحرارة ، وان كنت أنا افهم الموضوع بشكله الصحيح ، ارى انه يجب أن نبدأ بدراسة هذا العلم أيضا ... مسكين ياراسي ،...! ماذا تستطيع أن تستوعب ، من هذه المواضيع التي تنهال عليك ، الواحد تلو الاخر ...

ع ــ مهلا يا عزيزي المبتدىء مهلا . . . !،هدىء اعصابك، فالامر ليس صعبا كما تتصور . . . فلحساب انتشار الحرارة، يمكن ان تستخدم قوانين انتشار التيار الكهربائي ، في الدارات الكهربائية ، وان النتائج التي يتم الحصول عليها ، تكون مقنعة تماما . ولتعود الان الى ترانزستوراتنا ، واقول لك ، انهم غالبا ما يحضرونها ، بطريقة **الانتشار او الامتداد ــ النفوذ** وتتلخص هذه الطريقة ، بوضع صفيحة نصف ناقل ، في جوي غازي ، مضغوط بدرجة معينة ، ويحوي على بخار مادة الشوائب ، التي يجب ان تشكل الباعث والمجمع ، وتسخن صفيحة نصف الناقل، الى درجة تقرب من درجة انصهارها ، وعندئذ تنتشر ذرات الشوائب،تدريجيا في صفيحة نصف الناقل وتنفذ الى اعماقها وتستمر هذه العملية عدة ساعات ، وهذا يعني ، انه بتنظيم تواقت دقيق وتركيز شحنات الذرات في البخار ، وطول فترة الانتشار ، يمكن ان يحدد بدقة ، العمق الذي تصل اليه ذرات الشوائب ، في مادة القاعدة ، وعدا عن ذلك ، فان هذه الطريقة ، تسمح بالحصول على باعث ومجمع، لهما المساحة الكبيرة نسبيا ، والكافية للترانزستورات العالية الاستطاعة .



لماذا لا تستخدم الترانزستورات في مجال الترددات العالية

م ــ هذا احسن بكثير طبعا .. ولكن ، ما هي العقبات التي تحول دون عمل الترانزستورات ، في مجال الترددات العاليــة . . . ؟.

هناك عقبتان هامتان :

ع ــ هناك عاملان هامان، يقفان عقبة ، في طريق استخدام الترانزستورات ، في مجال الترددات العالية ، هما زمن العبور ، والممانعة السعوية للوصلة .

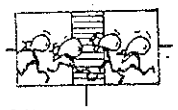
م ــ عن زمن اي عبور تتحدث انت . . . ؟

ع ــ عن زمن عبور حوامل الشحنات الكهربائية ، من الباعث الى المجمع ، عبر القاعدة ، حيث ان هذا الزمن ، لا يمكن اهماله ، لانه كما قلت لك سابقا ، تتحرك الالكترونات

والفجوات ، بسرعة محدودة للغاية . لنأخذ مثلا : الالكترونات التي تتحرك بسرعة تساوي 40 متر في الثانية . ولنفرض اننا نستطيع ، صنع قاعدة ترانزستور ، تبلغ سماكتها 0,1 ميللي متر فقط ، فهذا يعني ، أن قطع هذا الطريق ، من قبل الالكترونات ، يتطلب زمن قدره 2,5 مكروثانية ،

م — ولكن هذا ليس بكثير :

ع — وبالرغم من ذلك ، نجد انه ، بالنسبة للاشارة التي ترددها 1 ميغاهرتز ، يكون الزمن الانف الذكر ، 2,5 مكرو ثانية ، كبيرا جدا، وذلك لان زمن دور الاشارة يساو ، 1 مكرو ثانية فقط ، والكتروننا الذي يتدرج متنزها ، غير مستعجلا ، في رحلة خلال قاعدة الترانزستورات ، يضطر لتغيير وتيرة سيره ، واتجاهه ، تحت تأثير الاشارة ، مرتين خلال فترة اجتيازه لسماكة القاعدة ، وبهذا ، نكون قد تطرقنا، الى كون الترانزستور ، غير قادر على تكبير التيار المتناوب ، الذي تتجاوز ترددانه ، عدة مئات من الكيلوهرتز(١)



م — يا لها من مأساة ...! في هذه الحالة ، وانني لارى، سوى مخرج واحد فقط هو ، انقاص سماكة القاعدة ، اهذا ممكن .

ع — نعم ... وانني ساحدثك عن الوسائل ، التي يمكن بواسطتها ، الوصول الى هذه الغاية ، ولكن ، يجب ان تأخذ بعين الاعتبار ، خطورة العامل الثاني ، الا وهو سعة الوصلة

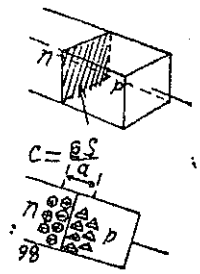
م — وبماذا تعيقنا هذه السعة ...؟

ع — أنسيت .. ضرر السعات الطفيلية في الصمامات الالكترونية ...؟ فهي أيضا هنا ، تسبب لنا مصاعب جمة ،

---

١ — يمكن ان يقال بدقة تامة ، ان حدود التردد العملي للترانزستور لا يحددها زمن عبور حوامل الشحنات عبر القاعدة (هذا يؤدي فقط الى تاخير الاشارات المضخمة) بل الاختلاف في زمن عبور الحوامل الذي يؤدي الى اختلاط الاشارات المضخمة الا انه لا بد من الاخذ بعين الاعتبار زمن عبور حوامل الشحنات عند حساب حدود التردد العملي للترانزستور .

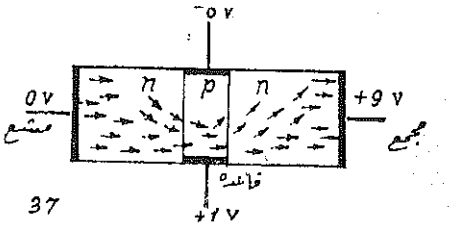
وكما تعلم ، تنخفض الممانعة التي تبديها أي سعة ، كما كان التردد أعلى ، وبالنتيجة ، ياترى انه بدلا من مرور الترددات العالية ، في الطريق المخصص لها ، فانه يتوزع ويضيع عبر السعات الطفيلية المذكورة .



م ــ فعلا ، ان هذه السعات الطفيلية ، تشبه الى حد ما ، خلايا الغربال ، التي تبقى فوقها فقط الحبات الكبيرة من القمح ، اما اذا حاولت أن تملأه بحبات البرغل ، مثلا ، فانه يمررها جميعا ، وتبعا . لذلك،اذا اردنا أن يكون الترانزستور، قادرا على العمل ، في مجال الترددات العالية ، يجب تصغير مساحة سطح المشع ، والمجمع ايضا ، وهذا بدوره ، يجب أن يقلل السعة الطفيلية في كليهما .

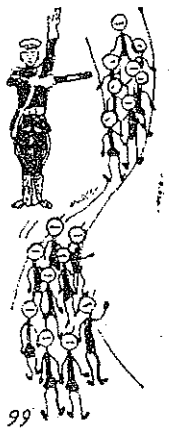
الرباعي الذي لا ينسب الى الرباعيات :

ع ــ هذا صحيح . ومن خلال المناقشة ، يمكن أن تلاحظ أنه توجد طريقة مختصرة ، غير مباشرة ، لانقاص السعة الفعالة في الترانزستور ، دون أن تنقص بذلك مساحة الوصلة، الى أقل من المقدار اللازم ، لتشتيت الحرارة في الترانزستور، ويمكن أن يتحقق ذلك في **نصف الناقل الرباعي** انني أستعجل الامور ، لاقول لك ، بأن عمل هذا الرباعي ، لا يملك أي تشابه، مع عمل الصمام الرباعي ، حيث نجد هنا ، أن المربط الرابع يتوضع على القاعدة،من الجهة المقابلة لمربط القاعدة الاساسي الاساسي وبجهد يعاكس جهد القاعدة ، (كما هو مبين على الشكل رقم 37) ، في هذه الحالة يكون قسم من وصلة



الشكل رقم (37) مبدأ عمل نصف الناقل الرباعي تماس رابع مع جهد قدره 6 V فولط يتوضع مقابل مسرى القاعدة ويدفع الالكترونات من نقطة وصله مختصرا بذلك السطح الفعال لقطع القاعدة .

الباعث ــ القاعــدة فقط ، وبالضبط القســم الملاصق لربط القاعدة الاساسي ، حاصلا على جهد الانحياز الامامي ،وعبره فقط ، يمكن لحوامل الشحنات الكهربائية ان تقفز وتمــر ، وطبقا لذلك ، فان تدفق هذه الحوامل ، ينحصر في جهة واحدة من القاعدة . وعلى هذا الشكل ، يتسنى تخفيض سطح المقطع الفعال في الترانزستور ، الامر الذي يؤدي بدوره ، الــى تخفيض دور وفعالية السعة في الممر P - n . (1)



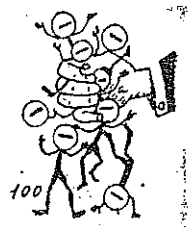
انقاص سماكة القاعدة :

م ــ ليس من السخف مطلقا ، التفكير في خنق تدفــق الالكترونات أو الفجوات ، . ولكن ، بأي شكل يمكن التوصل، الى انقاص سماكة القاعدة . . .؟

ع ــ ان هذا يتم الحصول عليه ، عن طريق حفر حفرة من نوع خاص ، أو نفق على كلا جانبي القاعدة،في هذه الحالة ، تفصل بين الحفرتين ، مسافة يبلغ مجملها ، فقط عدة مكرونات، وبعد ذلك ، توضع كميات قليلة من الانديوم في كلتا الحفرتين ، وهذه هي العملية السحرية بكاملها .

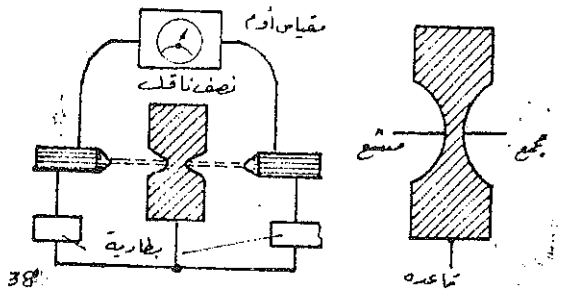
م ــ من يسمع حديثك ، يقول : ان هذه العملية سهلــة جدا ، ولكنني أشك ، في دقة تلك الالة ، التي تستخدم فــي حفر مثل هذه الاعماق .

ع ــ ان الوسيلة الدقيقة المستخدمة من اجل ذلك ، هي عبارة عن:سائل يتدفق بشكل تيارين رفيعين حادين ، يمر بهما تيار كهربائي مستمر ، يسلط على مادة الجرمانيوم ، وبنتيجة التحليل الكهربائي ، (الذي يعتمد بصورة خاصة،عملية معالجة الاسطوانة) ، تنفك ذرات صفيحة نصف الناقل ، ذرة بعد



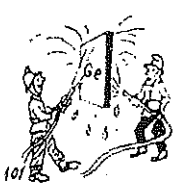
1 تبقى سعة ممر المجمع ، في الرباعي نصف الناقل ، على حالها ، كما هي في الثلاثي ، مع التطابق الهندسي ، وان تخفيض السعة، في مجال الترددات العليا ، مشــروط بتخفيض مقاومة منطقة القاعدة وذلك ،لان القسم الفعال من القاعدة ،يتوضع بالقرب من مربطها الاساسي مباشرة .

الاخرى ، حتى يتم الوصول الى العمق المطلوب للحفر ، وبعد الانتهاء من عملية الحفر على جانب واحد من الصفيحة ، يتم تغيير اتجاه التيار المستمر ، وبفضل التحليل الكهربائي الانف الذكر ، تتوضع ذرات الانديوم ، الموجودة في نفس السائل المحلول ، على سطح الحفرة ، التي تم حفرها للتو ، انظر الشكل 38 .



الشكل رقم (38) مراحل تحضير الترانزستور السطحي النفقي .
مقطع جبهي وآخر جانبي .

م ــ رائع جدا ، ولكن كيف تعرف ، بدقة ، تلك اللحظة ، التي تصبح فيها القاعدة ، رقيقة بما فيه الكفاية ..؟



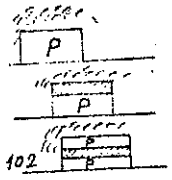
ع ــ يمكن معرفة ذلك ، عن طريق قياس المقاومة الكهربائية ، بين تياري تدفقي السائل . وان الترانزستورات المصنوعة بهذه الطريقة ، يسمونها بترانزستورات **الحاجز السطحي** . يمكن أن تستخدم في مجال الترددات الذي يصل الذي يصل الى 100 ميغا هرتز .

م ــ ولكنها في كافة الحالات ، يجب ان تعمل جيدا ، في مجالات الامواج القصيرة .

ع ــ ثمة طريقة اخرى ، لتخفيض سماكة القاعدة ، تتلخص في استعمال الانتشار المزدوج . فلصنع ترانزستورمن النموذج P-n-P ، بهذه الطريقة ، يأخذون صفيحة من مادة نصف ناقل ، من النموذج P

٢ ــ انت مخطىء ياصديقي .... !

ع ــ كلا انني ليس بمخطىء ، ابدا ، وبعد قليل سوف ترى كيف كل شيء يجري بشكل صحيح . تتعرض الصفحة لتأثير البخار فقط . من جانب واحد . والبخار يحوي على شوائب من النوعين في آن واحد ، الا ان واحدا من الشوائب (عادة الشائبة المانحة) تملك سرعة انتشار واختراق ، أكبر بعض الشيء ، من الشائبة الاخرى (المتقبلة) ، كما وان ، تركيز الشائبة الثانية ، يكون أعلى من تركيز الشائبة الاولى ، وبنتيجة ذلك ، تتوضح أولا ، على الصفيحة ذات النموذج P طبقة رقيقة من النموذج n ، باعتبار هذه الشائبة أسرع انتشارا وتوضعا ، وبعد أن تنتهي الشائبة n من التوضع ، وتنفذ ذراتها نهائيا ، تقريبا ، من البخار . يكون قد حان ترسب الشوائب نموذج P ، التي تترسب آنذاك ، بشكلة طبقة ثانية ، من النموذج P ، وعلى هذا الشكل يحصل لدينا ترانزستور من النموذج P-n-P تملك قاعدته سماكة ضئيلة جدا . تبلغ بمجملها جزء من الف جزء من الميللي متر (أي 1 مكرون) ويكون هذا الترانزستور ، قادرا على العمل في مجال يصل حتى 400 ميغاهرتز .



م ــ فعلا انه لحل ذكي جدا لموضوع معقد ..!

ع ــ الطريقة ، التي لاتقل حدة في الذكاء ، عن الطريقة السابقة ، هي طريقة تحضير ترانزستور الانسياق ، التي تكون فيها طبقة القاعدة الملتصقة بالباعث ، حاوية على كمية كبيرة، من الشوائب ، (في حال كون الترانزستور ، من النموذج P-n-P ، تكون الشوائب مانحة ،) هكذا بحيث تزداد الناقلية ، وعند ذلك تحصل الالكترونات المتفلفلة في القاعدة ، على تسارع كبير للغاية ، مما يسمح برفع مجال ترددات عمل الترانزستور نحوى الاعلى ، حتى يصل الى 1000 ميغا هرتز ،

م ــ مما يبعث على الطمأنينة ، أن الامور تسير أحسن فأحسن في مجال عمل الترانزستور، وهل ترى انه من المستحيل

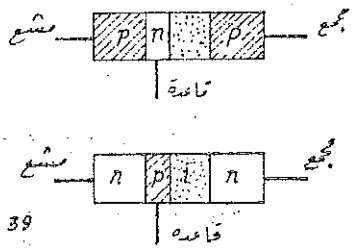
بالاعتماد على فكرتك السابقة ، تخفيض السعة بين القاعدة والمجمع ، بادخال هذه الاقطاب ودون زيادة سماكة القاعدة .

الفصل بين القاعدة والمجمع :

ع ــ بأية وسيلة تعتقد ، انه يمكن الوصول الى هـــذه الغاية ...؟

م ــ انني قصدت أن اقول : انه لو وضع بين القاعدة والباعث ، طبقة من مادة الجرمانيوم ، المحايدة ، التي لا تملك أية ناقلية ، لا من النموذج P ، ولا من النموذج n والغاية من وجودها ، فقط زيادة المسافة . بين الاقطاب .

ع ــ ان اقتراحك هذا يا عزيزي،ليس بالاقتراح الغبي، وانه ليس قابل للتحقيق فقط بل محقق فعلا ، في الترانزستورات من النموذج P - n - i - P ، حيث أن الحرف i يشير الى طبقة الجرمانيوم ، ذات الناقلية الذاتية ، كما هو مبين على الشكل رقم 39 .



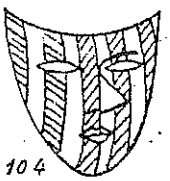
الشكل رقم (39) بنيتين ممكنتين للترانزستور مع منطقة ناقلة خاصة ذاتية تقع بين القاعدة والمجمع

م ــ الله يلعن الشيطان ــ كل فكرة افكر بها واطرحها، أجد أن هناك ، من سبقني الى تحقيقها .

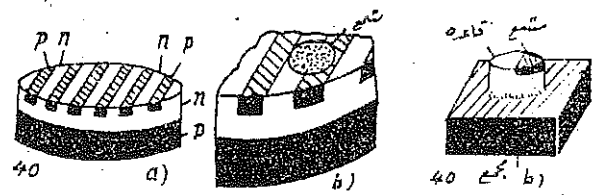
قل لي يا صديقي ــ متى سنطرح مواضيع حـــول الجبال ...؟

ع ــ انني متأسف جدا ، ياعزيزي المبتدىء ، لتأخر ولادة أفكارك النيرة . وبالختام أريد أن أحدثك . بعد ، عن نموذج

واحد من الترانزستورات ، يستعمل في مجال الترددات العالية، والذي تستخدم في تحضيره ، طريقة الانتشار والاختراق .


104

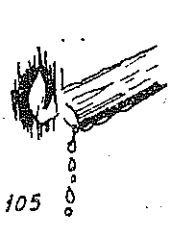
لتحضير هذه الترنزستورت ، تؤخذ صفيحة من نصف ناقل من النموذج P ، يستخدم أساسا كمجمع ، وبطريقة الانتشار ، تشكل عليها طبقة من النموذج n تستخدم كقاعدة ، وبعد ذلك وبواسطة طريقة الانتشار نفسها ، وعلى نفس الجهة من صفيحة النصف ناقل ، تدخل شوائب من النموذج P ، وتشكل طبقة ثانية من هذا النموذج ، تستخدم كباعث . وبهذه الطريقة ، يمكن اختصار سماكة القاعدة ، الى قيمة تقرب من (0-002) ميللي متر . والمهارة والاحتيال هنا ، تتلخص ، في أن عملية الانتشار النهائية ، تنفذ عبر غلاف مشرط بشكل خاص ، بحيث أن لا يتعرض لعملية الانتشار ، الا فقط ، أشرطة ضيقة من سطح نصف الناقل ، ويصبح هذا السطح ، بعد تلك المعالجة . عبارة عن أشرطة متعاقبة من النموذج P ، (الباعث) والنموذج n ، (القاعدة)



40

الشكل رقم 40 المراحل المتعاقبة في تحضير الترانزستور الهضمي

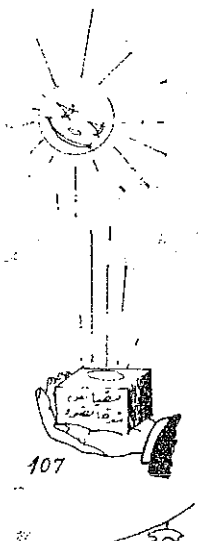
(الشكل رقم 40 /آ) وبعد ذلك ، تحمل على هذا السطح ، نقاط من الشمع هكذا بحيث أن تغطي ، كل من هذه النقاط ، منطقة من النموذج P ، بمقدار نصف النقطة، ومن المنطقة n بمقدار النصف الاخر ، (كما هو مبين على الشكل رقم 40) وقطر كل من النقاط الشمعية هذه ، لا يزيد عن ربع ميلليمتر . وبعد ذلك تغمس صفيحة نصف الناقل ، بما عليها من نقاط شمعية ، بمحلول مذيب للاجزاء الغير مغطاة بنقاط الشمع ، وبذلك تنقص سماكة الصفيحة بكاملها ، وتتم تعريتها بالكامل من الطبقة P ، باستثناء تلك الاجزاء الصغيرة ، التي كانت مغطاة بنقاط الشمع ، وبعد ازالة نقاط الشمع ، تبدو الصفيحة مرصعة


105

بحبيبات صغيرة تشبه الهضاب السطحية الا نهدامية ، منكسرة الجوانب ، (الشكل رقم 40 / ج) . يمكن أن يوصل اليها ، بطريقة اللحام ، مربطان هما القاعدة والباعث (تصنع هذه المرابط عادة ، من سلك من الذهب ، يبلغ قطـــره 0-025 مم).

م ــ كيف يمكن التعامل ، مع مثل هذه الاسلاك الدقيقة ، الى مثل هذا الحد ..؟

ع ــ يمكن أن يتم ذلك ، تحت المنظار المكروسكوبي ، ولكن طبعا ، في البداية يجب ن تعالج صفيحة النصف ناقـل كيميائيا ، وتزال عنها الطبقات الجديدة ثم تقطع الى قطـع صغيرة ، بقدر عدد الحبيبات الموجودة على سطحها ، والتي سيتحول كل منها فيما بعد ، الى ترانزستور . ان هـــذه الترانزستورات ، تسمى بالترانزستور الهضبي.
وتستخدم هذه التسمية ، في أميركا الجنوبية ، للدلالة علـى الجبال الانهدامية ذات القمم المسطحة ، والانحدارات الحادة.



م ــ كم يتطلب من الوقت ، تحضير هـذه الجبـــال المكروسكوبية ، والدقة في العمل والاهتمام الواجب توفرهمـا

المراحل الاخيرة في الانتاج :

ع ــ لا تفكر يا صديقي المبتدىء أن العمل قد انتهـى بتحضير الترانزستورات بطريقة الصهر أو التحليل الكهربائي أو الانتشار ، وتشكل الباعث ، القاعدة والمجمع . ويمكن أن تلاحظ بالمناسبة ، انه في الطرق الثلاث الانفة الذكر ، تستخدم المواد الصلبة والسائلة والغازية .

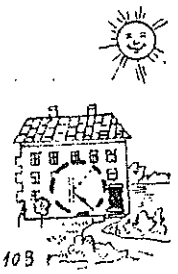
م ــ وماذا بقي،كي يصبح الترانزستور جاهزا نهائيا..؟ فهل يجب أن تجرب كافة الصدف ، التعيسة ....؟

ع ــ مهلا يا صديقي مهلا ..! لايزال يتطلب معالجـة سطحية ، بالحموض ، وخلق الظروف المناسبة لاطالة حياته، العملية المنتظمة . ووضعه في قالب صلب ، بمافيه الكفايـة

يؤمن له درجة ثبات عالية جدا ، ضد الصدمات الميكانيكية ، والسقوط والاهتزازات واخيرا تغليفه بغلاف متين ، مغلق وغير شفاف ، لحمايته من تأثيرات الرطوبة والضوء ، فهما يعتبران : عدوين قاتلين ، الانصاف النواقل —

م — يالطيف .. يالطيف لماذا كل ذلك .

ع — لاتستغرب ياصديقي ، لانه كما قلت لك سابقا . تستطيع الاشعة الضوئية أن تغير من ناقلية انصاف النواقل، وتقتلع الالكترونات من ذراتها ، ويستفاد من هذ ةالظاهرة ، في صناعة الثنائيات النصف ناقلة الضوئية ، والترانزستورات الضوئية أيضا ، ولكن،الترانزستور العادي،يجب أن لا يخضع لتأثير لاشعة الضوئية ، ولذلك ، فانه يوضع في جسم من البلاستك ، أو غلاف من المعدن ، وغالبا ما تملأ كبسولة الترانزستور ، بغاز محايد ، (غاز الازوت مثلا)، أو مادة هلامية خاصة ، ولهذه الغاية كثيرا ما سبب وصل المرابط ، مع أقسام الترانسوتر ، مشكلة صعبة ، وذلك لانه ، من الضروري تحقيق تماس أومي مباشر،بين كل منطقة منمناطق الترانزستور والسلك المقابل له ، ومهما كان الثمن ، يجب تفادي تشكل حواجز طفيلية من النموذج P - n ،.



م — اذا قمنا باحصاء كل مايجب معرفته ، لاتقان صناعة الترانزستور ، فاني أرى ، انه لا بد لمصمم الترانزستور ، من معرفة الفيزياء ، والكيمياء والميكانيك ... و ... وان هذا كثير جدا . لذلك فانني افضل ، ان اشتري الترانزستور ، بدلا من أن اصنعه ولكن ...

ع — ولكن .. أي فكرة غير مفهومة ، بعد .، تطلب مني ان اشرحها لك ...؟

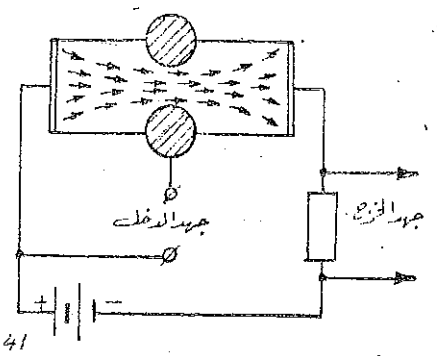
الترانزستور النفقي الحقلي :

م — انها تراودني فكرة ، لا ارى بدا من عرضها ، وتتلخص : في انه يمكن صناعة ترانزستور بدون قاعدة ، بدون

109

باعث وبدون مجمع ... ، .. لماذا لا تؤخذ اسطوانة ، من مادةالجرمانيوم أو السيليكون ، علق على وسطها ، خاتم او حزام ، من معدن ناقل ، يوصل الية الجهد المراد تضخيمه ..؟ وبهذا الشكل ، يتشكل حقل كهربائي ، قادر بدرجة كبيرة او صغيرة على خنق تدفق حوامل الشحنات الكهربائية، المارة عبر الاسطوانة ، من احدى نهايتيها — الى النهاية الاخرى ، والتحكم به زيادة او نقصانا ، وهكذا فان التيار المار عبر الاسطوانة ، يتم تعديله ، بالضبط كما يجري في الصمام الالكتروني الثلاثي ، تحت تأثير جهد الشبكة (انظر الشكل رقم 41)

ترانزستور التأثير الحقلي



41

الشكل رقم 41 يبين شكل ترانزستور التأثير الحقلي

110

ع — مسكين « انت يا صديقي المبتدىء»

م — لماذا ..؟ هل هناك من نقص او عدم وضوح في مناقشتي ...؟

ع — كلا يا عزيزي ، ان كل ما ورد في نقاشك لهذا الموضوع ، منطقي وصحيح ، ولكن المحزن في الامر ، هو ان هذا الجهاز ، الذي فكرت انت لتوك باختراعه ، موجود في الحياة من زمن طويل ويسمى : بـ **ترانزستور التأثير المجالي أو ترانزستور التأثير الحقلي** . وهو يشابه الى حد ما **التكنوترون المصنوع في فرنسا** ، وهو يجمع حسنات الترنزستورات والصمامات الالكترونية ، ولكنني اتساءل هنا .. هل يمكن ان تنسب هذه التركيبات الخاصة ايضا ، الىأسرةالترانزستورات الكبيرة ...؟

المناقشـــة السادسة

مملكة المنحنيات والخطوط البيانية :

كي نستطيع استعمال الترانزستور ، في الصناعـــات الالكترونية ، من الضروري ، معرفة خواصه الاساسية ، أن هذه الخواص ، كخواص الصمامات الالكترونية ، يمكـــن أن يعبر عنها ، بالبارامترات (القيم المميزة) الاساسية ، أو على شكل مخططات ومنحنيات بيانية ، تبين كيف أن بعض التيارات والجهود ، تتغير تبعا لبارامترات وثوابت أخرى.تعتبر الاشكال البيانية ، الممثلـــة للخواص ، ذات أهمية خـــاصة ، فـــي الترانزستورات . لان كـــل قيمة متغيرة ، تؤثر علـــى القيم الاخـــرى .

ـــ لنرى من أجل ماذا ، يقوم صديقانا الاثنان ، بعملهما المفيد جـــدا ، مستعرضين مختلف البارمترات الاساسية ، للترانزستورات ، وخواصها المميزة :

محتويات المناقشـــة :

دارة كهربائية لاستخراج الخواص ، خواص التابعين

$$Ic = F\ (Ub)\ ,\ Ib = F\ (Ub)$$

عامل تضخيمالجهد وعامل تضخيم التيار ، مقاومـــة الدخل ، العلاقة التي تربط بين عامل تضخيم الجهد والمقاومة الداخليـــة وتضخيم التيار والاستطاعة ، الاشباع ، مجموعة منحنيـــات الخواص ، التشابه مـــع الصمام الخماسي ، الاستطاعـــة الحدية ، مقاومة الخرج ، تحديد البارامترات بدلالة منحنيات الخواص .

المبادرة الشخصية لدى صديقنا المبتدىء :

العارف ـــ لعن الله الشيطان...ما هذا الذي اراه...؟ ما يعني هذا التجمع الفوضوي لهذه الكوكبة من اجهزة القياس والبطاريات والمقاومات المتغيرة المتجمعة على منضدتك يا حضرة المبتـــدىء .

م ــ يبدو أنك لم تر الشيء الرئيسي والهام ، من بينها ولذا ، يوجد سبب منطقي لاستغرابك . انظر الى جانب جهاز الفولتمتر والامبير متر ... يوجد هناك ترانزستور ، ولكنه يبدو صغيرا جدا ... والاكثر من ذلك ، انه هو المسبب ، لهذا التجمع الفوضوي والاستعراض الذي تراه أمام عينك اليوم ...

ع ــ ولكن ما هو الهدف ، من تجميع هذا العدد الضخم ، من الاجهزة والادوات ...؟

م ــ انك تتذكر يا عزيزي ، كيف اننا لم نستخرج أبدا ، الخواص العملية ، للصمامات الالكترونية والتغيرات التي تطرأ على تيار المصعد ، تبعا لجهد الشبكة ، أو لجهد المصعد . ها أنا كماترى ، اردت أن استخرج الخواص المشابهة للترانزستور الذي ابتليتني به ...؟

ع ــ انه لجهد يستحق الثناء . وهل تسنى لك الوصول الى الغاية المنشودة ...؟

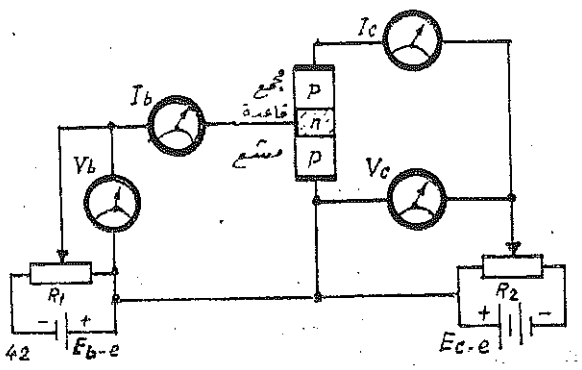
م ــ يمكن أن نقول نعم ، كما يمكن أن نقول لا ... وهذا كما ترى ، نوع من التهرب من الجواب ، ولكن ما يزعجني ، هو أن الصمام ، كنا نصف عمله بثلاث قيم هي :
(1) Ia ؛) تيار المصعد (2) الجهد بين المصعد والمهبط U a (3) الجهد بين الشبكة والمهبط Uc
أما في الترانزستور ؛ فيجب دراسة أربعة عوامل هي:
(1) تيار المجمع Ic (2) جهد المجمع Uc بين الباعث والمجمع 3) الجهد بين القاعدة والباعث Ub ؛ (4) تيار القاعدة I b

ع ــ كل هذا صحيح .. وبالفعل ، ماعدا الحالات الاستثنائية ، نجد أن الصمامات الالكترونية ، تعمل بدون تيار شبكة ، أما في الترانزستورات ، فان تيار القاعدة ، يلعب دورا أساسيا من الدرجة الاولى :

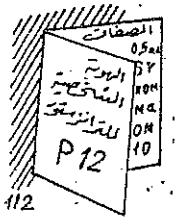
الدارات النموذجية لاستخراج خواص الترانزستور:

م ــ انظر هذه الدارة ، التي فكرت بها ، لاستخراج

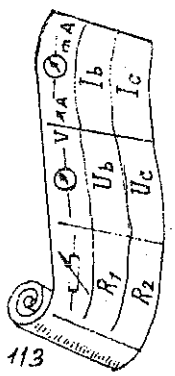
العلاقات بين القيم الاربعة (الشكل رقم 42)



الشكل رقم 42 المخطط المستعمل في استخـــــراج خواص الترانزستور .



ع — انني أرى هنا ، المقاومة المتغيرة R_1 ، التي تستعمل لتغيير الجهد المطبق بين القاعدة والباعث، حسب الطلب ، ويقاس هذا الجهد ، بواسطة مقياس الفولط Vb وأراك تستخدم ايضا ، المقاومة المتغيرة R 2 ، التي يتم بواسطتها ، تغيير جهد المجمع — الباعث . الذي يقـــاس بواسطة مقياس الفولط Vc ، ولقياس تيار القاعدة ، أراك تستخدم المكرو امبير متر Ib ، أما تيار المجمع ، فلا بد من قياسه بواسطة الميللي امبير متر Ic .
لك مني أحر التهاني ، يا حضرة المبتـــدىء فبدارتك هـــذه ، يمكنك أن تقوم بالعمل بشكل جيد ..!
فما هي الامور التي تعيقك بعد .... ؟



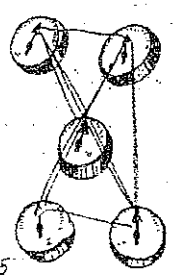
م — تتجمع في ذهني تصورات ، بأنني وقعت ضحيـــة نفس المزحات ، التي كنت أقوم بها ، عندما كنت لا ازال صبيا، وحين كنت اداعب طباختنا ميلانـــة .

ع — وبما تميزت صحيفة مساوئك المبكرة في مجال انصاف النواقل ...؟

م — في ذات يوم من أيام طفولتي ، قمت بربط كافـــة الطناجر والمقالي ، الموضوعة على رفوف مطبخنا ، مع بعضها، بسلك فضي رفيع، وعندما جاءت طباختنا **ميلانه** لتأخذ احداها، سقطت البطارية بكاملها ، على راسها ...

ع ــ ان هذا يشكل جزءا من بداهتك ، ودقة تصوراتك اذا لم نقل ، انه يدل على العفرتة ، والروح الشيطانية ، التي كنت تتحلى بها ، أثناء الطفولة ... ولكنني لم أر شيء منها الان .

م ــ والاكثر من ذلك ، انني كنت اتصور جيدا ، ان أسهم أجهزة القياس ، التي استعملها ، تتصل فيما بينها ، بخيط رفيع غير مرئي . حيث أن ، أي حركة من احداها ، تجر خلفها بقية الاسهم ، مثل طناجر ميلانه تماما . يكفي أن تهتز احدى مؤشرات المقاييس ، حتى تبدأ اثنتان أخريان منها ، بالحركة ، بدون تأخير . فمثلا : عندما أدور قبضة المقاومة المتغيرة R1 ، مغيرا بذلك قيمة جهد القاعدة Ub ، يتغير معي في نفس الوقت ، كل من تيار القاعدة Ib ، وتيار المجمع Ic



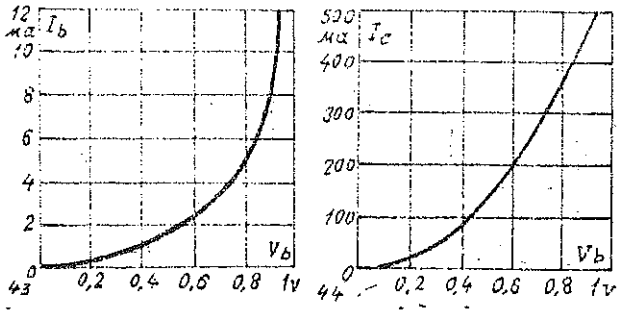
115

الخاصتين الاوليتين من خواص الترانزستور :

ع ــ وهل هذا غير طبيعي ...؟ ، انك بهما تستطيع أن تعرض ، مبدأ عمل الترانزستور بكامله . حيث أن تطبيق جهد متصاعد ، بين القاعدة والباعث ، يؤدي الى تصاعد قيمة التيار الجاري ، من الباعث الى القاعدة ، وهذا يؤدي ، بنفس الوقت ، الى زيادة التيار الجاري ، من الباعث الى المجمع ، مارا عبر القاعدة .

م ــ بدون شك ، ان هذا يشابه تماما تأثير تيار الشبكة ، على تيار المصعد في الصمام الالكتروني . وعلى فكرة انظر هذين المنحنين اللذين حصلت عليهما ، عن طريق تغير جهد القاعدة Vb بواسطة تغير قيمة المقاومة المتغيرة R1 ، وتسجيل قيمة كل من التيارين Ic – Ib ، المقابلة لكل قيمة من قيم المقاومة R1 ، (الشكل رقم 43 – 44) .

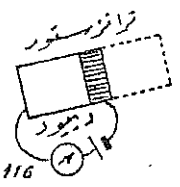
ع ــ جيد جدا ياصديقي المبتدىء ، هذا يعني ، انك تقوم باختبار ترانزستور متوسط الاستطاعة ، وذلك لان تيار المجمع يبلغ هنا قيمة لا بأس بها ، من مرتبة نصف أمبير ... ان خطك البياني الاول ، يقابل التأثير ، المتبادل ، بين اثنين من العناصر فقط : الباعث .. والقاعدة . وهو يصف ، تابعيه تيار القاعدة ،



الشكل رقم 43 يبين تابعية تيار القاعدة Ib ، للجهد المطبق بين القاعدة ــ والمشع Ub ولم تذكر هذا الشكل وبقية الاشكال الاخرى التي تبين خواص الترانزستور قطبية جهد القاعدة والمجمع ــ علما ان ، جهد كل من هذين القطبين ، يجب أن يكون موجبا ، بالنسبة للباعث ، اذا كان الترانزستور من النموذج n-P-n ، سالبا ، اذا كان الترانزستور من النموذج P-n-P .

الشكل رقم 44 يبين تابعية تيار المجمع Ic ، لجهد القاعدة ــ المجمع Ub

الى جهد القاعدة ــ نفسها بالنسبة الى الباعث .. وببساطة ، يمكن القول ، ان ذلك الخط ، يمثل خواص الثنائي النصف ناقل المتشكل بين الباعث والقاعدة .



م ــ أصحيح كما يقولون ...؟ أن التيار، يتزايد في البداية ببطيء ، وبعد ذلك يتزايد بسرعة ... ؟ انني ارى ، أن هذا المنحنى البياني لايهمنا كثيرا : أما المنحى الاخر ، الذي يبين تغيرات تيار المجمع ، تبعا لتغيير جهد القاعدة ، يعتبر ذا اهمية كبرى .

السيد المبتدىء يتعرف على الناقلية المتبادلة المخادعة:

يجب ان لا تتلهى، وتبتعد عن موضوع بحثنا ياصديقي العزيز فعلا : ان المنحنى الثاني واضح جدا ، وهو يبين لنا بصورة خاصة ، كيف أن الناقلية المتبادلة ، في الترانزستور بعيدة جدا عن أن تكون ثابتة ، وتتغير تبعا لتغيرات قيمة الجهد .

م ــ انتكلم عن الناقلية المتبادلة ، حتى عند التعامل مع الترانزستور ، فكما أعلم أن الناقلية المتبادلة بالنسبة للصمامات هي عبارة عن نسبة تغير تيار المصعد ، الناتج عن التغيير

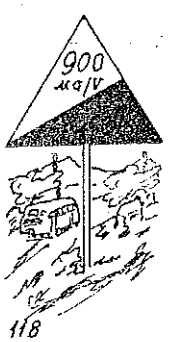
الطفيف في قيمة جهد الشبكة ، الى قيمة تغيير جهد الشبكة نفسه .

ع ــ نعم ونحن هنا،نعرف الناقلية المتبادلة،بالمثل،كنسبة تغيير تيار المجمع ΔIc ،الناتج عن تغيير قليل في قيمة جهد القاعدة ΔVb الى قيمة تغيير هذا الجهد .
فاذا رمزنا للناقلية المتبادلة بالرمز g تحصل على

$$g = \frac{\Delta I_c}{\Delta Ub}$$

ويعبر عن الناقلية المتبادلة ، كمثيلتها عند الصمامات ، **بالميللي أمبير على فولط .**

م ــ لقد لاحظت بالفعل ، انه عند زيادة جهد القاعدةتتزايد قيمة الناقلية المتبادلة ، (اي ميل المنحنى) للترانزستور : فمثلا عند تزايد جهد القاعدة من $0,2 \div 0,4$ فولط .
يتزايد التيار بمقدار 50 ميللي أمبير ، وعند تزايد جهد القاعدة Ub ، من $0,6 - 0,8$ فولط يتزايد تيار القاعدة بمقدار 180 ميللي أمبير وتبعا لذلك تكون قيمة الناقلية المتبادلة ، في الحالة



الاولى هي : $g = \frac{50}{0,4 - 0,2} = 250\ ma/v$

اي 250 ميللي أمبير / فولط . اما في الحالة الثانية فهي

$$g = \frac{180}{0,8 - 0,6} = \frac{180}{0,2} = 900 ma/v$$

900 ميللي أمبير / فولط

وهذا رائع جدا.حيث أن الناقلية المتبادلة في الصمامات، لا يمكن أن تصل الى تلك القيمة مطلقا .

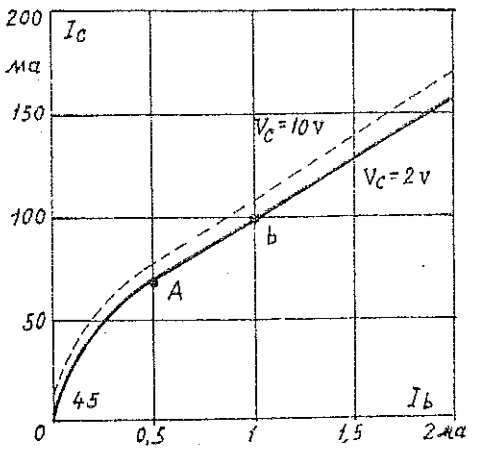
الخطر في تحديد الاستطاعة :

ع ــ ولكن الافضل ، الا تستنتج استنتاجات عاجلة ، فتظن ، أن تضخيم الترانزستور كبير جدا . ففي الواقع ،يكون دور الناقلية المتبادلة في الترانزستورات . أكثر بكثير مما هو في الصمامات ، ذلك لان عمل الترانزستورات ، يتحدد في نهاية

لم يتحدد عمل الترانزستور

المطاف ، بتأثير تيار القاعدة على تيار المجمع ، وتكون الاستطاعة محدودة .

م — انني لقد استنتجت ذلك ، عندما استخرجت ،تبعية تيار المجمع Ic الى تيار القاعدة Ib بالنسبة لقيمتين ، من الجهد المطبق على المجمع Uc = 2 و 10 فولط انظر الشكل رقم 45 .



الشكل رقم 45 يبين تبعية تيار المجمع Ic الى تيار القاعدة Ib بالنسبة لقيمتين من جهد المجمع Uc = 2 و 10 فولط

ع — ولماذا كان المنحنى الممثل للجهد الاخر Ve = 10 v مرسوما بخط منقطع ...؟

م — لان هذا القسم ، رسم رسما مجازيا ، اي اصطلاحي وانني لم اتجرأ ، او اسمح لتيار المجمع أن يتعدى (35 ma) ميللي أمبير . مع جهد قدره 10 v فولط ، وذلك لان استطاعة الترانزستور ،لا تتعدى الـ 350 ميللي فولط وقد قرأت ذلك ، في تعليمات المصنع ، الذي ينتج الترانزستورات . والتيار 35 ma عندما يكون الجهد 10 v (يكون جدائهما 350 m w) ، يعطي بالضبط ، الاستطاعة الحدية ، وأنا لا أرغب أن اتخطاها ، واخسر حصيلة ماوفرته .

ع — انك لذكي فعلا ، يا عزيزي ...! ولم يبق لي الا أن اقدم لك التهاني ، على ما أحرزته من تقدم ، ويجدر ان

تلاحظ هنا ، ان المنحنى الذي يبين تغيرات تيار المجمع Ic تحت تأثير تيار القاعدة Ib ، يكون في اغلب الاحيان ، قريبا من الخط المستقيم ، وعلى كل حال كان بامكاننا التأكد من ذلك ، لو تأملنا الشكل رقم 24 .

م ــ صحيح . فعلا ...! اذكر أن ذلك الخط البياني ، يسمح بتحديد عامل تضخيم التيار ، أي العامل β الذي يبين بكم مرة يكون تغيير تيار المجمع ، أكبر من تغيير تيار القاعدة .

ع ــ هل يمكن لك ياعزيزي ، أن تحدد قيمة عامل التضخيم هذا ، بدلالة المنحنى المقابل للجهد Vc = 2V

م ــ طبعا . وبمنتهى السهولة ، ــ عندما نرفع نحن قيمة تيار القاعدة Ib من 0,5 الى 1 ميللي امبير مثلا ، (من النقطة A الى النقطة B على المنحنى المبين على الشكل 45) ، فان تيار المجمع Ic يتزايد من 70 حتى 97,5 ميللي امبير ؛ ومعنى ذلك ، أن تغيير تيار القاعدة ، بمقدار 0,5 ميللي امبير يقابله تغيير ابتيار المجمع ، يساوي 27,5 ميللي امبير ، وهذا يعني بدوره، أن عامل تضخيم التيار ــ $B = \frac{27,5}{0,5} = 55$ يساوي 55 مرة .

ع ــ برافو .. ويمكنك ياعزيزي أن تقول ، بشكل اعم أن $B = \frac{\Delta Ic}{\Delta Ib}$

حيث أن ΔIc و ΔIb يمثلان على التوالي: تغييرا قليلا في تيار المجمع ، وتغييرا قليلا في تيار القاعدة .

المقاومة التي لا تلبي النداء :

م ــ اسمع من فضلك . ان كل التغييرات الصغيرة تلك، في التيارات والجهود ، تذكرني بما هو معروف لدي منذ أمد بعيد ، واحفظه عن ظهر قلب ، كأغنية الطفولة التي كنت اترنم بها منذ الصغر . فبعد أن عرفنا الناقلية المتبادلة ،وعامل

التضخيم ، فلا تزال تنقصنا ، معرفة المقاومة الداخلية ، من زمرة البارامترات الاساسية، التي قابلناها في حالات الصمامات.

120

ع — انتبه ياعزيزي ، انني أقول لك مرة ثانية ، احذر الاستنتاجات السريعة . فعامل التضخيم عند الصمامات ، هو عبارة عن نسبة بين جهدين ، بينما هو في الترانزستورات عبارة عن نسبة بين تيارين ، وكما يقال عن المقاومة الداخلية للصمام ، ويقصد بذلك مقاومة الخرج ، كذلك يجري الحديث في حالة الترانزستورات ، عن مقاومة الدخل ، او مقاومة مرحلة الباعث — القاعدة ، كما ذكرنا سابقا. وهي كأية مقاومة أخرى، ليست الا عبارة عن ، نسبة جهد الى تيار معين ، كما قال الفيزيائي المرحوم العم **أوم** ...

م — أو اذا تحدثت بدقة ، على غرارك ، تكون تلك المقاومة ، عبارة عن نسبة التغيير الصغير في جهد القاعدة ، الى ما يحدثه من تغير صغير أيضا ، في تيار القاعدة . واذا استخدمنا للدلالة على هذه القيم الصغيرة للتغيرات ، الرمز المحبب على قلبك يا عزيزي ، « دلتا »، يمكننا أن نكتب المعادلة التالية

$$R_{in} = \frac{\triangle Ub}{\triangle Ib}$$

121

ع — عزيزي المبتدىء . اسألك بالله . ألم تبتلع انت اليوم سمكة ضخمة ، من سمك الكمبالا وبفضل ما قدمته لك تلك السمكة من فسفور ، أصبح دماغك ، يعمل بطاقة هائلة، وبهذه الوتيرة من التفكير . وطالما انك تتقدم ، بهذه السرعة الهائلة ، فهل لك ، أن تحسب مقاومة دخل الترانزستور ، بالاستناد الى امكانياتك المعروفة .

م — ولا أسهل من ذلك ، أبدا ، — ومن أجل ذلك ، علينا أن نعود الى المنحنى المرسوم على (الشكل رقم 43) ، فهو يبين ، كيف تتغير قيمة تيار القاعدة Ib ، تبعا لتغيرات جهد القاعدة Ub وحيث نرى ، أنه عند الانتقال ، من 0,5 الى 0,6 فولط ، على محور الجهود ، فان التيار يتغير بمقدار Ima ميللي أمبير تقريبا ، وتحسب

مقاومة الدخل Rin ، بالطريقة المعروفة ، أي يقسمه 0,1 على 1 فنحصل على 1,0 أوم

ع ــ وخجلاه ...!... الا تخجل يا صديقي ، رجل في سنينك هذه ، لا يميز بين الامبير والميللي امبير .

م ــ عفو ــ مغفرة ياعزيزي ، كان يجب على أن أقسم، 0,1 على 0,001 امبير ، فعندها تكون النتيجة الحاصلة ، هي : 100 أوم .

علاقة مفيدة جدا :

ع ــ طبعا ــ هذا افضل بكثير ، والان كعقوبة لك ، على هذه الغلطة الشنيعة ، التي ارتكبتها ، فانني سأطلب منك، أن تحل المسألة الصغيرة التالية : اضرب الناقلية المتبادلة ، بالمقاومة الداخلية للترانزستور ، استنادا لتعريف كل منهما .

م ــ وما الصعوبة بذلك ... انه لشيء سهل جدا .

$$g_m \times R_{in} = \frac{\Delta\ Ic}{\Delta\ Ub} \times \frac{\Delta\ Ub}{\Delta\ Ib} = \frac{\Delta\ Ic}{\Delta\ Ib}$$

وقبلا ، كنت غير واثق من نفسي ، انني في يوم من الايام ، استطيع ان احل مثل هذه المسألة ، بشكل صحيح . وهكذا نجد ، ان نسبة تضخيم التيار ، تساوي جداء الناقلية المتبادلة gm ، في مقاومة دخل الترانزستور Rin ، أن هذا يذكرني بالعلاقة المستخرجة سابقا للصمامات وهي $\mu = gm \times Ri$ حيث هنا Ri هي مقاومة خرج الصمام .

ع ــ هل تستطيع ان تتأكد بنفسك ..؟ هل تتفق العلاقة التي استنتجتها مع القيم التي حصلت عليها من قبل ،لبرامترات الترانزستورات .

م ــ من المنحنى البياني ، المبين على الشكل رقم B / 44 نجد ان الناقلية للتيار في النقطة 0,5 V تبلغ 500 أو 600 (ميللي امبير / فولط) أو وسطياتساوي 0,55 a/v أمبير / فولط

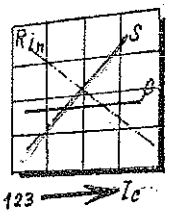
فاذا ضربنا هـذه القيمة ، بمقاومة الدخل في تلك النقطة وهي تساوي 100 om أوم نجد أن $\beta = 0,55 \times 100 = 55$ وهذه القيمة ، تساوي تماما . قيمة التضخيم في التيار ، التي سبق أن وجدناها ايضـا .

ع ـ كل شيء يسير ، من حسن الى احسن ، نحو احسن ، ما في الدنيا .!..! لاحظ من خلال عملك يا صديقي المبتدىء ، ان عامل التضخيم لايتغير تقريبا ، عند تغيير تيار المجمع ـ أما الناقلية المتبادلة ، فانها كما رأينا تتزايد ، عند ارتفاع تيـار المجمع

م ـ ومن هنا توصلت أنا ، الى النتيجة التالية انـه **اذا حافظت المساواة $\beta = g_m \times R_{in}$ على قيمة ثابتة فانه عند زيادة تيار المجمع يجب أن تتناقص قيمة مقاومة الدخل .**

كثافة المنحنيات على مخطط واحد :

ع ـ ان الحقيقة تخرج من أفواه الشباب ، أما الان ، فانني مضطر أن أقول لك يا صديقي العزيز أن مختلف المعطيات ، التي تتضمنها المنحنيات المستخرجة من قبلك آنفا ، يصبـح استخدامها أسهل بكثير ، اذا أخذت على عاتقك ، انشاء خط بياني ، يبين كيف يتغير تيار المجمع ، عند تغيير الجهد المطبق عليه ، وذلك بدلا لة النتائج التي حصلت عليها ، بقياساتـك السابقة .



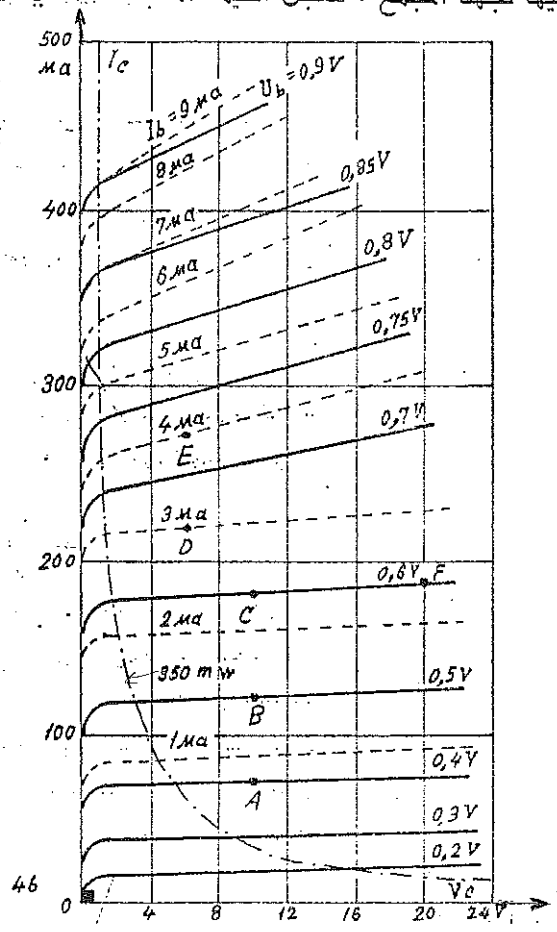
م ـ اذا أنا فهمت الموضوع ، بشكل صحيح ، فانك تقصد المنحنيات المشابهة لمنحنيات ، تبعية تيـار المصعد ، للجهد المطبق عليه .

ع ـ بالضبط ، هذا هو المقصود .

م ـ ومن أجل أي جهد على القاعدة ، يجب علي أن أستخرج هذه المنحنيات ...؟

ع ـ ارسم سلسلة من المنحنيات ، لسلسلة من قيـم الجهود V_b ، وانشيء مثلا : المنحنى الاول ، عند النقطة 0,2v

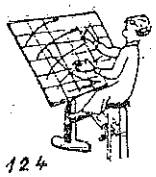
وعند تغيير جهد المجمع ، أبدأ به من الصفر ، ثم أرفع قيمته تدريجيا ، (انظر الشكل رقم 46) ،ومن أجل كل قيمة نعطيها لجهد المجمع ، سجل القيمة المقابلة، لها في تياره .



الشكل رقم 46 يبين تبعية تيار المجمع Ic لجهد المجمع Vc عندما تكون قيمة جهد القاعدة Vb ثابتة أو لتيار القاعدة Ib ثابت القيمة أيضا ، ومن أجل مختلف قيم الجهد ، أو التيار (وتقابل هذه المنحنيات ،المنحنيات المبينة على الاشكال رقم 43–45 والمفيدة للترانزستور متوسط الاستطاعة

م ــ ان هذا ممتع جدا ، ونجد أن تيار المجمع Ic يبدأ من الصفر ، ويرتفع تدريجيا ، حتى يصل الى حوالي 2 ma ميللي أمبير ، عند مايكون جهد المجمع ، اقل من 2 فولط وبعد ذلك ، يتوقف تماما ، عن التزايد ، حتى اذا بلغ جهد المجمع ، قيمة قدرها 24 فولط فبماذا ،يفسر ذلك ...؟

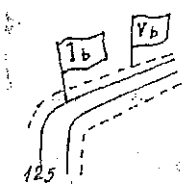
متى يحدث الاشباع


124

ع — بهذه الحالة ، تكون ياعزيزي،قد اصطدمت بظاهرة الاشباع ، وهي تحدث عادة ، عندما تكون كافة حوامل الشحنات الكهربائية ، المستدعاة الى الحياة ، عن طريق تطبيق الجهد بين القاعدة والباعث ، قد تحركت وساهمت في تشكيل تيار المجمع . وبعدئذ ، مهما زادة قيمة جهد المجمع ، لا يمكن أن يؤثر على قيمة تياره

م — هذا شيء طبيعي .. لان أجمل فتاة بالعالم ، لايمكن أن تعطي جمالا ، اكثر مما تملك .

ع — والآن بعد أن رسمت المنحنى ، الممثل لتغيرات تيار المجمع Ic ، تبعا لتغيرات الجهد المطبق عليه Uc عندما تكون قيمة جهد القاعدة Ub مساوية لـ 0,2 فولط ، فانك تستطيع رسم بقية المنحنيات الاخرى ، مثلا :عندما تكون قيمة جهد القاعدة Ub = 0,3 ، 0,4 ، 0,5 فولط .ويمكنك أن لا تضيع قيما معينة لجهد القاعدة ايضا Ub بل تستطيع وضع سلسلة من القيم لتيار القاعدة Ib .



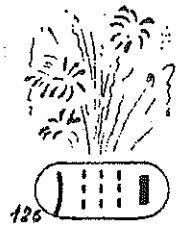
125

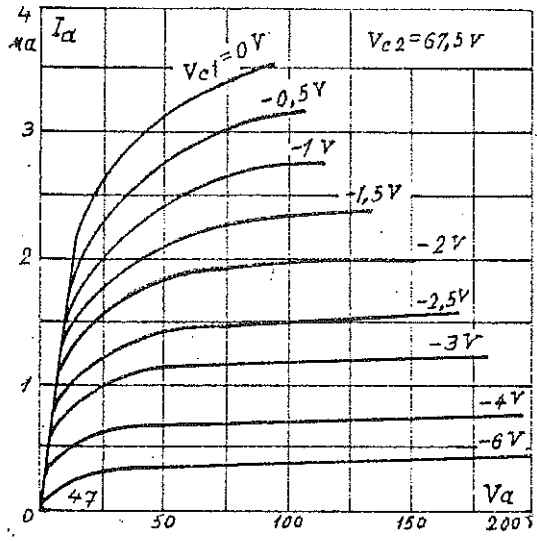
والمنحنيات الممثلة لهذه الحالة مبنية على الشكل رقم 46 بخطوط متقطعة .وهكذا ترى انه يمكن الحصول على مجموعتين من المنحنيات ، التي تبين احداها تابعية تيار المجمع ، لجهد المجمع نفسه في حال كون قيمة جهد القاعدة معينة وثابتة ، ولمختلف قيم هذا الجهد . والثانية — تابعية تيار المجمع لجهد المجمع في حال كون تيار القاعدة ذو قيمة ثابتة ومعينة ولمختلف قيم هذا التيار .. ويقال عن قيم جهد أو تيار القاعدة هذه ، التي توضع لكل منحنى من تلك المنحنيات ، انها عبارة عن بارمترات اسرة منحنيات الخواص والميزات .

أوجه التشابه والاختلاف :

م — ان هذه الاسرة المحترمة ، تشبه كثيرا ، اسرة المنحنيات تلك ، التي تبين كيف يتغير تيار المصعد في الصمامات الالكترونية ، تبعا لتغيرات جهد المصعد نفسه ، عندما يؤخذ

جهد الشبكة ، بصفة بارامتر ثابت القيمة ويلاحظ هذا التشابه الواضح ، بصورة خاصة بالنسبة للصمامات الخماسية ، كما هو واضح على الشكل رقم 47 .

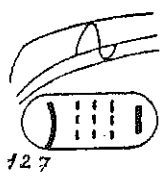




الشكل رقم 47 يبين تبعية تيار المصعد Ia في الصمام الخماسي ، الى جهد المصعد Va من اجل مختلف قيم جهد انحياز الشبكة .

ع ــ ان هذا صحيح ...! ولكن ، رغم ذلك ، لا بد من الاشارة الى ، فارقين اساسيين ، بين الاسرتين الانفتي الذكر .

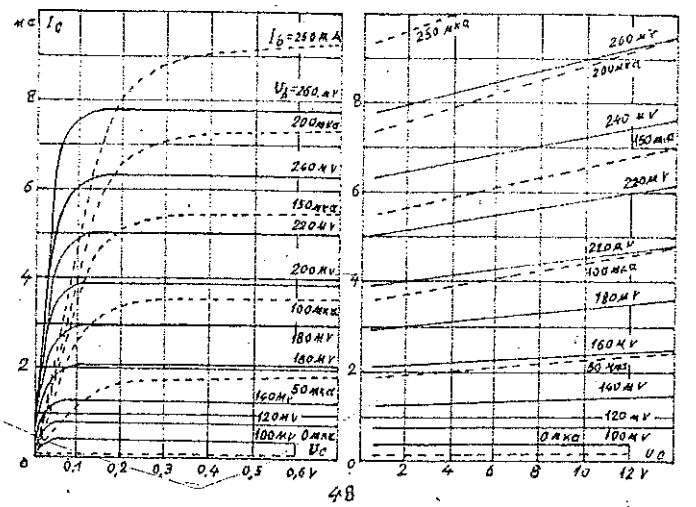
أولا : تظهر المنحنيات المثلة لصمام الخماس ، وكأنها تنطلق من نقطة واحدة ، ثم تتفرق .



م ــ كالاسهم النارية ، التي نطلقها في الاعياد .

ع ــ نعم ... لنقل ذلك ، اذا كان التشبيه يرضي ذوقك السليم . اما منحنيات الترانزستورات : فنجدها ترتفع بسرعة كبيرة جدا في البداية ، حتى انها لا تلاحظ نقطة انطلاقها أبدا ، وبعد أن تجتاز نقطة الانعطاف تصبح أفقية تقريبا .

ويمكن أن نقتنع بذلك ، بصورة أفضل ، اذا نظرت الى منحنيات خواص ترانزستور ، منخفض الاستطاعة . (انظر الشكل رقم 48) .



48

الشكل رقم 48 يبين خواص خرج ترانزستور منخفض الاستطاعة. وقد مثل جهد المجمع Vc على المخطط اليساري بمقياس موسع ، كي تظهر بشكل افضل الحوادث الجارية في منطقة الجهود الصغيرة .

ثانيا : يلاحظ أن منحنيات الصمام الخماسي ، تتوضع متقاربة ، احداها من الاخرى ، عندما تكون القيم السالبة لجهد انحياز الشبكة ، كبيرة ، ثم تتزايد المسافة بين المنحنيات المتجاورة ، عندما تتناقص القيمة السالبة لجهد الانحياز ، بينما نجد، ان المسافة الفاصلة بين المنحنيات المتجاورة لخواص الترانزستورات ، (انظر الشكل رقم 48) متساوية تقريبا ، ضمن مجال عمل الترانزستور بكامله ، وبهذا ، تتمثل احدى الحسنات الكثيرة ، للترانزستور ... لماذا ...؟

ع — الا ترى أن الترانزستور ، يستطيع تكبير الاشارات ذات الاتساع الكبير بتشويه أقل ، من التشويه ، الذي تتعرض له هذه الاشارات في الصمام الخماسي . وان التغير ، الذي يطرأ على تيار القاعدة ، بنسبة واحدة ، في لاتجاه لموجب والسالب ، يؤدي الى تغييرات متساوية أيضا ، في تيار المجمع بالاتجاه الموجب والاتجاه السالب اما في الصمام الخماسي فان النوبتين الموجبة والسالبة ، الواردتين الى شبكة الصمام ، لا يعطيان نفس التغير ، في تيار المصعد .

م — وهذا يسمى بتلك التشويهات المخيفة المسماة

باللاخطية (1) وتبعا لذلك ، فان الترانزستور ، يتقدم على التصميم ، بأحسن المؤشرات ، وهو خطية أو استقامة العمل في التكبير : يعيش الترانزستور .. يعيش .. يعيش ... !

استخدام منحنيات الخواص :

ع ــ انني احبذ ، لو نعود ، الى مجموعات منحنيات الخواص ، المبينة على الشكل رقم 46 ، كي نتعرف بشكل افضل ، على المعلومات المفيدة الموجودة فيها، عن اهم خواص الترانزستورات ، وباستخدام هذه المنحنيات ، نستطيع مثلا، تحديد قيمة الناقلية المتبادلة ، من اجل كل قيمة لجهد القاعدة .

م ــ فعلا ... ! اذا زاد جهد القاعدة مثلا : من 0,4 الى 0,5 فولط ، (اي عند الانتقال من النقطة A الى النقطة B) ، فان تيار المجمع ، يرتفع : من 75 الى 125 ميللي أمبير ، اي انه يرتفع : بمقدار 50 ميللي . وتبعا لذلك ، فان الناقلية المتبادلة تساوي $g = 50 \div 0,1 = 500$ ma v

ع ــ حسنا ... ! هكذا ، وبهذه السهولة ، تستطيع بواسطة المنحنيات الموجودة على مخططاتنا ، تحديد قيمة عامل تضخيم التيار ايضا .

م ــ اعتقد : انه من اجل ذلك ، يجب ان ننتقل ، من احد منحنيات I_b ، الى منحنى آخر . والنأخذ على سبيل المثال النقطتين D و E ، فنجد أن الفرق بين قيمتي تيار القاعدة ، يساوي 1 ميللي أمبير ، اما تيار المجمع فيرتفع ، من 220 الى 275 ميللي امبير ، اي يتزايد بمقدار ، 55 ميللي أمبير ، وتبعا لذلك فان عامل تضخيم التيار يساوي : $B = 55 \div 1 = 55$

وهذا أمر بسيط جدا . ولكن ماذا يعني : ذلك المنحنى

---

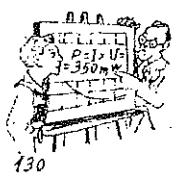
(1) ــ ان آلية التشويه الغير خطي ، في المضخمات الترانزستورية ، اكثر تعقيدا ، مما هو موصوف هنا ، وبصورة خاصة ، فان قيمة المقاومة الداخلية للترانزستور ومنبع الاشارة المضخمه ، تلعب دورا هاما ، وكبيرا . ولو درس المبتدىء ، هذا الموضوع بشكل عميق ودقيق،لخفت بهجتهواستهجانه

الغريب ، الذي ينحدر من اليسار نحو اليمين ، والذي تشير اليه انت بالمقدار 350 ميللي واط ،

ع ــ انه يشير ، الى الاستطاعة الحدية للترانزستور ، وكل نقطة من هذا المنحنى ، تساوي لجداء جهد المجمع ، في تياره وتساوي بصورة دائمة 350 ميللي واط .

م ــ ان هذا صحيح فعلا ...!، لان قيمة الجهد التى تساوي 10 V ، يقابلها تيار قدره ، 35 ميلليامبير وحاصل ضربهما ، يساوي 350 ميللي واط . والجهـــد ذي القيمة 5V يقابله تيار قدره ، 70 ميللي امبير وحاصل جدائهما يساوي 350 ميللي واط وهذا يعنـــي ان القيمة 350 ميللي واط تحتل الحدود التي لايمكـــن اجتيازها .

عودة الى الدلنات △



130

ع ــ نعم ... ان هذا المنحنى ، هو منحنى قطع زائد ، ونحن لن نتوقف عنده الان ، بل سنعود اليه في المستقبل ، اما الان : فانني اريد أن أطلعك ، على خاصة من اكثر خـــواص الترانزستور فائدة ، وهي ، مقاومة خرجه فهل تستطيع أن تتنبأ عماسيدور الحديث ...؟

م ــ نعم يا صديقي ... لاتزال في دماغي ، كمية مـــن الفسفور التي تساعدني على التفكير وساحاول الاجابة علـــى سؤالك ....، انني أعتقد ، ان الحديث سيدور ، حـــول المقاومة ، التي تحدد مرور تيار المجمع ، عندما يجبر هذا ، التيار على تغيير قيمته بتغيير جهد المجمع ، اليس كذلك ...؟

131

ع جيد جدا ايها المبتدىء ، ــ اضف الى ذلك، انه عندما تتم هذه التغيرات ، فان جهد القاعدة ، يبقى ثابتا . اما الان فتستطيع متابعة مناقشتك ، ولا تنسى عالمنا المقدس ، أ و م

م ــ لقد صح تنبؤي ...! ان مقاومة الخرج فـــي الترانزستور هي عبارة عن نسبة جهد الخرج الى تياره .

ع ــ ان هذا لا يعتبر شرحا كافيا . كامل الجوانب ، ولا

تزال تنقصه اشارة صغيرة هي ، Δ دلتا

م ــ ان حبل الانقاذ الذي تكرمت فرميته لي يجنبني الخطأ حتما ، وبامكاني الان ، اعطيك تعريفا يجعل الاستاذ الذي علمنا الرياضيات ، يصفر جدا ، اذ سمع به ، **ان مقاومة خرج الترانزستور هي عبارة عن نسبة تغير صغير لجهد المجمع الى تغير تيار المجمع الناتج عنه** ويمكن كتابة هذا التعريف بالشكل التالي : $Rout = \frac{\Delta Uc}{\Delta Ic}$

وهذا يقابل ، بالنسبة للمقاومة الداخلية للصمام الالكتروني ، العلاقة : $Ri = \frac{\Delta Ua}{\Delta Ia}$

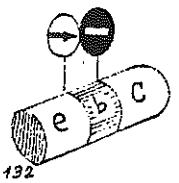
ع ــ ان ما قمت ، به من عمل حتى الان ، يبرر بهجتك وسرورك ، وتلك السمكة التي ابتلعتها امس ، لا يزال تأثيرها مستمر ، في تقديم الاشعاع الفسفوري ، الذ يساعدك على عمق التفكير فهل تستطيع تحديد مقاومة خرج ترانزستورنا ، على المخطط البياني (الشكل رقم 46) ، ولنفرض ان جهد القاعدة يساوي

م ــ بكل بساطة ... ناخذ النقطتين C و F توافقان قيم الجهدين 10V ــ 20 V على المجمع اي ان الفرق بينهما ، يساوي $\Delta Vc = 10\ V$ وحسب الشكل نرى ، ان تيار المجمع ، يتزايد بين هاتين النقطتين ، من 180 ÷ 182 ميللي امبير اي $\Delta Ic = 2ma$ أو 0,002 امبير وتبعا لذلك ، فان مقاومة الخرج تكون $Rout = 10 \div 0{,}002 = 5000$ om أوم .

ع ــ جميل جدا ولو حسبت لي ، قيمة مقاومة الخرج ، بالنسبة للتيارات ذات القيم الكبيرة ، لوجدت ان ، هذه المقاومة ، اصغر بكثير . ولكن يجب الا تنسى ان الكلام المذكور ، يتعلق بالترانزستورات ، متوسطة الاستطاعة ، ولو اخذنا ، ترانزستور منخفض الاستطاعة ، ولتكن خواصه مثلا كما في الشكل رقم 48 لوجدنا ان مقاومة الخرج اكبر بكثير وبالفعل نلاحظ ان هذه المنحنيات ، افقية تقريبا . بحيث تلاحظ انه حتى ولو زدنا جهد المجمع ، Vc زيادة كبيرة ، فان تيار المجمع Ic

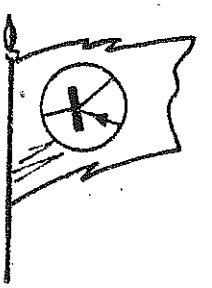
يزداد بمقدار صغير جدا ، وحاصل قيمة التزايدين ، تبلغ عدة ملايين من الاومات .

م ــ كم هو غريب ، هذا الترانزستور ، الــذي تكون مقاومة دخله منخفضة جدا ، ومقاومة خرجه عالية جدا . ويمكن أن نظن ، أن الترانزستور يتصرف على ذلك النحو ، خصوصا لمعاكسة الصمامات الالكترونية ، وانني لقد تنبأت بذلك .. لماذا ...؟ ان مقاومة الدخل قليلة ، لان التيار المار عبر وصلة الباعث ــ القاعدة يجري بالاتجاه المباشر ، بينما يمر التيار عبر وصلة القاعدة ــ المجمع ــ بالاتجاه العكسي ، أي أنه يجتاز مساره بصعوبة ، ولذلك تكون مقاومة خــــرج الترانزستور عالية الى هذا الحد .



192

ع ــ انه لتفكير سليم تماما ، ولكنني انا اخاف، أن يكون احتياطك من الفوسفور،قد اشرف على النهاية،وعندها تصبح مقاومة دخلك ، ضخمة للغاية .


193

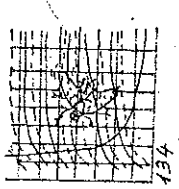
المناقشة السابعة

المنحنيات والمستقيمات :

ـ في المناقشة السابقة ، استعرض صديقانا العارف والمبتدىء ، الصفات والخواص الاساسية للترنزستورات ، وهذه الخواص ، يمكن أن يعبر عنها ، بقيم عددية للبارمترات المقابلة للاشارات الصغيرة ، أو بصورة أفضل ، على شكل مجموعات من المنحنيات ، تبين كيف أن بعض القيم ، تتغير تحت تأثير قيم أخرى . ان الطريقة التالية : تعطي نتائج أكثر شمولا ووضوحا ، عن خواص الترانزستورات ، مما تعطيه ، بارامترات الاشارات الصغيرة ، التـــي تعتبر صحيحة فقط ، بالنسبة لحالات محدودة ، مع العلم أنه يمكن أن نقول ، وبدون أي شك ، أن كل شيء في الترانزستور ، تابع لكافة العوامل . وفي هذه المناقشة ، يتمكن الصديقان أن يستخرجا ، مـــن مجموعة المنحنيات الممثلة لخواص الترانزستور ، معلومات قيمة ، عن العمل الفعلي للترانزستور ، كمضخم ذي مقاومـــة حمل معينة ، ويقوم الصديقان أيضا ، من خلال المناقشة بدراسة طرق تطبيق جهد الانحياز .

محتويات المناقشة : الخواص الستاتيكية والديناميكية للترانزستور ، رسم خط الحمل ، نقطة العمل ، تضخيم التيار ، الجهد والاستطاعة ، القيمة العظمى للمركبة المتناوبة للجهد أو للتيار ، منطقة الاشباع ، اختيار مقاومة الحمل ، الناقليـــة المتبادلة الديناميكية ، تطبيق جهد الانحياز .

الترانزستور ليس وحيدا في العالم :



م ـــ من نهاية المناقشة الاخيرة ، وحتى هذه اللحظة ، وهي تتابعني أوهام ضخمة ، من الرهبة والضياع في التفكير . واحلم في نومي ، انني ذبابة صغيرة ، وضعت في شبكة ضخمة ، من منحنيات خواص الترانزستور ، تشبه شبكة خيوط العنكبوت ، ويعتريني الان ، قلق وخوف ويأس وشعور بانه لاخلاص لي من هذه الازمة . انه لشيء مخيف ... اليس كذلك ..؟

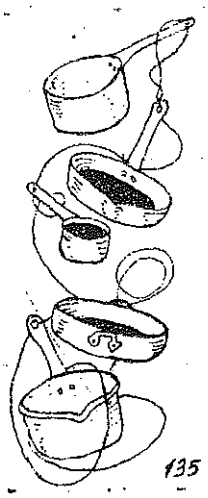
ع — انني منزعج للغاية ؛ كيف انه ، كما تقول ، قد تزعزع هدوءك وراحتك في الليالي الاخيرة على هذا النحو . اليس من الافضل ، ان تمتنع في المستقبل عن الحديث عن هذه المنحنيات المتوحشة .

م — بالعكس : اني اتمنى ، لو انك شرحت لي ، كيف يمكن استخدام هذه المنحنيات ، في الظروف الحقيقية لاستخدام الترنزستورت .

ع — ماذا تقصد بذلك . . . ؟

م — لقد حصلنا على هذه الخواص بتغيير الجهد Vc المطبق بين المجمع والباعث . ونفذنا ذلك ، بالنسبة لمختلف قيم تيار القاعدة Ib ، أو من اجل مختلف قيم جهد القاعدة وفي الواقع ، ان الترانزستور لا يعيش شاذ ، انانيا ، يغير جهوده او تيارته لارضاء رغباته الشخصية فقط . بل انه ملزم باعطاء الجهود او التيارات اللازمة لترانزستور آخر ، يعمل في مرحلة تالية . أما اذا كان موضوعا في المرحلة الاخيرة من دارة التضخيم ، فهو ملزم باعطاء الاستطاعة اللازمة الى السماعة (المجهار) . وعلى كل حال ، فان الترانزستور يجب أن يحتوي على مقاومة حمل RI في دارة مجمعه ، كما هو مبين في الشكل رقم 51 .

ع — ان هذا صحيح تماما ولكن ، ما الذي لم تفهمه بعد . . . ؟

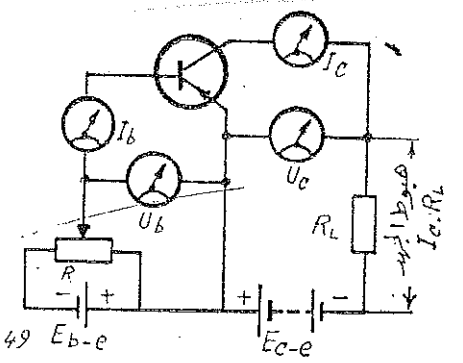


نعود مرة أخرى الى بطارية المطبخ :

م — ان ما يزال غامضا حتى الان ، هو ان الجهد على المجمع ، سيكون تابعا ، لقيمة تيار المجمع نفسه ، فيكون جهد المجمع Vc ، عمليا ، اقل من جهد البطارية Vc-e وذلك لانه يجب أن يطرح من هذا الجهد ، الجزء الذي يهبط على مقاومة لحمل RI ، بسبب مرور تيار المجمع فيها ، وتبعا لذلك ، اذا زدنا تيار القاعدة ، فهذا يؤدي بدوره الى تزايد تيار المجمع ، وعندها يزداد الجهد الهابط على مقاومة الحمل RI وينخفض بالتالي ، الجهد المتبقي على المجمع .

ع ــ ان مناقشتك صحيحة أيها المبتدىء ...! وانني قد فهمت ما الذي يقلقك بعد ...! ان مجموعة المنحنيات ، التي استخدمناها آنفا ، لم تراعي مطلقا ، هذه الظاهرة .

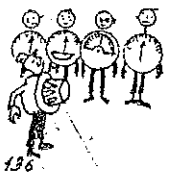
م ــ انني الان افكر اكثر فاكثر في بطارية مطبخنا التي جمعتها ذات مرة بربط كافة الطناجر والمقالي بخيط واحد . وهنا الاحظ انه بسبب وجود مقاومة الحمل RI ، فان كافة الجهود والتيارات مرتبطة مع بعضها ، ويكفي ان نحرك ذراع المقاومة المتغير R- (الشكل 49) لتتحرك أسهم اجهزة القياس الاربعة فجأة ، وبلحظة واحدة ،كالجنود الاشداء ، الذين يتحركون بأوامر ضابط حازم .



49

الشكل رقم 49 دارة كهربائية لاستخراج الخواص الديناميكية للترانزستور . وللحصول على هذه الدارة ، يكفي أن نضيف الى الدارة رقم 42 مقاومة الحمل RI ،الموصولة في دارة المجمع ، ابتداء من هذا الشكل ، سوف يشار الى الترانزستور على المخططات،بالرمز المتعارف عليه بشكل عـام .

مستقيم واحد ، بين المنحنيات :

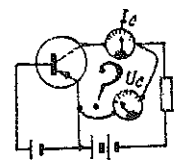


ع ــ سوف نحاول أن نرتب الامور كمايجب . لنأخذ ترانزستور منخفض الاستطاعة ، ولنفترض ان استطاعته تساوي 75 ميللي واط ، (انظر المنحنيات الممثلة لخواصه على الشكل رقم 50 ، حيث أن المنحنى المتقطع النقط ، يشر الى الاستطاعة الحدية لهذا الترانزستور ، والتي لا يجوز تجاوزها) . ولنفرض ان البطارية التي تغذي المجمع Vc - e ، تملك جهد قدره 9 v فولط ، ففي أية حالة نكتشف هذا الجهد على المجمع نفسه ...

م — في حالة انعدام هبوط الجهد على مقاومة الحمل Rl أي في حالة انعدام تيار المجمع Ic

ع — وعلى هذا الاساس نشير الى هذه الحالة في المخطط البياني بالنقطة A ؛ حيث يكون جهد المجمع Vc = 9v و تيار المجمع Ic=0a معدوم؛ وهذا يعني أن مقاومة الحمل Rl كبيرة للغاية ، أو دارة الحمل مقطوعة .

لنفرض الان ، ان مقاومة الحمل Rl = 275 om فهل تستطيع أن تحسب قيمة تيار المجمع Ic ،الذي يجب أن يمر ، عبر هذه المقاومة ، بحيث أن يهبط كل جهد البطارية عليها (ويكون جهد المجمع في هذه الحالة مساويا للصفر) .

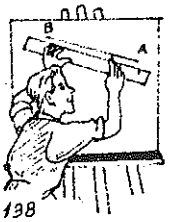


137

م — بدون أي شك ...! فباستخدام قانون أوم ، أستطيع أن أجد قيمة التيار Ic ، الذي يجب أن يمر في مقاومة قدرها Rl = 275 om حتى يظهر بين طرفيها ، جهد قدره 9 v فولط . وهذا يعني ، أن كامل جهد البطارية Ve-c يهبط على هذه المقاومة ،

$$Ic = \frac{Ve - c}{R L} = \frac{9}{275} = 0{,}0325 = 32{,}5 \text{ ma}$$

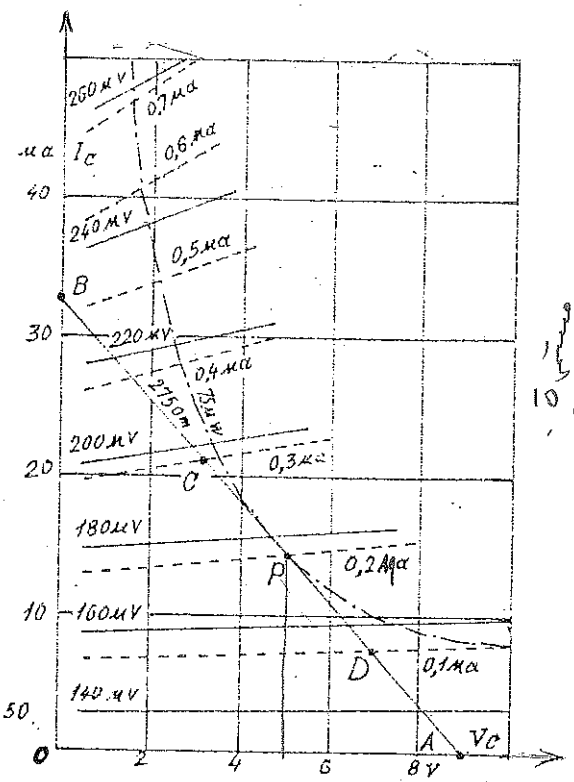
ع — ممتاز جدا ، ان هذا يسمح لنا بوضع النقطة الثانية B ، على المخطط ، حيث أن هذه النقطة تقابل الجهد Vc=0 والتيار Ic=32,5 ma ويبقى علينا الان فقط ، أن نأخذ مسطرة ، نصل بين النقطتين ، التي تم الحصول عليهما A و B ، بخط مستقيم جميل يسمى **بخط الحمل** ، وهو يقابل هنا ، مقاومة حمل قدرها 275 om .



138

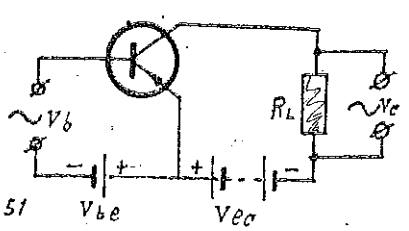
م — اذن نكون نحن،قد تقدمنا تقدما هائلا الى الامام...! غير انني لم أر مطلقا ، ما هي الفائدة،التي يعطينا اياها مستقيم الحمل هذا ، وانني لاتساءل ، مثلا : كيف أن تيار المجمع ، يمكن أن تصل قيمته 32,5 ma ميللي أمبير ، اذ كان الجهد المتبقي على المجمع في تلك اللحظة مساويا للصفر ...؟

ع — ان الضياع واختلاط الرؤية ، الذي عندك هذا ، ناتج عن عدم التمييز بين الخواص الستاتيكية والخواص



الشكل رقم 50 يمثل المنحنيات البيانية ، لخواص ترانزستور منخفض الاستطاعة ، وخط حمله

الديناميكية للترانزستور حيث أن الخواص الاولى ، تبين لنا كيف تتغير قيم التيارات والجهود ، لتي تهمنا ، في حال عدم وجود مقاومة حمل في دارة المجمع . وكنا قد استعرضنا مثل هذه الخواص ، خلال مناقشتنا السابقة ، اما الان فنحن نعمل على ايضاح ماذا يحدث ، عندماتكون مقاومة الحمل موجودة في دارة المجمع . وعندما يكون على مدخل الدارة ، اي بين القاعدة والباعث . (الشكل رقم 51) ، جهد دخل



الشكل رقم 51 دارة يستخدم فيها الترانزستور كمضخم ، ويطبق الجهد المتناوب Vb ، بين القاعدة والباعث . وفي المخرج ، على مقاومة الحمل بالذات ، نحصل على الجهد المتناوب — Vc .

139

متناوب Vb ، ففي هذه الحالة ، يمكن أن نتحدث عن الخواص الديناميكية للترانزستور ،ومستقيم حمل الترانزستور الذي يسمح لنا بتحديد تلك الخوص .

المركبتـــان :

م ــ أرى أن الجهد المتناوب ، المطبق علـــى مدخل الترانزستور Vb ، يولد جهدا متناوبا على خرجـــه أيضا ، Vc وهكذا فانني ، بدأت بمعرفة فحـــوى الامر . ان ما يحدث هنا، في دارة المجمع ، هو نفس ما يحدث في دارة مصعد الصمام الالكتروني . أي تتعايش في نفس الوقت ، تعايشا سليما ، مركبتان للتيار . هما :

اولا ــ توجد لدينا مركبة مستمرة للتيار ، وهي تســـاوي التيار المتوسط ، الذي يتحدد بنقطة عمل الترانزستور ، (وفي حالة الصمامات ، تتحدد هذه النقطة بجهد انحياز الشبكة) .

ثانيا ــ وتوجد ايضا المركبة المتناوبة ، التي تتحدد بتغير جهد الشبكة ،بالنسبة للمهبط حيث تجمع نوبات المركبة المتناوبة لجهد الدخل ، مع المركبة الثابتة ، اذا كانت لها نفس الاشارة ، وتطرح منها ، اذا كانت لها اشارة معاكسة .

ع ــ بدأ العمل يسير بشكل افضل ياعزيزي المبتدىء . . . وفعلا تجري في الترانزستور حوادث مشابهة تماما ، لما يجري هناك في الصمامات ، والبطاريتان Vc-e و Vb-e يحددان نقطة التشغيل ، ومن المفيد جدا ، تحديد تيار هـــذه النقطة ، بحيث تستطيع كلتا النوبتين ، الموجبة والسالبة ، لجهد الدخل المتناوب ، أحداث أكبر تغيير ممكن ، لجهد المجمع عن قيمته الوسطى .

م ــ في هذه الحالة ــ يجب علينا أن نشترط : أن يكون متوسط الجهد Vc على المجمـــع مساويا لنصف جهد البطارية التي تغذي المجمع نفسه ، Vc-e وفي الحالة المفترضة ، حيث أن جهد البطارية . يساوي ٧ 9 يكون الباقي على المجمع ، ٧ Vc=4,5 .

سميت بالقيمة المتوسطة لأنها بمنتصف مستقيم الحمولة.

ع ــ انني أضع النقطة P ، على خط الحمل ، في مكان يوافق قيمة الجهد Vc = 5 v وتعتبر هذه النقطة منتصف مستقيم الحمل تقريبا ، وانت ترى ، كيف انه يمكن اختيار قيمة الجهد Vc ، اكبر من نصف جهدالبطارية والان ، طالما ان تغيير جهد القاعدة ــ ~~المجمع~~ (أو تغيير تيار القاعدة المكافىء له) يحدد تغيير تيار المجمع Ic والجهد على المجمع Vc . فان هاتين القيمتين الاخيرتين ، تظلان بصورة دائمة مرتبطتين بالعلاقة التي تعبر عن مستقيم الحمل.

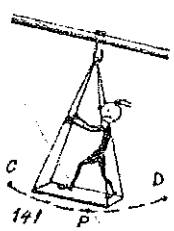
م ــ ان هذه المناقشة فلسفية اكثر من اللازم ، وانني افضل مثالا ملموسا ومحددا

الارجوحة :

ع ــ حسنا ــ افرض انك تطبق بين القاعدة والباعث، جهدا متناوبا ، باتساع يساوي حوالي 20 mV ميللي فولط تقريبا .. وهو يؤدي الى تغيير تيار القاعدة ، باتساع يساوي 0,1 ma ، في اتجاه التزايد واتجاه النقصان، عن القيمة المتوسطة للتيار التي تساوي 0,2 ma في النقطة P .

م ــ وبنتيجة ذلك يتغير تيار القاعدة ، بين القيمتين التاليتين 0,2 + 0,1 = 0,3 ma و 0,2 − 0,1 = 0,1 ma

ع ــ صحيح تماما ... والقيمة الاولى ، تقابل الوصول الى النقطة C ، على مستقيم الحمل ــ حيث يتقاطع هذا المستقيم مع منحنى تيار القاعدة ، ذي القيمة Ib = 0,3ma اما القيمة الثانية ، 0,1 ma فهي تقابل الوصول الى النقطة D (المكان الذي يتقاطع به مستقيم الحمل، مع منحنى تيار القاعدة ذي القيمة Ib = 0,1 ma



141

م ــ ان ذلك يعني ان القيم اللحظية لكل من : جهد المجمع Vc وتياره Ic تتأرجح بين النقطتين C و D على امتداد خط الحمل ، كما لو انهما يركبان أرجوحة تتحرك حول النقطة P .

ع ــ صحيح ...، وانت ترى ، كيف ان جهد المجمع،

يتأرجح حول النقطة P متحركا نحو كلا الجانبين الى القيمتين 3,2 v و 6,8 v فولط .

م — على هذا الاساس يكون اتساع التذبذب 1,8 فولط ، وذلك لان القيمة المتوسطة للجهد في النقطة P تساوي 5 فولط ،وهذا يجري عندما يكون اتساع تذبذب جهد القاعدة ، هو : 0,02 v = 20 mv فولط ، وهل يستنتج من ذلك ، أن نسبة تضخيم الجهد تبلغ حوالي 90 = 0,02 ÷ 1,8 مرة ...؟

ع — نعم ... ولكن،ما هي نسبة التضخيم بالتيار...؟

م — ان حساب هذه النسبة ، ليس بالصعب أبدا ... بين النقطتين C و P من جهد ، اولنقطتين P و D من جهة ثانية ، يبلغ تغيير تيار المجمع 7 ma وهذا ينشأ عن تغيير بتيار القاعدة قدره 0,1ma وتبعالذلك ، فان قيمة تضخيم التيار تبلغ ، 70 = 0,1 ÷ 7 مرة.

ع — انني بدأت أعتقد ، بأنك هرولت مسرعا ، بالتأكيد، الى أقرب مخزن للسمك ، وشحنت دماغك بشحنة كافية من الفسفور المشع للذكاء ، وانت الان قادر على أن تستوعب أن الاستطاعة ، التي هي عبارة عن جداء الجهد بالتيار ، قد تم تكبيرها أيضا .

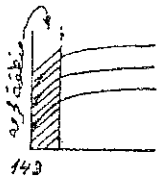
م — وبنسبة تساوي : 6300 = 70 × 90 مرة

احذر التشويه :

ع — ان هذه القيمة طبيعية جدا ، ولكنني أود أن أوضح لك ، أن اتساع الجهد المتناوب على المجمع ،يجب الا يزيد عن 4,5 فولط وفي هذه الحالة ، تتغير قيمة جهد المجمع Vc وتيار المجمع Ic ، بحيث تتحرك النقطة المقابلة لهما ، على طول خط الحمل ، اي من النقطة A وحتى النقطة B . وبالفعل اذا افترضنا أن نقطة العمل، واقعة على منتصف الخط A – B تماما ، فاننا نرى ، أن احدى نوبتي التذبذب ، تصل الى أحد طرفي الخط ، والنوبة الاخرى ، تصل الى الطرف الاخر .

م ــ ويمكن أن نوجز القول ، بجملة واحدة ... انطرفي خط الحمل ، يقابلان اقصى وادنى قيمة لجهد المجمع Vc أليس كذلك ...؟

ع ــ نعم ..، ولكن يجب الا تدع هذا الجهد ، يهبط حتى الصفر (النقطة B من خط الحمل) وذلك لان المنحنى الممثل للخواص ، لايبقى في تلك المنطقة مستقيما ، وانت رايت ذلك ، على الشكل رقم 46 ورأيته كذلك بوضوح أكثر على الشكل رقم 48 ، حيث أن كافة المنحنيات ، تنعطف فجأة ، وبسرعة ، عندما تكون قيمة جهد المجمع Vc صغيرة ، ولهذا السبب ، تبقى منطقة يبلغ عرضها ، حوالي **عدة أجزاء عشرية من الفولط** ، فارغة لا يسمح بالعمل ضمنها، تفاديا **للتشويهات** التي تحدث للاشارة ضمنها ، وتسمى هذه المنطقة ، **بمنطقة الاشباع** .



م ــ وانطلاقا من ذلك ... الا يعتبر من المفيد ، أو نزيح نقطة التشغيل P من منتصف الخط B–A قليلا باتجاه الاعلى ...؟

ع ــ طبعا ... طبعا ، سيما وان كنا نسعى للحصول على نسبة تضخيم أكبر ، مع أقل قدر من التشويه ، ولهذا السبب بالذات ، سبق وأن اخذنا نقطة العمل ، عند جهد قيمته ، 5 فولط (1)

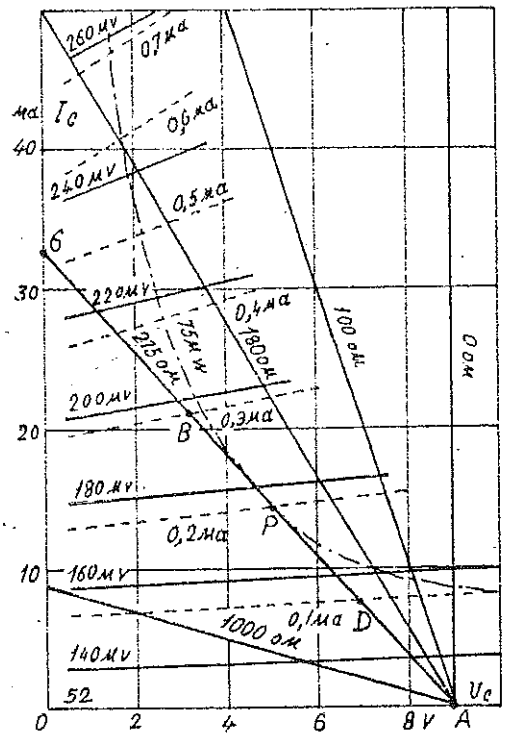
م ــ يبدو لي أيضا ياعزيزي ، أن اختيارك للمقاومة 275 اوم ، بصفة مقاومةحمل ، ليس من قبيل الصدفة ، والا ، ما كان يضيرك ، أن تكون مقاومة الحمل ذات قيمة أخرى ...؟

---

(1) ان العارف يتفطرس ، بعض الشيء أحيانا .. فان اختياره للنقطة P ، عند قيمة الجهد v 5 فولط يفسر على الاغلب ، بانه أراد ذلك ، كي تنطبق هذه النقطة ، على منحنى الخواص الذي يقابله ، مع تيار قاعدة قدره ، Ib=0,2 ma مما سهل له العمليات الحسابية اللازمة لتحديد مختلف قيم التيارات والجهود .

باقة من المستقيمات :

ع — لنتأمل عدة مستقيمات تقابل مستقيمات حمل مختلفة، اكبر من القيمة السابقة واصغر منها . (شكل رقم 52). فعندما تكون مقاومة الحمل 1000 om أوم تكون الاستطاعة المفيدة اقل ، وذلك لان اتساع التغيرات الممكن



الشكل رقم 52 يبين خطوط الحمل ، بالنسبة لمختلف قيم المقاومة RI وكلما كانت قيمة المقاومة أقل ، كلما كان ميل الخط أكبر ، وعندما تكون قيمة المقاومة RI=O ، يرتفع خط الحمل ويصبح شاقوليا .

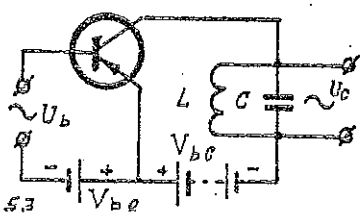
سواء كان لتيار المدخل ، أو لتيار المخرج . (تيار المجمع) ، يكون أقل . وفي حالة الاحمال ، التي تقل عن الـ 275 om أوم تزيد قيمة الاتساعات والاستطاعة . ولكننا باستخدام مثل هذه الاحمال ، نقع في المنطقة الممنوعة الدخول ، والتي تكون فيها قيمة الاستطاعة اكبر من 350 mw ميلليواط.

م — اذن لهذا السبب ايها الشيطان ...! اخذت تلك القيمة ، 275 om أوم ، كمقاومة حمل ، كي تحصل على

خط حمل ، يكون مماسا للمنحنى القطعي،الذي يمثل الاستطاعة الحدية المسموح بها . . . ! دقيقة واحدة من فضلك ، انني أرى ايضا ، انك رسمت خط الحمل الموافق للمقاومة RI = 0 om

ع ــ نعم ياصديقي المبتدىء ، انه عبارة عن خط شاتولى تماما ، وهو يعتبر بين خطوط الحمل المبينة اعلاه ، على الشكل رقم 52 ، الخط الوحيد الذي يمثل نظام العمل الستاتيكي للترانزستور ، ومارأيك يا ترى ، الايبقى الجهد على المجمع ثابتا ، بدون اي تغير ، في حال عدم وجود مقاومة حمل . . . ؟

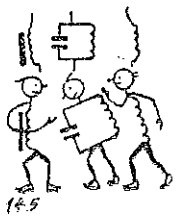
م ــ هذا واضح جدا . ولكن ، الم ندرس معا . في وقت مضى ، الحالات التي لا يكون فيها الحمل عبارة عن مقاومة بسيطة . . .؟ ، انني لا ازال أتذكر ، تلك المجموعة الظريفة من الممانعات ، ودارات الطنين ، التي تعرفنا عليها آنذاك ، (الشكل رقم 53) .



الشكل رقم 53 يبين كيف انه يمكن ان نستخدم بصفة حمل ، في دارة الترانزستور ليس المقاومة الاومية فقط ، بل يمكن أن يستخدم ايضا،دارة طنين مكونة من ، L C وتكون دارة الطنين هذه،مولفة على تردد المدخل

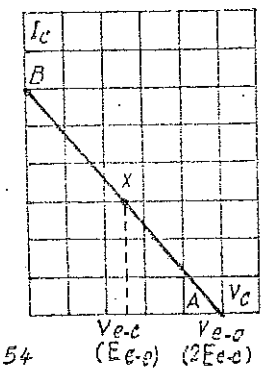
ع ــ حسنا فعلت ياعزيزي ، بتذكيري بتلك الممانعات والدارات ، وفي حال كون الحمل عبارة عن ملف أو دارة طنين، تحوي على ملف ، (كما في الشكل رقم 53) ، يعتبر عند حساب مثل تلك الدارات ، ان مقاومة الملف ، للتيار المستمر مهملة القيمة .. وعندئذتنطبق نقطة العمل مع جهد منبع التغذية Vc - b ، وفي هذه الحالة ، يمكن أن نجعل اتساع الجهد المتناوب ، الناتج على ممانعة الحمل ، مساويا تقريبا لجهد التغذية ، Vc - e بدون أن تتعرض لخطر تغيير قطبية جهد المجمع ، ويمكن أن تلاحظ هنا ، أن النقطة A (التي تقابل ، في حالة خط الحمل العادي ، نقطة تقاطع هذاالخط ،

مع المحور الافقي ، الممثل لجهد المجمع Uc) ، يمكن أن يقابل عندئذ ، ضعف جهد التغذية Vc-e واذا كان هذا الجهد 9 v فولط فان النقطة A تقابل 18 v .

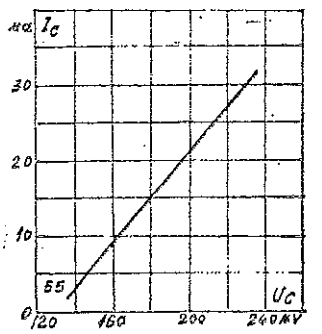


م ــ يجب أن نقول ، في نتيجة دراسة خطوط الحمل انه لكي نرسم خط الحمل ، يجب أن نضع النقطة A على محور الجهد وعلى بعد قدره Vc-e ، اذا كانت دارة المجمع ، تتضمن أومية ، بصفة حمل Rl أو على بعد يساوي 2 V c - e اذا كـــان الحمل .

عبارة عن دارة طنين ، مؤلفة من مكثف وملف ، أو ملفين يعملان كمحول ، وعندئذ تكون مقاومة الحمل، للتيار المستمر ، صغيرة جدا . أما الطرف الاخر لخط الحمج ، اي النقطة B فتتوضع على المحور الشاقولي وعلى بعد قدره ، Vc-e / Rl أو Vc-e / Reg ، حيث هنا Reg المقاومة المكافئة للحمل ، بالنسبة للتيار المتناوب ، الجازي تكبيره ، وذلك في حالة دارة الرنين (أو المحول) ، تبعا لطبيعة العل (كما هومبين على الشكل 54)



54

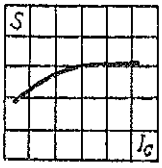


الشكل رقم 54 القاعدة العامة لانشاء خطوط الحمل ، القيـــم الموضوعة ضمن قوسين تشير الى القيم التي تاخذها النقطة A ، في الحالات التي تكون فيها مقاومة الدارة ، بالنسبة للتيار المتناوب ، Rl . اكبر بكثير من المقاومة المكافئة للدارة بكاملها Reg بالنسبة للتيار المتناوب

الشكل رقم 55 ان هذا الخط البياني يبين تبعية تيار المجمع Ic ، الجهد القاعدة Vb ، عند وجود مقاومة حمل .
انشيء على أساس منحنيات الخواص ، وخط الحمل ، ماخوذة مـــن الشكل رقـــم 50

ع ــ انك لقد وضعت القاعدة اللازمة لانشاء خط الحمل

بدقة رائعة ، وآمل ان تستطيع ، انت بنفسك ايضا ، بدون اية صعوبات تذكر ، ان تنشىء خطوط الحمل اللازمة ، وباستخدام هذه الخطوط ، تستطيع الحصول على معلومات قيمة .. فعلى سبيل المثال : تجد انه لا يوجد اسهل ، من رسم المنحنى البياني ، الممثل لتغيرات تيار المجمع Ic ، تبعا لتغيرات جهد القاعدة Ub استنادا الى المعلومات الموجودةلديك. ومن اجل ذلك ، يكفي ان نستخرج كافة القيم ، التي يأخذها تيار المجمع Ic في كافة النقاط ، التي يتقاطع بهاخط الحمل ، مع المنحنيات الممثلة لمختلف قيم جهد القاعدة ، Ub بدلالة خط الحمل نفسه .



146

وبنقل هذه المعلومات ، على خط بياني آخر ، فانك تحصل في هذه الحالة ، على خط بياني مستقيم جديد ، كما هو مبين (في الشكل رقم 55) ، ونستنتج من هذا الشكل ، ان الناقلية المتبادلة لا تتغير كثيرا ، عند تغير تيار المجمع ، في حدود واسعة،وهذا يعني ان خاصة التضخيملدى الترانزستور، تكون ذات طابع خطي ، لدرجة كافية .

م ــ انني الاحظ ، ان الناقلية المتبادلة ، في الحالة الحاضرة ، تساوي 300 ma / v ميللي امبير / فولط .

ع ــ نعم ، هذه هي الناقلية المتبادلة الديناميكية وبمثل هذه السهولة ، تستطيع ان ترسم المخطط البياني ، الذي يريك تغير تيار المجمع Ic ، تبعا لتغير تيار القاعدة Ib

بطارية واحدة لكافة الجهود :

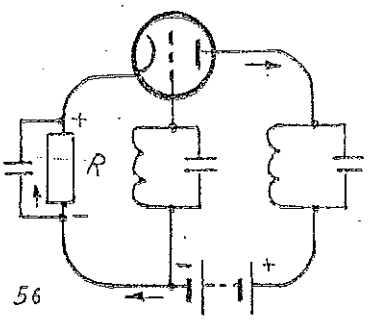
147

م ــ طبعا ولكنني الان اصارع الاقدار كعصفور داخل قفص يحاول الخروج منه . انني احاول الخلاص من شبكات الخواص التي اجبرتني فعلا ، ان اعود الى القلق والتفكير ورؤية الاحلام المزعجة ، وهناك سؤال يحاول ان ينطلق من لساني ، منذ زمن بعيد وهو : .. انك تبين ، على كافة مخططاتك ، التي رسمتها حتى الان ، زوج من البطاريات : البطارية Ve – c التي تعطي الجهد الى المجمع ، ولبطارية Ve – b التي تعتبر كمنبع ، للجهد اللازم

لانحياز القاعدة ، في حين : انني فتحت كافة اجهزة الاستقبال اللاسلكي الترانزستورية ، الموجودة لدى اصدقائي ،وتأكدت من ان كل منهما يحتوي على بطارية واحدة فقط.ومن الواضح جدا ، انهذه البطارية ، تستخدم لتغذية المجمع . فمن أيـــن يأتي جهد انحياز القاعدة ....؟

ع ــ من نفس البطارية ، وقد صادفت انت من قبل مثل هذه الحالة ، في الدارات الصمامية ، اليس كذلك ...؟

م ــ نعم ، بالفعل ، يتم الحصول على جهد انحيـــــاز الشبكة ، من نفس جهد تغذية المصعد ، حيث ان تيار الصمام المـــار عبـــر المقاومـــــة R (انظـــر الشكل رقم 56) ،

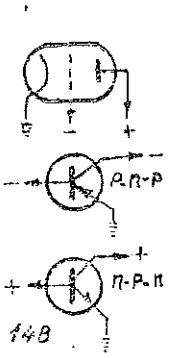


الشكل رقم 56 كيفية الحصول على جهد الانحياز ، في الدارة الصمامية ، باستخدام هبوط الجهد ، على المقاومة R1 ، التـــي توصل بدارة المهبط ، لهذه الغايـــة .

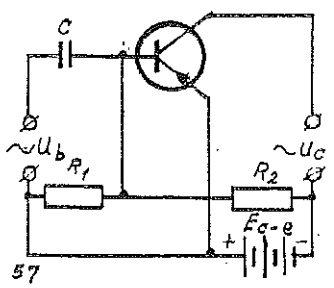
يسبب هبوط جهد عليها وبما أن هذه المقاومة موصولة في المهبط ، فبتأثير الجهد المتشكل عليها يصبح المهبط موجبا ، بالنسبة للشبكة ، اي بعبارة اخرى ، تصبح الشبكة سالبة بالنسبة للمهبـــط . وهـــل تستخـــدم الطريقة نفسهـــا ، في الدارات الترانزستورية ، بحيث يستفاد من هبوط الجهد على ، مقاومة تتوضع على طريق تيار باعث الترانزستور .

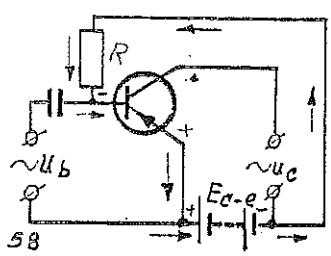
ع ــ كلا ياعزيزي المبتدىء . فمن هذه الناحية ، يكون العمل مع الترانزستور،أسهل بكثير مما هو مع الصمامات.ففي حالة الصمامات يجب أن يكون المصعد موجبا،والشبكةسالبة، بالنسبة للمهبط ، بينما في حالة الترانزستورات ، من النموذج P.N.P. فالمجمع والقاعدة ، يجب أن يكونا سالبين ، بالنسبة للباعث .

م ــ وهكذا ايضا في الترانزستورات من النموذج n. p. n. ، يجب أن يكون المجمع والقاعدة موجبين ، بالنسبة للباعث واني لقد فهمت المطلوب : فلكي تحصل القاعدة ، على الجهد اللازم لتغذيتها ، يكفي أن نستخدم مقسم جهد ، يتكون من مقاومتين موصولتين مع منبع الجهد ، الذي تتغذى منه دارة المجمع ــ الباعث ، كما هو مبين على الشكل رقم 57 .



ع ــ هذا صحيح ياصديقي ، ولكن كي يوصل الجهد المتناوب ، الى القاعدة ، (جهد الدخل) وكذلك من اجل منع تفرع التيار المستمر ، الوارد الى القاعدة في الدارات الاسبق ، يستخدم عادة ، مكثف المنع C . ويمكن ايضا أن توفر جهد الانحياز ، اللازم الى القاعدة ، بطريقة ابسط . وهي طريقة استخدام مقاومة واحدة R ، انظر الشكل رقم 58) توصل الى نفس قطب البطارية V. e. c. ، الذي يوصل اليه المجمع أيضا .





الشكل رقم 57 يبين كيفية الحصول ، على جهد انحياز القاعدة، بواسطة مقسم جهد مكون من مقاومتين .

الشكل رقم 58 في كثير من الحالات ، يتم الحصول على جهد الانحياز ، بواسطة المقاومة R الموصولة على التسلسل ، مع ممر القاعدة ــ الباعث .

م ــ انني الاحظ ماذا يجري في هذه الحالة ، ــ انك تمرر عبر المقاومة R ، نفس التيار المار من القاعدة ــ الى الباعث

ع ــ ان هذا التيار يسمي بتيار الانحياز . سيما ، وانه يحدد وضع نقطة العمل ، على خط الحمل ــ وهكذا ، فان النقطة P ، المبنية على الشكل رقم 50 ، يلزمها تيار قدره 0,2 ma او 0,000 2a ، أمبير ، ولنفرض أن جهد البطارية هو ، 9 v فولط ، وان المقاومة الصغيرة لوصلة الباعث ــ القاعدة يمكن

اهمالها (انك تتذكر ، ان مقاومة الوصلة P – N ، بالاتجاه الناقل تكون صغيرة جدا .) فهل يمكنك أن تحسب قيمة المقاومة اللازمة R ... ؟

م ــ اذا كنا نثق **بقانون أوم بشهير** ، . فيمكننا الحصول على قيمة المقاومة R ، بتقسيم الجهد 9v فولط على التيار الذي وجدنا قيمته قبل قليل ، وهي 0,000 2a ؛ فناتج القسمة هذه ، يساوي 45000 om ؛ أو 45Kom كيلو أوم .

ع ــ الم اقل لك أن الموضوع سهل جدا ... فكما ترى بام عينك ... ، ان كافة حساباتنا لا تتعدى بصعوبتها،عمليات الضرب والتقسيم البسيطة .

م ــ ولكن ، على الرغم من ذلك انني أشعر براسي يدور بتاثير المنحنيات والمستقيمات وذلك الخليط العشوائي،من القيم الكهربائية ، ولكنني آمل ، أن كل شيء سيصبح على ما يرام قبيل محادثتنا القادمة .

المحادثة الثامنـــة

الضرب على الاسفين بالاسفين :

في الدارات التي تعمل على الصمامات الالكترونيـــة ، كثيرا ما نلجا الى استخدام التغذية الخلفية،بقصد التخفيض من تشويه شكل الاشارة ، واضعاف تاثير تغيرات جهـــد التغذية . وفي الدارات الترانزستورية ، يمكن ان تعطـــي التغذية الخلفية ، نفس الفوائد ايضا . كما انها يمكن ان تخفف ايضا ، بدرجة معينة ، من تغيرات درجة الحرارة ، التي تعتبر انصاف النواقل ، حساسة جدا بالنسبة لها .

من خلال دراسة مختلف حالات استخدام التغذيـــة الخلفية ، يستنتج صديقانا ، ان الترانزستور ، بتكوينـــه الطبيعي ، يملك مقومات تغذية خلفية داخلية معينة . وهذا يبرهن اكثر من اي شيء آخر ، على ان : كل قيمة او عامل في الترانزستور تتبع القيم والعوامل الاخرى .

محتويات المحادثة:ميزات الدارات ذات التغذية الخلفية. التيار والجهد . الدارات الصمامية والترانزستورية . تاثير التغذية الخلفية علـــى مقاومة الدخـــل ومقاومة الخرج . تشويهات الصفحة (او الطور) التي يسببها الترانزستور. التغذية الخلفية الداخلية . ظهور التشويه عند ارتفاع درجة الحرارة والعمل على تخفيفه بواسطة التغذيـــة الخلفيـــة ، واستخدام المقاومات الحرارية التيرموستورات .

الحقيقة تعلو على التكهنات :

ع ــ ماذا ارى هنا يا صديقي المبتدىء ...! انك تحرق كومة كبيرة من الكتب.ماذا يعني هذا الحريق الذي تقوم به..؟

م ــ انني اقدم مكتبتي طعاما للنار ، بكل ما تحويه مـــن كتب ومراجع علمية ــ خيالية . لماذا احافظ على هذه الروايات الخيالية ، التي تتحدث عن المستقبل ، اذا كانت الحقائق ، تفوق كثيرا ، تصورات وخيال كتاب تلك الروايات ...؟ وفي هذا الصدد اردت ان اسالك ، بعض الاسئلة . تتعلق بتلك

الكواكب الكروية الكثيرة ، التي يجب عليهـــا ان تدور حول الارض ، وعلى ارتفاع 35000 Km كم عنها ، لكي تتم دورة واحدة كل 24 ساعة . وبنتيجة ذلك ، تبدو وكأنها تبقى ثابتة ، فوق نقطة واحدة مـــن سطـــح الارض ، بصورة دائمـــة .

ع ـــ انك تعلم جيدا ، أن هذه الاقمار الصناعية ، التي تتحدث عنها ، تسمح باقامة الاتصال على مسافات بعيدة ، وذلك لان الامواج اللاسلكية ، تنعكس على غلافها المعدني (أو المغطى بطبقة معدنية) . وبواسطة تلك الاقمار الصناعية، يمكن تحقيق تبادل البرامج التلفزيونية ، على مسافات بعيدة جـــدا .

م ـــ انني أعرف ذلك جيدا ، ولكن ، في معرض الحديث عن الاقمار الصناعية ، أود أن أعرف،لماذا يتم نفخ تلك الكرات (الاقمار الصناعية)، بعد أن تصل الى مدارها في الفضاء ، وهذا أعقد ، على ما أظن ، من نفخها على الارض ...؟

ع ـــ ماذا تقول ... أيها المبتدىء ...؟ الا تدرك ، أن مثل هذه الكرات ، بعد نفخها على الارض ، لا تستطيع مطلقا، أن تخترق الجو الى الفضاء الخارجي ، بسرعة ثمان كيلو متر في الثانية ، وعلى العكس ، لا يوجد اي شيء ، يمكن أن يعرقل حركة تلـــك الكرات في الخلاء ، الذي يسود علـــى ارتفاع مدارهـــا ...؟

م ـــ انني أعترف بالخطأ ، واشعر بالخجل ، لانني لم أفكر بذلك من قبل . ورغم ذلك انني أعرف منذ زمن ، ذلك القانون القديم ، للعالم الشهير ، **نيوتن** الذي ينص على أن كل فعل ، يقابله رد فعل ، يساويه بالقيمة ، ويعاكسه بالاتجاه، ومن الواضح ، أن رد الفعل هذا هو نفسه الـــذي سبق أن درسناها في فن الراديو باسم **التغذية الخلفية** .

مواضيع التصحيح :

ع ـــ ان الامر ليس هكذا تماما يا صديقي العزيز ،... طبعا ، التغذية الخلفية هي عبارة عن فعل يتجه نحو الخلف،

152

باتجاه معاكس ، للفعل الاصلي ، ولكن يجب الا ننسى أن التغذية الخلفية ، بالشكل الذي نعرفه ، تتحقق عن طريق ، أخذ جزء من الطاقة ، من مخرج المضخم ، واضافتا الى الجهد الوارد في مدخل المضخم نفسه ، وتبعا لذلك ...

153

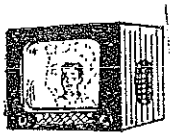
م ــ فان هذا يكون ، عبارة عن ضربة خلفية من الخلف ...و...و ..وهذا يشبه الى حد ما ، ما يحدث معي ، عندما أرتكب بعض الاخطاء الغبية ، فبقصد تصحيح هـــذه الاخطاء ، أحاول أن أضرب نفسي برجلي على مؤخرتي عدة ضربـــات .

ع ــ عظيم .. عظيم جدا . ان كلمة تصحيح جاءت في مكانها تماما ، في هذه الحالة ، بالفعل ، اسمح لي أن اذكرك ، ان التغذية الخلفية تعتبر وسيلة من نوع خاص ، لتخفيف كافة المصائب . فهي تقلص كافة أنواع التشوهات : التشوهات الترددية واللاخطية وأخيرا التشوهات الطورية .

م ــ نعم ، ان ذلك يعود الى ذاكرتي . فكل التشويهات الانفة الذكر ، تقل كثيرا بفضل الجهد ، الذي يؤخذ من مخرج المضخم ويضاف الى مدخله ثانية ، **بطور معاكس لطور جهد الدخل الاصلي** وهو يتضمن كافة أنواع التشويه ، التي يعطيها المضخم ، ولكن بطور معاكس لطور الجهد المسبب للتشويه ، وبنتيجة ذلك ، يتم الغاء تشويهات جهد الخرج ، الى درجة معينـــة .

ع ــ برافو ... أيها المبتدىء ... برافو ...! انـــك لم تنس شيئا مما سبق شرحه ، وهل تعرف ، ان التغذية الخلفية ، بالاضافة الى ذلك ، تخفف من التشوهات التي يمكن أن تنشأ بنتيجة عدم ثبات جهد التغذية ، ... ؟

م ــ ان هذه ميزة قيمة جدا ، ولذا يبدو انه من الواجب علي ، أن أضيف دارة تغذية خلفية ، الى كافة مراحل جهاز التلفزيون ، الموجود في بيتنا الصغير ، الواقع بضاحية المدينة ، اذ ان جهد التغذية هناك ، كثيرا ما يكون قليل الثبات بحيث ان الصورة على الشاشة ، تتغير مشوهة بشكل غريب ...!



فتارة تبدو عاتمة جدا ، وتارة تكون ناصعة بشدة ، كما ان مقاييس الصورة ، تتغير أيضا بنفس الوتيرة ؛ وكثيرا ما أرى، أن وجوه الممثلين على الشاشة ، أحيانا تتمدد وأحيانا تتقلص وتضيق انه حادث مسل جدا .

ع — في مثل هذه الحالات ، تكون التغذية الخلفية، الوسيلة الوحيدة ، للتخلص من التشويه ؛ وذلك لان كافة التشوهات التي تظهر على مخرج كل من مراحل التضخيم ، تصحح ، عن طريق اعادة جزء من الاشارة المشوهة ، بعد تضخيمها ؛ الى مدخل المرحلة نفسها الا انه في حالة كحالتك هذه ، يستحسن أن يوضع ، بين مأخذ جهد التغذية ، وجهاز التلفزيون ، منظم جهد مناسب ...

م — ولماذا ...؟ فالتغذية الخلفية ، تتميز بخواص ايجابية فقط ...؟

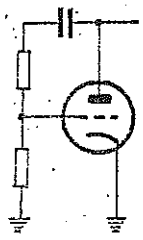
عودة الى الصمامات الالكترونية :

ع — انك لا تزال فتيا جدا ياعزيزي ، ولا تعرف كم يكلفك من النقود ، استعمال التغذية-الخلفية في كافة المراحل . صحيح أن هذه التغذية ، تخفف الكثير من التشويهات،ولكنها بنفس الوقت تخفض من قيمة تضخيم المضخم ، ولذلك لايكون استخدام ، التغذية الخلفية ممكنا الا في الحالات التي يوجد فيها احتياط كبير من التضخيم ، ولكن على كل حال ، طالما اننا نتحدث الان ، عن ذلك ، فهل تستطيع ياعزيزي المبتدىء ، ان ترسم الدارات الاساسية ، للتغذية الخلفية ، المستخدمة في المضخمات الصمامية ..؟

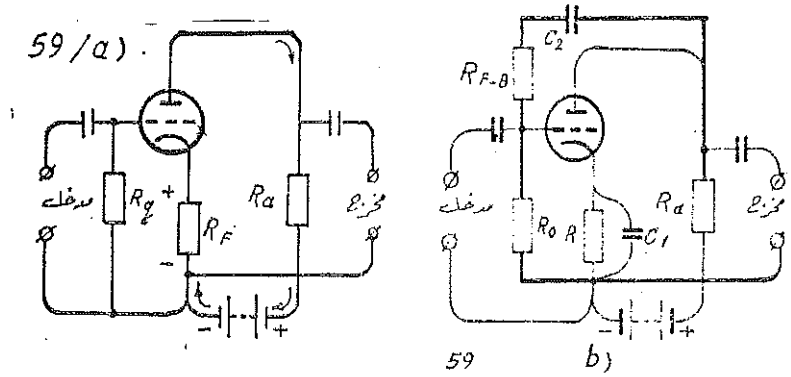
م — يمكن أن نحصل على تغذية خلفية مثلا : بتوصيل مقاومة R_F بين المهبط والقطب السالب لمنبع جهد المصفد بدون مكثف تمرير . (كما هو مبين على الشكل رقم 59 a) . باستثناء هذه القطعة ، فان الدارة تنطبق تماما مع الدارة الذي رسمتها في المرة السابقة ، والتي يؤخذ فيها جهد انحياز الشبكة عن طريق مقاومة ، توصل في دارة المهبط، (أنظر الشكل رقم 56) ، ولكن بتأثير هذه القطعة

الصغيرة ، تتغير كافة القيم ، ففي هذه الحالة : اذا كانت الاشارة ، التي يجري تضخيمها ، تجعل الشبكة اكثر ايجابية ، يتزايد تيار المصعد ، ويمرر هذا التيار ، عبر المقاومة Rf فتزداد قيمة الجهد الهابط عليها ، وهذا بدوره ، يجعل الشبكة اكثر سالبية ، وعلى هذا الاساس ، يحاول تيار المصعد ، أن يعطي تأثيرا معاكسا للاشارة الاصلية .

ع — جميل جدا ياصديقي المبتدىء انك بدأت تتفهم الامور بوضوح مثل عمنا **راديول** الذي غرس في رأسي ، المبادىء الاولية ، **لفن الراديو** ... ان دارتك التي تحدثت عنها آنفا ، تشكل تغذية خلفية ، تحت تأثير تيار المصعد . وهذا النوع من التغذية يسمى **بالتغذية الخلفية التسلسلية (على التسلسل)** او **التغذية الخلفية للتيار** .



م — حسنا ، اذا كان الامر هكذا ، فان التغذية الخلفية ، على التفرع أو التغذية الخلفية للجهد ، يمكن الحصول عليها ، بواسطة دارتي الثانية ، (المبينة على الشكل رقم 59 b)



الشكل رقم 59 دارة التغذية الخلفية في مرحلة التضخيم .

A دارة التغذية الخلفية بالتيار ، (الاصطلاح عام بالنسبة لدارة الشبكة المصعد حيث يرمز الى المقاومة التي يتشكل عليها جهد التغذية الخلفية بالرمز Rf)

B دارة التغذية الخلفية للجهد ، (يتم الحصول عليها ، باعطاء جزء من الجهد المتناوب ، الهابط على مقاومة الحمل ، في المصعد R_a الى الشبكة ، بواسطة مقسم الجهود المكون من المقاومتين ، R_g و R_f عبر المكثف C_2)

حيث ادخل هنا ، على الشبكة ، الجهد المتناوب المتشكل على

مقاومة الخرج (الحمل) Ra ، وانني أحقق ذلك ، بواسطة المقاومة Rf ، وكمايتضح لك ، انني افصل الجهد المستمر ، عن الجهد المتناوب بواسطة المكثف C_2

ع — هذا صحيح ... ولكن هل تعطي الى الشبكة ، كامل الجهد الخرج ...؟

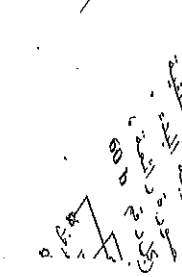
م — : أو..لا..!،لانني لو فعلت..،لكان ذلك،أكثر بكثير من الكمية اللازمة... ان المقاومتين Rf و Rg ، تشكلان مقسم جهد ، يسمح باعطاء الشبكة ، فقط الجهد المتبقي على المقاومة Rg ، وهو عبارة عن جزء من جهد الخرج فقط. وذلك لان قيمة المقاومة Rf ؛ تختار هكذا ، بحيث أن تكون، اكبر من المقاومة Rg بكثير . وبذلك تحصل الشبكة على جزء بسيط فقط من جهد الخرج .

الانتقال الى الترانزستور :

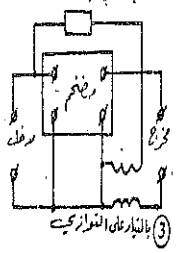
ع — انك بهذا الشرح الرائع ، سهلت لي كثيرا شرح الموضوع ، الذي كنت انوي أن احدثك عنه ، وهو موضوع التغذية الخلفية ، في الدارات الترانزستورية ، حيث يمكن أن تستخدم ، التغذية الخلفية للتيار والجهد في هذه الدارات أيضا . (الشكل رقم 60) ويمكن أن تؤمن التغذية الخلفية ، على مدخل المكبر المصمم على التسلسل أو على التفرع . (1)

م — اسمح لي يا صديقي ، أن اتمعن في هذا الموضوع ، بنفسي جيدا . ففي دارتك الاولى (الشكل رقم 60 a) يبدو ان ، المقاومة Rf ، مشتركة بين كل من دارتي القاعدة والمجمع ، كما هو الحال في دارتي الصمامية ، المبينة

عمليا نتميز أربع أنواع من التغذية الخلفية وهي هنا مبنية بمخططات مبسطة نرى فيها أن التغذية الخلفية يمكن أن تطبق على مدخل المضخم ، على التسلسل أو على التوازي مع الاشارة الاصلية الواردة الى مدخل المضخم . ويمكن أن نحصل على التغذية الخلفية من تيار الخرج (التغذية الخلفية بالتيار) أو من جهد الخرج الذي يشكله هذا التيار على حمل الخرج (التغذية الخلفية بالجهد) .



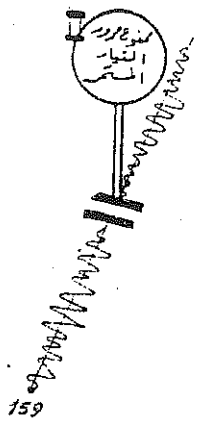
تغذية خلفية بالتيار على التفرع



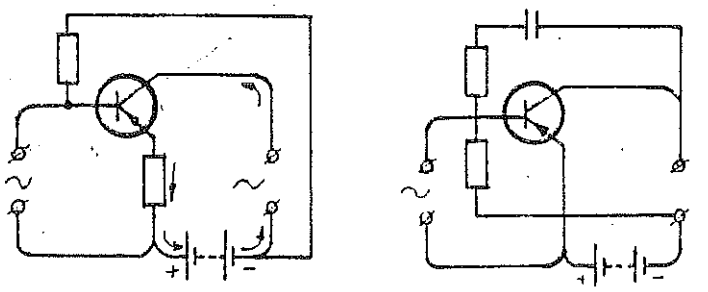
③ بالتيار على التوازي

تغذية خلفية بالتيار على التفرع

حيان ، في اغلب الاحيان ، في المضخم وحيد
2 - 3 فعالية ما يصادفان ، في المضخمات
التغذية الخلفية ، مرحلتين او ثلاثة مما



م ــ هنا ك ايضا ، دلائل تشابه ، تبدو واضحة للعيان، بين الدارة رقم 59 b) ، والدارة المبينة على الشكل (رقم 59 b) ، وانك هنا ، تستخدم مقاومة انحياز القاعدة R b ، بمهارة تامة ، وذلك كي تشكل ، مع المقاومة R f ، مقسم جهد لاعطاء جزء من جهد الخرج ، الى مدخل المرحلة . وهنا يطبق جزء من جهد الخرج Vc ، بين القاعدة والمجمع ومن المعروف طبعا ، أنه يطبق بطور يعاكس طور جهد الاشارة الاساسية . وعدا عن ذلك ، فان المكثف C ، يمرر الجهد المتناوب ، بكل حرية ، في حين أنه ، يفصل الجهد المستمر ويمنعه من المرور ، مما يجعل الجهد المستمر ، المطبق على القاعدة ، غير تابع للمقاومة R f .

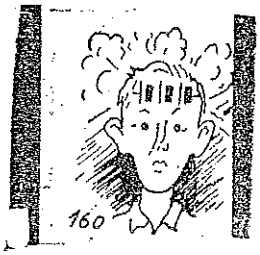


الشكل رقم 60 استخدام طريقتين ، للحصول على التغذية الخلفية ، في الدارات الترانزستورية ، وهما نفس الطريقتين المبينتين ، على الشكل رقم 59 بالنسبة للصمامات .
a ــ التغذية الخلفية بالتيار (على التسلسل) ، b التغذية الخلفية للجهد (على التفرع) .

ع جميل جدا ... ولكن ، يمكن ان نلاحظ من خلال الدراسة ، انه اذا كان المكثف C ، يملك سعة غير كافية ، فان تمريره للتيار المتناوب ، ذي الترددات المنخفضة ، أقل منه ، لذي الترددات العالية ، وبنتيجة ذلك،فان الترددات المنخفضة ، تتعرض بدرجة أدنى ، لتأثير التغذية الخلفية .

م ــ وبشكل آخر ، يمكن أن يقال ، ان تضخيم الجهد المتناوب ، ذي الترددات المنخفضة ، سوف ينخفض بنسبة أقل . ان هذه الظاهرة ، تستخدم في احدى طرق ضبط النغم Tune ، ولكن ، هذه الطريقة ، لا تعتبر

ناجحة جدا ، من وجهة نظري . وذلك لانه لا يمكن في هذه الحالة ، تفادي كافة التشويهات ، والتخلص منها ، على كامل مجال الترددات ، بنسبة واحدة . ولكن مثل عملية ضبط النغم ، الانفة الذكر ، فلا بد وان تكون مفيدة جدا ، في اجهزة الاستقبال (الراديو) المحمولة،وتجعلها أقل جعجعة وصراخا.



ع ــ اني لارى ، ان بطاريات دماغك ، مشحونة جيدا بالفسفور ، ولذلك ، فانني ارجوك ، بدون تردد ، أن تقوم بمهمة ليست بكبيرة ، وتقول لي ، ماذا سيحدث ، لمقاومة دخل ومقاومة خرج الترانزستور ، عند استخدام التغذية الخلفية ، على التسلسل .

بعض الحديث عن " الدلتات " أيضا : △

م ــ لنتذكر ، أن مقاومة الدخل في الترانزستور هي عبارة عن : نسبة تغيير جزئي صغير ، في جهد القاعدة ، الى ما يسببه ، من تغيير جزئي صغير أيضا ، في تيار القاعدة نفسها . وهنا بسبب وجود التغذية الخلفية،وتأثيرها العكسي فان التغيير الاصلي في جهد المدخل ، سوف يبدو أقل تأثيرا ، على تيار القاعدة . وبعبارة أخرى ، أننا من أجل تغييرصغير، في جهد القاعدة $\triangle V_b$ نحصل على، قيمة أقل لتزايد تيار القاعدة ، $\triangle I_b$. وتبعا لذلك ، فان نسبتهما التي تمثل مقاومة الدخل سوف تزداد .

$$R_{in} = \frac{\Delta U_b}{\Delta I_b}$$

$$R_{out} = \frac{\Delta U_c}{\Delta I_c}$$

161

ع ــ ان مناقشتك للموضوع سليمة جدا يا صديقي المبتدىء ، ولكنني لا اريد ان افرغ مدخرات دماغك من الشحنات الفكرية ، دفعة واحدة ، ولذلك أقول لك مباشرة ، انك لو حللت بنفس الاسلوب ، سلوك مقاومة خرج الترانزستور ، لوجدت ، ان قيمة هذه المقاومة ستزداد ايضا في حالة وجود التغذية الخلفية التسلسلية . اما فيما يتعلق بالتغذية الخلفية التفرعية ، فانها تسبب انخفاض كل من : مقاومة الدخلومقاومة الخرج

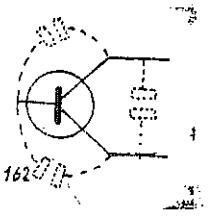
م ــ ان كل هذا ، يجعل الامور تختلط علي ، اكثر فاكثر، بسبب التطابق الحاصل بين ثوابت الترانزستور ، وتلك

البطارية من الطناجر ، التي ربطتها مع بعضها بخيط واحد ، وبمجرد مس احداها ، كانت تتحرك كافة الطناجر الاخرى ، وبالفعل : هل هناك من مبرر لاستخدام التغذية الخلفية هذا ، الذي سيؤدي بنا ، الى الوقوع في متاهات ، وزيادة في التعقيد ...؟

ع — الا ... تظن يا صديقي المبتدىء ، ان التغذية الخلفية ، تستخدم ، فقط من أجل تكدير حياتك ...؟ لا ... ان استخدام التغذية الخلفية ، يخفف التشوهات ، التي يمكن أن تطرأ على الاشارة ، في مراحل التضخم ، وان ضرر هذه التشويهات ، في المضخمات الترانزستورية ، لا يقل عنه ، في المضخمات الصمامية ، وتعطي التغذية الخلفية ، نفس المزايا ، بالنسبة لتشوهات الطور . أيضا ، حيث ان طور الاشارة المضخمة ، يتأثر ، في حال استخدام الترانزستورات ، للتضخيم ، في مجال الترددات المنخفضة ، وذلك بسبب وجود السعة الكبيرة ، بين القاعدة والمجمع ، من جهة ، والباعث والقاعدة ، من جهة اخرى،وعدا عن ذلك ، فانه ، عندما يبدأ جهد البطاريات بالانخفاض ، تستطيع التغذية الخلفية ، أن تحافظ على نظامية عمل الاجهزة الترانزستورية ، لبعض الوقت ، بفضل مالها من تأثير تنظيمي.

ثمة تغذية خلفية أخرى :

م — ان هذا التأثير ، للتغذية الخلفية ، قيم جدا ، لانه يفيد كثيرا في اقتصاد البطاريات .

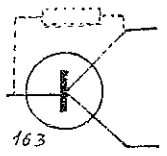


ع — أرى أن ، امكانية تخفيض مصاريف التغذية ، راقت لك ، وصالحتك مع التغذية الخلفية . لاحظ ...! بالمناسبة هنا يا عزيزي ، انك حتى لو كنت لا ترغب في استخدام التغذية الخلفية ، فعليك ان تتلاءم مع وجودها الغير مرئي .

م — ما هذه الاسرار التي تكشفها الان من جديد ...؟

ع — مهلا ياعزيزي ...! انك لا تزال في بداية الطريق، وأمامك مفاجآت كثيرة ... فالترانزستور ، يتميز بوجودالتغذية

الخلفية الداخلية ، التي تنعدم تقريبا ، في الصمام ..، وان تلك التغذية الخلفية ، في الترانزستور ، تنجم عن وجود مقاومة محدودة لوصلة القاعدة ــ المجمع ، تبلغ عدة مئات من الكيلو أوم ، وتبدو وكأنها موصولة مباشرة بين المجمع والقاعدة .


163

م ــ كيف يظهر لنا تأثير تلك التغذية الخلفية الداخلية ...؟

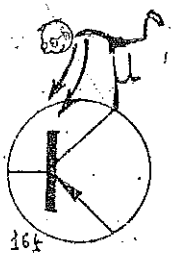
التغذية الخلفية الداخلية الغير مرئية في الترانزستور

ع ــ بالضبط ...! كما راينا في دارة التغذية الخلفية التفرعية ، التي مرت معنا منذ قليل ، في (الشكل رقم 60 b) ويمكن قياس التغذية الخلفية الداخلية للترانزستور ، عن طريق تغيير جهد المجمع ، وقياس التغيرات الطارئة على جهد القاعدة ، ويكون التغيير في جهد القاعدة Vb عمليا ، أقل من مسببه من تغيير في جهد المجمع Vc ببضعة آلاف من المرات ...، وبعبارة أخرى ، تكون قيمة عامل التغذية الخلفية ، من مرتبة الـ 0,05 ٪ ويرمز له أحيانا ، بالحرف اليوناني μ (ميو) ، وعند تحليل الدارات الترانزستورية ، يرمز اليه على الاغلب ، بالرمز h,12 .

م ــ اني اشعر نحوك بشعور الامتنان ، لانك تكرمت والتحدث لي ، امكانية تعريف عامل التغذية الخلفية الداخلية في الترانزستور التي تتمثل بالعلاقة $\mu = \Delta Vb / \Delta Vc$ وبما ان قيمة μ قليلة جدا ، فان تأثير التغذية الخلفية الداخلية ، يمكن اهماله على ماأعتقد ...؟

ع ــ نعم يمكن ذلك،ولكن بشرط ان تكون مقاومة الحمل، صغيرة ، اذا ما قورنت مع مقاومة الخرج ، الامر الذي يصادف، عمليا ، في اغلب الحالات .

سؤال عن الطور :


164

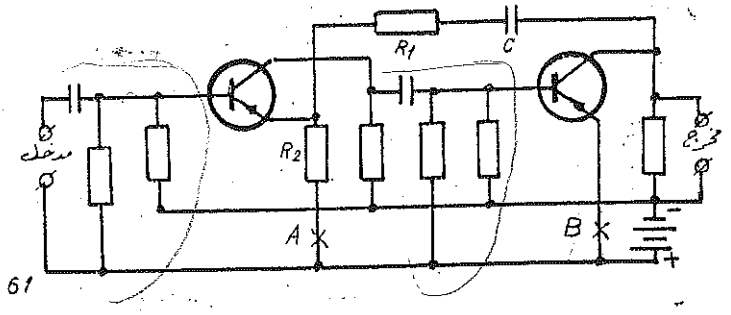
م ــ من الواضح جدا يا صديقي العارف ، انك تشعر كيف أنني أتلهف شوقا ، للانتقال الى دراسة الدارات العملية. وانني وعدت عمي **جوليو** بانني انهيأ ، لتطوير جهاز الاستقبال الترانزستوري ، الذي سوف يتمكن من اصطحابه معه ، الى قارة افريقيا حيث يريد أن يعالج نفسه ، من مرض الروماتيزم المزمن ، بواسطة الاشعة الشمسية ، وانني اعتزم صنع مضخم

للترددات المنخفضة ؛ ثنائي المراحل...هل استطيع استخدام تغذية خلفية مشتركة ، لكلتا المرحلتين معا ، باعطاء جهدالخرج الى المدخل ...؟

ع ــ نعم ، نستطيع ذلك ، ولكن يجب الا تشمل التغذية الخلفية ، في الدارات الترانزستورية ، اكثر من مرحلتين في آن واحد . وذلك لان السعات الداخلية،الموجودة في الترانزستور، والتي حدثتك عنها منذ قليل ، تؤدي الى حدوث انزياح اضافي للطور ، في كل مرحلة ، فاذا شملت التغذية الخلفية ، اكثر من مرحلتين ، فان الانزياح الاضافي للطور هذا يتضاعف ، ويمكن أن يصبح كبيرا ، لدرجة انك لن تعرف مسبقا ، ما هو الطور ، الذي ستحصل عليه ، في نهاية المرحلة ...!

م ــ بعبارة اخرى ، يمكن أن يقال ... عندئذ ، يظهر خطر الحصول على تغذية خلفية موجبة ، بدلا من التغذيـــة الخلفية السالبة ...!

ع ــ وهذا ليس بغريب ، مطلقا ...، ولكن اليك هذه الدارة ، التي يجب أن تحظى باعجابك (الشكل رقم 61) وفيها تجد بالضبط ، مرحلتين لتكبير التردد المنخفض ، مـــع تغذية خلفية ، عن طريق مقاومة ومكثف ، تشمل المرحلتين معا. حيث يؤخذ هنا ، جهد الخرج ، عن طريق المكثف C ، ويجزأ بواسطة مقسم الجهد ، المكون من المقاومتين R_1 ; R_2 ثم يعطي جزء من الجهد من R_2 الى باعث الترانزستور الاول .



الشكل رقم 61 يمثل دارة لتغذية خلفية مختلطة (تسلسليـــة ــ تفرعية) ، تشمل مرحلتين لتضخيم التردد المنخفض .

م ــ حسنا .. حسنا وماذا بعد ذلك ...؟ .. لمـــاذا

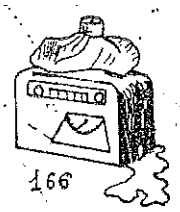
لا يصل جهد التغذية الخلفية ، الى قاعدة الترانزستور الاول ، كما فعلنا في حالة المضخم الترانزستوري،الوحيد المرحلة ...؟

ع ــ لان كل مرحلة من مراحل التضخيم ، تقلب طور الجهد المضخم ، ولذا ، فان الجهد المضخم ، والمار عبر مرحلتي تضخيم ، يتطابق في الطور ، مع الجهد الاولي ، الوارد الى مدخل المضخم منذ البداية ، وهذا يعني ، انه لا يجوز مطلقا ، ايصال جهد الخرج الى القاعدة ، (فعندئذ ، بدلا من التغذية الخلفية السالبة ، نحصل على تذبذب ذاتي مزعج)، حذارك منه ومن جهة اخرى . عند توصيل جهد الخرج الى الباعث ، نحصل على تغذية خلفية سالبة ، ذات تأثير مفيد وبالاضافة الى ذلك ، فان المقاومة R_2 نفسها ، تعطي في المرحلة الثانية ، تغذية خلفية ، سالبة ، تسلسلية ..

م ــ ان هذه الدارة الرائعة ستعطي السعادة لعمي العزيز **جوليو** .

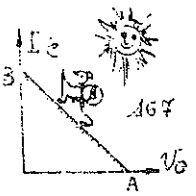
شمس الجنوب اللعينة :

ع ــ اخشى ان تلك الدارة ، لن تكون مفيدة ، لعمك ، كماتتصور ، لانه بقدر ما تكون اشعة شمس الجنوب المدارية، مفيدة صحيا بالنسبة لعمك ، بقدر ما تكون مضرة ، بالنسبة لجهاز الراديو الترانزستوري ، الذي سيصطحبه معه .



م ــ آه ... فعلا ...! لقد نسيت تلك العواقب الوخيمة ، التي تسببها الحرارة المرتفعة ، لانصاف النواقل . أيمكن ان يتطلب الامر ، وضع كيس من الجليد ، على جهاز الراديو الترانزستوري ...؟ ولكن ، قل لي ، أولا : كيف تؤثر على عمل جهاز الراديو ، زيادة تيار الترانزستورات ، عند ارتفاع درجة الحرارة .

ع ــ انني قطعت عهدا على نفسي ، الا أتحدث هذا النهار ، عن الخواص ، التي تعتبرها انت صعبة الفهم ، ويكفي ان تتصور بنفسك ، ياعزيزي المبتدىء ، أن التيار العكسي للمجمع ، يتضاعف ، لكما ارتفعت درجة الحرارة ،



بمقدار ثمان درجات $8c^{o}$ - وبناء على ذلك ، فانه عندما ترتفع درجة الحرارة الصغرى ، من الصفر الى $40c^{o}$ يمكن أن يتزايد التيار بمقدار 32 مرة وهذا يعني ، أن كافة خواص الخرج في الترانزستور تتحرك بسرعة حادة ، نحوى الاعلى ، ونتيجة ذلك ، فان نقطة عمل الترانزستور ، (واسمح لي ، ان اذكرك ، بانها تقع عند تقاطع ، خط الحمل ، مع احدى منحنيات خواص المجمع) ، تنحرف نحوى الاعلى أيضا ، بتأثير الحركة العامة ، لبقية الخواص ، وتنزاح الى اليسار ، بدلا من بقائها في منتصف خط الحمل ، وعلى هذا النحو ، يختل ذلك التناظر الجميل ، ولا يعود بالامكان ، الحصول على خطية جيدة ، في عملية التضخيم .

م — يا لها من مصيبة نكراء ...! لقد صعقتني ... يا صديقي ...! ولكن لا بأس ، اذ انني اعرف طريقتك في العمل ، انك توقعني في أسى عميق ، ولكنك كالساحر ، الذي يسحب الارنب من الاسطوانة ، سرعان ما تجد الوسيلة التى تنقذني بها ...؟

فهلم اذن لتسحب أرنبك من الاسطوانة ...!

ع — ان الطريقة معلومة لديك ، وهي استخدام التغذية الخلفية ، التي تنقذنا هنا ايضا ، والتي لاتعتبر فقط ، الوسيلة الفعالة لتخفيف التشوهات ، بل وتساعدنا على تفادي التغيرات البطيئة ، التي تطرأ على حالة التشغيل (الجهود المستمرة) ، عند تغيير درجات الحرارة .

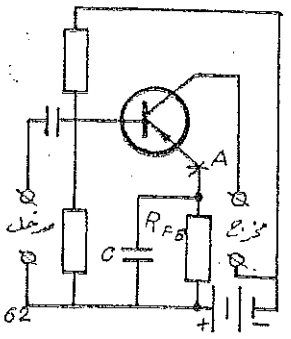
م — ان ذلك يعني ، أن دارات التغذية الخلفية ، التي استعرضناها سابقا ، تستخدم بنفس الوقت ، لابطال بتأثير الحرارة ، على عمل الترانزستور .

ع — نعم ... ان ذلك صحيح ، الى حد معين ، فعندما توجد تغذية خلفية ، للتيار المستمر ايضا ، (وهو لا يتحقق في الدارتين المبينتين على الشكل رقم 60 ورقم 61 ولكن تحقيق الثبات الحروري ، يتطلب مبدئيا، استخدام تغذية خلفية اكثر عمقا .

م — ولكن التغذية الخلفية ، عندما تكون كبيرة جدا بالنسبة للاشارات ، التي يجري تضخيمها . تنخفض نسبة

التضخيم كثيرا ، وماذا يمكن أن تقترح ، للخروج من هـــذا « المأزق » الحرج ...؟

ع ــ لا تهتم الان بمقاومات التغذية الخلفية ، التي تعمل على تصحيح تشوهات الاشارات المضخمة ، اذا أن مقاومات أخرى ، تستخدم لتعويض تأثير تغيير درجة الحرارة ، ومـــن اجل هذا ، يمكن أن تستخدم التغذية الخلفية التسلسلية للتيار المستمر ، بالطريقة المبينة على الشكل رقم 62 .



الشكل رقم 62 دارة تثبيت نقطة العمل،عند تغير درجةالحرارة، وتستخدم فيها ، تغذية خلفية تسلسلية للتيار .

القطعة الصغيرة :

م ــ ولكنني ، لا الاحظ اي تغيير ملموس في هذه الدارة، عن الدارة السابقة ، التي تستخدم فيها التغذية الخلفيـــة التسلسلية ، لمركبة الجهد المتناوب ، واجد ، انك اضفت هناك فقط المكثف C الموصول على التفرع ، مع مقاومـــة التغذية الخلفية Rf .

ع ــ ولكن ، هذه « القطعة الصغيرة » التي تراها ، هي بالذات ، التي تعمل على تغيير كل شيء ، فهذا المكثف ، الذي يكون عادة ، **مكثفا كيميائيا** ، يملك سعة كبيرة ويشكل بالنسبة للتيار المتناوب ، ممانعة اقل بكثير ، من المقاومة Rf لذلك نرى ، انه عبر المقاومة Rf ، سوف تمر فقط ، المركبة المستمرة للتيار وهي فقط ، التي ستتعرض لتأثـــير التغذية الخلفية .

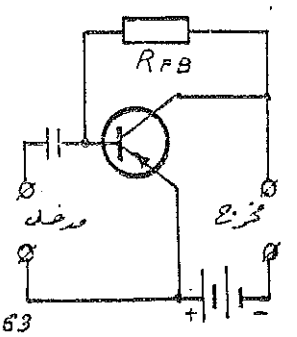
م ــ انه أمر بسيط ، وينم عن ذكاء **كالبيضة المشهورة**

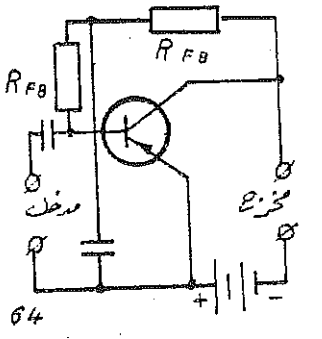
لكريستوف كولومبوس . ولكن ماذا نفعل ، اذا اردنا نحن ، ان نشتمل التغذية الخلفية ، كل من ، المركبة المستمرة ، والمركبة المتناوبة للتيار بآن واحد . . . ؟

ع — لا شيء يمنعنا من ذلك ، نصل مقاومة في النقطة A ، على التسلسل مع المقاومة Rf ، بدون ان نوصل على التفرع ، مع المقاومة المضافة ، اي مكثف .

م — هذا واضح ، ولكن هل يمكن ان نستخدم تغذية خلفية تفرعية للجهد ، لتأمين استقرار نقطة تشغيل الترانزستور . . . ؟

ع — بدون أي شك ، ولكن ، عندئذ ، يحذف المكثف الذي وصلناه ، سابقا ، عند استخدام التغذية الخلفية آنفة الذكر ، على التفرع مع المقاومة Rf ، كي لا يمرر المركبة المستمرة للتيار ، وفي هذه الحالة ، يصل الى قاعدة الترانزستور ، في آن واحد ، جزء من كلتا المركبتين ، المتناوبة والمستمرة — لجهد المجمع (الشكل رقم 63) .



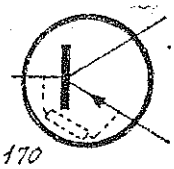


الشكل رقم 63 دارة التثبيت الحراري ، لنقطة تشغيل الترانزستور ، وذلك على حساب استخدام التغذية الخلفية على الفرع .

الشكل رقم 64 نفس الدارة المبينة على الشكل رقم 63 ولكن مع وجود مكثف التمرير الجانبي ، للمركبة المتناوبة .

م — ولكنني لا أرى هنا ، المقاومة الثانية ، لمقسم الجهد ، الذي يجب أن يستخدم للوصول الى هذه الغاية .

صحيح . . . ، ولكن ، ليس ذلك من قبيل الصدفة ، لانه



170

تستخدم بدلا منها ، في هذا المقسم ، مقاومة دخل الترانزستور، (مقاومة الوصلة بين القاعدة ــ والباعث) . واذا رغبت باستخدام تغذية خلفية تفرعية ، بالتيار المستمر فقط ، فانه، يمكن هنا أيضا ، أن تستخدم مكثف ، يحذف التغذية الخلفية، للمركبة المتناوبة للتيار ، وذلك بجعل مقاومة التغذية الخلفية R_f ، مؤلفة من المقاومتين R_{f1} و R_{f2} كما هو مبين على الشكل رقم 63 .

م ــ ولكن لنعد الان ، الى عمي المسكين ، فكمافهمت منك ، يمكن الغاء تأثير تغيير درجة الحرارة ، على عمل دارة المضخم ، كما في الشكل رقم 61 ، وذلك بوصل مقاومات في النقطتين A و B الشكل رقم 61 ، ...!

ع ــ هذا صحيح ... تماما ...، ولكن ، احدى هاتين المقاومتين ، يجب أن تفرع ، بمكثف كبير السعة وذلك كي لاتزيد ، التغذية الخلفية للتيار المتناوب ، أكثر من اللزوم ...، ــ ولكنني لم أحدثك بعد ، ياصديقي ، عن طريقة بارعة ، تستخدم لالغاء التأثير السيء ، لتغيير درجة الحرارة ، على عمل الترانزستور . وتتلخص هذه الطريقة ، في استخدام الحرارة نفسها للتخلص من آثارها السيئة ، على عمل أنصاف النواقل ...!

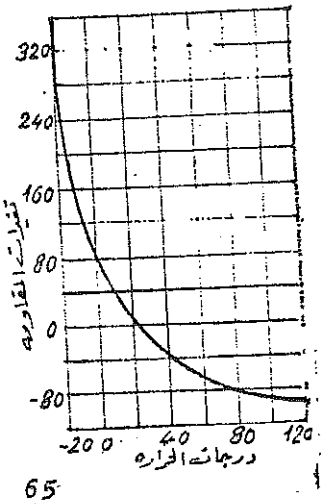
الاستفادة من المساوىء ... !

م ــ انت جاد في ذلك ...؟ وهل ترغب يا ترى ، في أن تصبح طبيبا تداوي المريض بتلقيحه بالجراثيم والفايروسات المسببة للمرض نفسها ...؟

171

ع ــ طبعا ...! هكذا بالذات ، أريد أن تفهمني ، اذا كان التسخين يؤدي الى زيادة التيار المار عبر نصف الناقل ، فهذا يعني ، أنه عند ارتفاع درجة الحرارة ، تنخفض مقاومة نصف الناقل . ويستنتج من ذلك ، أنه يمكن أن نصنع ، من مواد أنصاف النواقل ، مقاومة تنخفض قيمتها بسرعة ، عند ارتفاع درجة الحرارة ، واليك منحنى خواص احدى تلك المقاومات ، المسمات **بالتيرموستور** أو المقاومة الحرورية ،

(الشكل رقم 65 وترى من الشكل ، أنه عندما ترتفع درجة



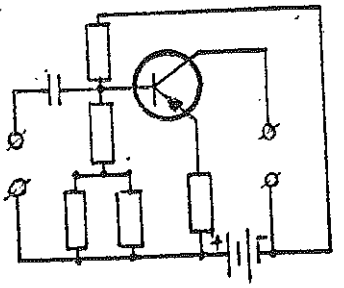
65

الشكل رقم 65 مخطط بياني يبين تغيرات مقاومة الثيرومستور (المقاومة الحرورية) ، تبعا لتغيرات درجة حرارته .

الحرارة من 20c° الى 40c° فان مقاومة الثيرمستور ، تنخفض بمقدار 45 % .

م — وكيف يمكن استخدام المقاومة ، التي لا تقبل الحرارة بشكل طبيعي ، للتخلص من الاضرار والاعطال ، التي تسببها الحرارة المرتفعة ...؟

ع — بسهولة بالغة .. انني أستخدم تلك المقاومة ، ضمن مقسم الجهود ، الذي يؤخذ منه جهد الانحياز ، الى الترانزستور (الشكل رقم 66) ، ويكون الذراع العلوي ،



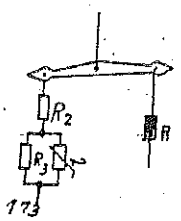
الشكل رقم 66 كيفية اطفاء تاثير الحرارة ، بواسطة بترمستور يحدد جهد القاعدة .

172

لمقسم الجهد ، عبارة عن مقاومة عادية R_1 أماالذراع الاخر ،

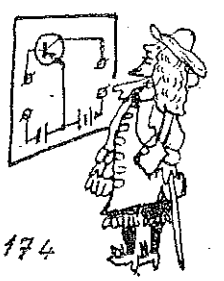
فيتكون من تيرموستور ، موصول علـــى التوازي ، مع المقاومة R_2 ، وكلاهما موصولان علـــى التسلسل ، مع المقاومة R_3 ، وهل تعرف ماذا يجري ، عند ارتفاع درجة الحرارة ...؟

م ــ مقاومة التيرموستور تتناقص ، وهذا يؤدي الـــى انخفاض مقاومة الذراع السفلي لمقسم الجهد ، بكامله ، وهو يتألف من المقاومتين ، R_2 و R_3 كما هو مبين على الشكل رقم 66) ، بالاضافة الى التيرموستور . وبما ان مقاومـــة المقاومـــة R_1 ، المكونة للجزء العلوي لمقســـم الجهود ، تتناقص (بل على العكس ، يمكن أن تتزايد بعض الشيء ، عندما ترتفع درجة الحرارة ارتفاعا ملحوظا) لذلك يصبح جهد القاعدة أقل سالبية ، وهـــذا يستدعي بدوره ، انخفاض تيار المجمع . كم هو جميل هذا الترابط المتسلسل ، بين العناصر والثوابت ...!



173

ع ــ انك ترى هنا ، انه لارقى درجات الفن في الحياة، تتجلى في ، تحويل العيوب والمساوىء ، الى ميزات ايجابية ، يستفاد منها . وهذا ما فعلناه نحن هنا ...!


174

المناقشة التاسعة

الباعث المشترك ، القاعدة المشتركة ، المجمع المشترك

خلال المناقشات السابقة ، استطاع صديقانا ، العارف والمبتدىء ، أن يحصلا على معلومات قيمة ومعرفة راسخة ، عن عمل الترانزستورات ، المستعملة كمضخمات . ومن اجل ذلك ، قاما بدراسة وتحليل أكثر الدارات شيوعا واستعمالا ، وهي الدارات ، التي تطبق فيها الاشارات المطلوب تضخيمها، بين القاعدة والباعث . وتؤخذ الاشارة بعد تضخيمها من نقطة تقع بين المجمع والباعث . وهذا يطابق تماما ما يستخدم في الدارات الصمامية الكلاسيكية . وبنفس الوقت ، فاننا نرى، أن الترانزستورات ، في بعض الحالات ، تشبه الى حد بعيد ، الصمامات الالكترونية ، وهي تستعمل أحيانا ، في طرق توصيل أخرى ، غير الطريقة التي رأيناها سابقا . لذلك ، يكون من المفيد جدا ، قبل الانتقال الى الاستخدام العملي للترانزستورات ، العمل على دراسة عملها ، في حالات طرق التوصيل الاخرى .

محتويات المناقشة :

دارة صمامية ذات : مهبط مشترك ، شبكة مشتركة ، مصعد مشترك . الدارات الترانزستورية ذات : الباعث المشترك ، القاعدة المشتركة ، المجمع المشترك . الربح في التيار ، الربح في الجهد في كل من طرق التوصيل الاساسية الثلاث . مقاومات الدخل والخرج للدارات ، في كل من طرق التوصيل الانفة الذكر . لوائح توضيحية لخواص طرق التوصيل هذه .

أثر الصدفة في تاريخ الاختراعات

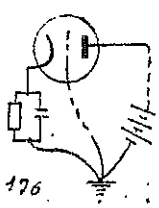
م ــ كيف حدث أن تأخر اختراع الترانزستور، عن اختراع الصمام الالكتروني ، بمقدار أربعين عاما ...؟ مع العلم، بانه يبدو للوهلة الاولى ، للمرء ، ان ادخال الشوائب ، في مادة نصف الناقل ، أسهل بكثير ، من صنع الغلاف الزجاجي ، وتفريغه من الهواء . ثم وضع المهبط بداخله ، الذي يجب أن يشع الالكترونات ، عبر الشبكة لتنقل الى المصعد .

ع ــ ان الصدفة في تاريخ الاختراعات ، تلعب الدور الاول والاساسي ، في التطوير والوصول الى النتائج ، وكان من الممكن ، للترانزستور ، أن يكون مكتشفا ، قبل الصمام الالكتروني بكثير ، الا ان الظروف التكنولوجية ، فرضت الوضع الحالي : ومن الجدير بالذكر هنا ، أن احد المهندسين الروس المدعو **لوسيف** استطاع عام 1922 خلال تجاربه العلمية، على كرستال سبائك التوتياء والزنك ، ومعادن اخرى . استطاع توليد اهتزازات كهربائية ، وتقويتها وتضخيمها . وسمى آنذاك ، **بالمولد الكرستالي** الا ان هذا الجهاز ، لم تتاح له امكانية التطوير . ولو كان الترانزستور ، قد اكتشف قبل الصمام الالكتروني فمما لاشك فيه ، أن اكتشاف الصمامات الالكترونية ، كان يمكن ان يعتبر ، كتطوير هام ، في الصناعة الالكترونية . ويمكن استخدام الصمامات الالكترونية ، الثلاثية المساري ، بنفس طرق التوصيل ، المستخدمة حاليا، للترانزستورات ، وهي طرق : المهبط المشترك ، الشبكة المشتركة ، والمصعد المشترك والمسرى المشترك يسمى أحيانا **بالمؤرض** اي الموصول مع الارض .

م ــ ما هذا التاريض الذي اراه امامي اينما ذهبت ...؟

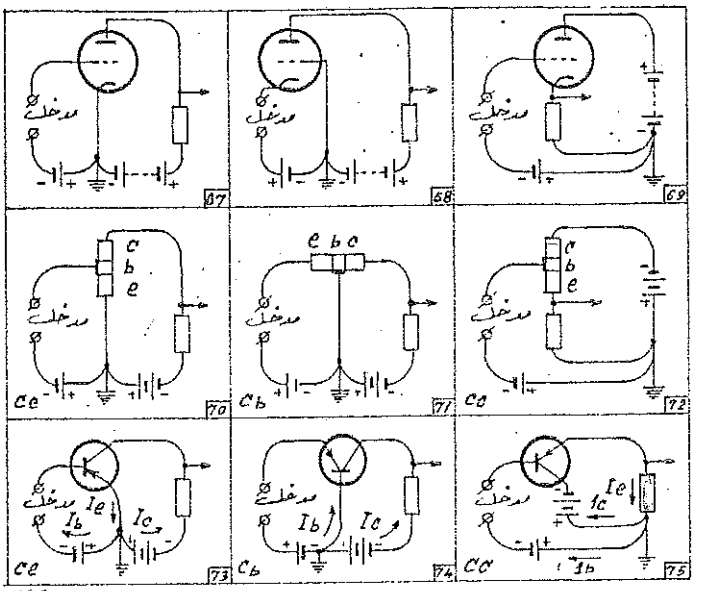
الطرق الاساسية الثلاث لتوصيل الصمامات :

ع ــ من الواضح جدا ياصديقي المبتدىء ، انك تذكر بأننا نقصد بالتأريض ، توصيل المسرى ، المراد تأريضه ، الى نقطة من الدارة ، ذات جهد ثابت ، يعتبر مساويا للصفر وتتمثل تلك النقطة ، في دارة المضخمات الصمامية العادية بالنقطة التي تلتقي بها ، دارة الشبكة ، مع دارة المصعد.



م ــ أنا اعتقد أن نهايتي هاتين الدارتين ، تتصلان مع المهبط .

ع ــ لذلك : نرى ، ان اكثر الدارات انتشارا ، تسمى **بالدارة ذات المهبط المؤرض** (الشكل رقم 67) وتنطبق هذه التسمية ، على الدارة ، حتى ولو وجدت ، بين المهبط ونقطة التأريض ، مقاومة الانحياز ، وذلك لان المهبط ، يكون



الاشكال رقم 67 – 75 تبين الطرق الثلاث ، المستخدمة لتوصيل الصمامات والترانزستورات .

– 67 – دارة صمامية ، ذات مهبط مشترك ، وتعتبر أكثر الدارات الصمامية ، المستخدمة في التضخيم انتشارا .

– 68 – دارة صمامية ذات شبكة مشتركة ، و

– 69 – دارة صمامية ذات مصعد مشترك .

– 70 – دارة مضخم ترانزستوري ذات الباعث المشترك ، أكثر دارات المضخمات الترانزستورية انتشارا .

– 71 – دارة مضخم ترانزستوري ذي قاعدة مشتركة .

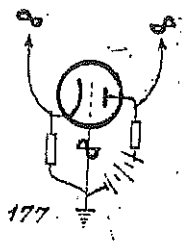
– 72 – دارة مضخم ترانزستوري ذي مجمع مشترك .

– 73 – 75 – اشكال أخرى لرسم الدارات الترانزستورية ، الاساسية. تبين الرسوم ، بشكل واضح ، ان تيار الباعث Ie ، يتوزع في النقطة المشتركة ، الى تيار القاعدة وتيار المجمع .

موصولا مع الارض ، بالنسبة للتيار المتناوب ، عن طريق مكثف ، وعدا عن ذلك ، هل نسيت وجود الدارة ، ذات الشبكة المشتركة ، (شكل رقم 68) .

م – فعلا . . . ! لقد صادفنا هذه الدارة ، بصورة خاصة ، عندما قمنا بدراسة التعديل الترددي ، حيث تستخدم هذه الدارة ، لتضخيم الاشارات ، ذات الترددات العالية ، وهي تعمل على فصل ، دارة الدخل ، عن دارة الخرج ، بصورة

افضل . وعند ذلك ، تستخدم الشبكة ، كحجاب واق ، ويصبح قطب التوجيه والتحكم ، في هذه الحالة هو المهبط .



ع ــ تبقى لدينا ، بعد الامكانية الثالثة ، وهي جعل جهد المصعد ثابتا ، بتأريضه (وصله مع الارض) ، عن طريق منبع الجهد العالي . وتطبق الاشارة المراد تضخيمها ، (اشارة الدخل) ، بين الشبكة ونقطة التأريض ، ويؤخذ الجهد المضخم ــ (اشارة الخرج) من مقاومة الحمل ، الموصولة بين المهبط وهذه النقطة ، (الشكل رقم 69) .

م ــ انها لدارة غريبة جدا ، ولكن على العموم ، في هذه الحالة ، يمر تيار المصعد ، عبر المقاومة المذكورة ، لينتج عليها الجهد المضخم ، وبهذه الحالة ، يكون الامر عاديا .

ع ــ تجدر الملاحظة ، الى اننا ، في استعمالنا لعبارة الجهد المضخم ، غير مصيبين ...! وذلك لان عامل التضخيم في هذه الدارة ، المسماة بدارة التابع المهبطي ، اقل من الواحد. وتقوم مقاومة الحمل ، في هذه الدارة بعمل مقاومة التغذية الخلفية ، وبنتيجة ذلك ، لا يمكن ان يتشكل على مقاومة خرج الدارة ، جهد أكبر من ذلك الجهد ، الوارد الى مدخلها .

م ــ هذا يعني ، أن هذه الدارة ، لاتشكل اية اهمية تذكر ...؟

ع ــ كلا ياعزيزي ...، بل الامر على العكس تماما . فقبل كل شيء ، يجب أن تتذكر ، وتسجل في ذاكرتك جيدا . أن الجهد المتولد على مقاومة الحمل ، يتطابق في الطور ، مع الجهد المطبق على الشبكة .

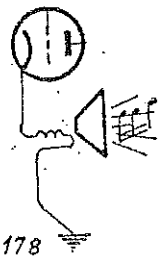
م ــ ومن أجل هذ السبب بالذات . تتميز هذه الدارة ، بوجود تغذية خلفية سالبة ، قوية للغاية... اليس كذلك ...؟

ع ــ ان هذا واضح ... ومعقول .. ولكن ، اذا وصلنا مقاومة حمل ثانية ، في دار المصعد وبالطريقة العادية تماما ...

م ــ يعني ان جهد الخرج هنا ، يبدو وكأنه معاكس في الطور ، لجهد الدخل . وهذا يعني ، أن صمام واحد نفسه ،

يعطي جهدي خرج متعاكسي الطور ... ان هـذه الدارة ، مناسبة جدا لاعطاء الاشارة الى شبكتي صمامي الدفع والجذب .

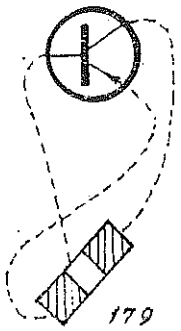
ع ـــ ان هذا صحيح ، ولكن ، غالبا ما يستخدم التابع المهبطي ، في حالات وأوضاع أخرى ، سيما عندما يكون مطلوب الحصول على مقاومة خرج صغيرة . على كل حال ، وبالرغم من الشكوك التي تبدو لديك ، فان مقاومة الحمل الموصولة في دارة المهبط ، يمكن أن تكون ، اقل بكثير ، من المقاومة التـــي توصل بدارة المصعد ، حتى انه يمكن أن نوصل ، بدارة المهبط مباشرة ، الملف الصوتي للسماعة (المجهـار) ، وبذلك ، يمكن الاستغناء عن محول الخرج ، الذي يوصل عادة ، بين مضخم الترددات الصوتية والسماعة . وبذلك أيضا نكون قد تخطينا ، مصدرا أساسيا للتشوهات الكثيرة .



م ـــ انك أقنعتني بالصفات الايجابية للتابع المهبطي ، كما انني أصبحت أفهمه جيدا ، وأفهم أيضا ، أسلوبك في الوصول الى الهدف الذي تريده . فاذا كنت تحدثني الان ، بهذه الحرارة وقوة الاقناع عن لدارات الثلاث ، لتوصيل الصمامات ، فان ذلك ليس الا تمهيدا ، للانتقال الى درسة وتحليل ، لدارات الثلاث المقابلة ، المستخدمة في توصيل الترانزستورات .

حالة الترانزستورات :

ع ـــ من الافضل ، أن لا أخفي عليك شيئا ياعزيزي ... ! فعلا ان كل من هذه الطرق الثلاث ، يقابلها طريقة مماثلة ، في دارات توصيل الترانزستورات ، ولزيادة لايضاح ، لقد رسمت كل من هذه الدارات في حالتين ، (الشكـل رقـم 70 ÷ 75) في الحالة الاولى ، (الشكل رقم 70 ÷ 72) وضعت هذه الترانزستورات ، بشكل مستطيلات قائمة الزوايا ، كما كنـا قد اصطلحنا على تمثيله ، في بداية هذه الدراسة ، وبمثل هذا الرسم ، تكون أكثر وضوحا ، رؤية مرور التيار ، بين المناطق الثلاث في الترانزستور ، وأنني أتأسف احيانا ، لماذا لم يتخذ ، مثل هذا الشكل الاصطلاحي ، رمزا للترانزستور ، في كافـة الكتب والمراجع . وفي الحالة الثانية (الشكل رقم 73 ÷ 75)



رسمت هـــذه الدارات ، بالرمـــز الاصطلاحي العـــادي للترانزستورات ، ولكنني هنا ، عمدت الى تلوين الرسم بقصد جعل دارة مرور تيار المجمع أكثر وضوحا ودقةولزيادةالوضوح أبرزت دارة مصعد الصمام بخط أكثر سماكة ، وعمق فـــي اللون على (الشكل رقم 67 – 69)

م ــ انك لصادق بما تقول ...! ان رسومك ، لاتشابه تلك الرسوم التي تعودت أن أراها في المخططات حتى الان ، وأنها تبدو لي ، الى حد ما ، سهلة جدا : كماانني ارى ، ثلاث احتمالات لوصل الترانزستورات :

1) **بتأريض الباعـــث** (الشكل رقم 70 و 73
2) **بتأريض القاعـــدة** (الشكل رقم 71 و 74
3) **بتأريض المجمـــع** (الشكل رقم 72 و 75

ع ــ هذا صحيح ...، ولكن استعمال كلمة تأريض لايعتبر شيئا ملزما هنا ، والاصح أن نسمي هذه الدارات الثلاث كما يلي :

1) **الدارة ذات الباعث المشترك** Ce .
2) **الدارة ذات القاعدة المشتركة** Cb .
3) **الـــدارة ذات المجمع المشترك** Cc .

م ــ لقد أدركت ذلك جيدا ، ومغزى الكلام هنا ، ينحصر في أنه ، في كل من الدارات الثلاث الانفة الذكر ، تكون احـــدى مناطق الترانزستور الثلاث ، مشتركة . تشترك فيهـــا دارة الدخل ودارة الخرج . ولكن ، مهلا ياعزيزي ، أنني أصبحت الان **مثل الاطرش بالزفة** وضعت في متاهة ، من تسمياتـــك المختلفة ، المتعاقبة بسرعة . فعندما درسنا ، نحن واياك ، الدارة ذات الباعث المشترك،لم اكن اظنانهيسمى **بهذاالاسم**.

ع ــ لقد تحدثنا طويلا ، عن هذه الدارة ، واشبعناها دراسة ، وذلك لانها تستخدم أكثر بكثير ، مـــن بقيـــة دارات التوصيل المعروفة .

م ــ على غرار الدارة الصمامية ، ذات المهبط المشترك .

ع ــ مضبوط تماما ... أنت تعلم يا عزيزي ، انه عند

الاستخدام الصحيح،لهذه الدارة،نجدها تعطي تضخيما جيدا ، للجهد والاستطاعة ، على حد سواء وانني اريد ان اذكرك ، ان جهد الخرج في الدارة ذات الباعث المشترك ، يكون معاكسا بالطور ، لجهد الدخل ، ومقاومة الدخل ، تشكل فقط، عدة مئات من الاومات . أما مقاومة الخرج ، فتصل قيمتها ، الى عدة مئات من الكيلو اوم.

180

هل هذا مضخم ؟:

م — ان كل ذلك راسخ بذاكرتي بشكل جيد ، وهل لي بعد ذلك،أن أذهب بعيدا،واحاول تحليل الدارة الترانزستورية، ذات القاعدة المشتركة Cb ، بعيدا عن كل ضوضاء وضجة .. ؟ .. فمن الواضح ، أن جهد الدخل ، يطبق هنا ايضا ، بين القاعدة والباعث . ولكن ، يقوم ، في هذه المرة ، الباعث بدور قطب الدخل ، أما القاعدة فتبقى غير فعالة ، واذا استدعي جهد الدخل ، زيادة في جهد الباعث،بالنسبة للقاعدة، فهذا يؤدي ، الى زيادة تيار القاعدة ، ونتيجة ذلك ، يزداد تيار المجمع ، وبالتالي يزداد الجهد الهابط على مقاومة الحمل ، وذلك نتيجة حتمية لزيادة التيار المار فيها . وعندها يصبح جهد الخرج ، اكثر ايجابية ، وكون جهد الخرج في هذه الحالة ، بدون أي شك ، متفقا في الطور ، مع جهد الدخل .

ع — ان نقاشك للموضوع صحيح تماما ...، الا أنه لم يكتمل بعد لانك لم تتطرق الى تضخيم التيار في هذه الحالة .

م — في الحقيقة ، يساورني بعض الشك والارتباك ، فيما يتعلق بذلك ... ففي دارة الدخل ، يوجد لدينا تيار الباعث Ie ، أما في دارة الخرج فيوجد لدينا ، تيار المجمع Ic فقط ، الذي يقل بعض الشيء ، عن تيار الباعث ، (ان ذلك يبدو بوضوح ، على الرسم الجانبي) وذلك لان تيار الباعث ، ينقسم الى تيارين مستقلين ، تيار القاعدة Ib وتيار المجمع Ic وان كل مايعتبر صحيحا ، بالنسبة للتيارات ، يعتبر صحيحا ايضا ، بالنسبة للزيادات البسيطة،

181

التي تطرأ على هذه التيارات . وتبعا لذلك،فان تضخيم التيار، اي نسبة التغيرات البسيطة ، الطارئة على تيار الخرج Δ Ic الى التغيرات البسيطة ، الطارئة على تيار الدخل Δ Ib تكون أقل من الواحد . وذلك لان تيار الباعث Ie (تيار الدخل) يكون عادة أكثر من تيار المجمع Ic (تيار الخرج) وهذا أقرب ما يكون الى اضعاف التيار وليس الى التكبير(1)

ع ــ نعم .. هذا صحيح .. ويشار الى النسبة المذكورة أعلاه ، بالرمز α ، أما في الدارة ذات الباعث المشترك ، فيشار الى النسبة المذكورة بالرمز β ، وهي عبارة عن عامل تضخيم التيار ، في الدارة ذات الباعث المشترك . وتبعا لذلك ، يمكن أن يحسب العامل α على الشكل التالي :

$$\alpha = \frac{\beta}{1 + \beta}$$

ففي الترانزستورات ، ذات القيمة العالية لعامل التضخيم تكون α قريبة من الواحد .

---

(1) ان عامل التضخيم هذا يشار اليه بالرمز α ومنه يمكن أن نتصور بسهولة العبارة الرياضية

$$\alpha = \frac{\Delta Ic}{\Delta Ie} = \frac{\Delta Ic}{\Delta Ic + \Delta Ib}$$

وذلك لان $\Delta Ie = \Delta Ic + \Delta Ib$

ومن تقسيم المصورة والمخرج أعلاه على ΔIb نحصل على :

$$\alpha = \frac{\Delta Ic / \Delta Ib}{\Delta Ic / \Delta Ib + 1}$$

من هنا يبدو أن α أقل من الواحد

أي أن النسبة $\Delta Ic / \Delta Ib$ كما هو معروف لدينا هي عبارة عن عامل تضخيم التيار، في الدارة ذات الباعث المشترك .

ويرمز له بالرمز β ، وتبعا لذلك يمكن أن نحسب العامل β على النحو التالي :

$$\alpha = \frac{\beta}{1 + \beta}$$

وبالنسبة للترانزستورات ذات القيمة العالية لعامل التضخيم فان α تصبح قريبة جدا من الواحد . وبطريقة أخرى يقال ان التيار يتغير على الدخل والمخرج بنفس النسبة ....

م ــ اعتقد، انه ليس من المنطق ، أن تعطي الحرف الاول، من الاحرف اللاتينية ، الى دارة قليلة الاستعمال ...!

ع ــ ان لذلك سببه التاريخي ياصديقي العزيز ...، ففي مطلع فجر الترانزستورات ، كان يعرف الترانزستور النقطي ، فقط ، ولم يكن من الممكن استعمال هذا النوع من الترانزستورات ، بشكل ثابت ومستقر ، الا بالدارة ذات القاعدة المشتركة Cb ، وبناء على ذلك ، كانت طريقة القاعدة المشتركة ، اول طريقة استخدمت ، في توصيل الترانزستور . ولذلك فان شركات الانتاج ، والمصانع ، تعطى عادة ، الرموز الدالة على خواص وبارامترات الاجهزة والعناصر التي تنتجها ، حسب اهمية تلك الخواص ، والثوابت واقدميتها في تسلسل الاكتشاف والظهور ، ويبقى الرمز المعطي للعامل او الثابت ، حقا مكتسبا له ، بالرغم من تقدمه أو تخلفه في مجال الاستعمال .

م ــ هذا يعني انه اذا تجاهلنا ، ضرورة احترام الاشياء التاريخية ، فان للدارة ذات القاعدة المشتركة Cb ، لاتملك اية اهمية تذكر ، وذلك لانها ، بدلا من ان تقوم بتضخيم الاشارة ، فهي تؤدي الى اضعافها .

ان هذه الدارة لا تملك فقط مآثر تاريخية :

ع ــ من هنا يظهر ، خطر الاستنتاجات السريعة ، التى تقدم عليها الاجيال الفتية التي لم تتمكن من الدراسة والتحليل بعد ...! ان الدارة ذات القاعدة المشتركة ، تعتبر في كثير من الحالات ، ذات اهمية عظمى ، فهي تسهل تصميم المضخمات ذات الترددات العالية جدا، وتؤمن نسبة تضخيم لا بأس بها .

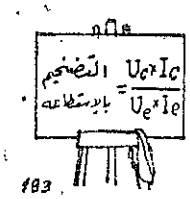
اهمية القاعدة المشتركة

م ــ ما بالك ... تسخر بي ... وتسمي العامل الذي تقل قيمته عن الواحد ، بعامل تضخيم ....؟

ع ــ لتكن هادئا يا عزيزي ...! لقد قلت لك ، ان هذا صحيح ، بالنسبة لتضخيم التيار . ولكن ، ما يهمنا نحن

عادة ، هو الحصول على تضخيم الجهد ، وبصورة خاصة ، تضخيم الاستطاعة . وبالنسبة لذلك ، ينبغي ان اقول لك ، ان مقاومة دخل الدارة ، ذات القاعدة المشتركة ، قليلـــة جدا ، وعمليا ، تشكل فقط ، عدة عشرات من الاوم .

م ــ لا يوجد ما يستدعي العجب ، بالنسبة لي ، وذلك لان عامل التضخيم يعرف ... كنسبة التغيير الصغير في جهد الدخل الى ما يستدعيه من تغيير في التيار وخلافا لما هو معروف، في الدارات ذات الباعث المشترك ، فاننا نتعامل هنا ، مع تيار الباعث وهو يتغير كثيرا ، وبسرعة مع تغييرات جهد الدخل، وتبعا لذلك ، فان تلك النسبة تكون ذات قيمة صغيرة للغاية .



183

ع ــ ان مناقشتك للموضوع جيدة ، ومنطقية ، ياصديقي المبتدىء ولكن خلافا لمقاومة الدخل ، فان مقاومة الخرج ، في الدارة ذات القاعدة المشتركة Cb يمكن أن تملك قيمة كبيرة ، من مرتبة الميغا أوم .

م ــ كم انا غبي اما الان فقد فهمت ، أن تغيرات تيـــار الخرج ، حتى ولو كانت تقريبا تساوي تغيرات تيار الدخل ، الاانها تعطي علـــى مقاومة الخرج الكبيرة ، جهدا كبيرا جدا. ويفوق الجهد المطبق ، على مقاومة الدخل ، ذات القيمـــة المنخفضة ، بمرات كثيرة . وفعلا اننا هنا ، يجب ان نحصل على نسبة تضخيم جيدة للجهد .

ع ــ نعم ، ان عامل التضخيم هذا ، يمكن أن يصل الى بضعة آلاف من المرات ، ولذلك ، يمكننا أن نحصل ايضا ، على عامل تضخيم جيد ، بالاستاطعة . ولكن ، من سوء الحظ انـــه لا يمكن أن يستفاد من ذلك كما يجب .

184

م ــ انت ياعزيزي العارف ، تعرضني لما يشبه الجو **السكوتلندي الحقيقي** ، فكانك ترميني ، من الحرارة الـــى البرودة بسرعة مفاجأة . فلم تكد ترفـــع سمعة الدارة ذات القاعدة المشتركة ، حتى تبدأ بالاساءة اليها فلماذا ...؟

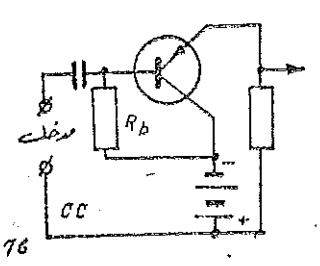
ع ــ ذلك لانه،بعد مرحلتنا هذه،ذات القاعدة المشتركة، يمكن أن تستخدم مرحلة أخرى ، تليها مباشرة ، تكون فيهـــا

مقاومة الدخل ، اقل بكثير من مقاومة الخرج ، كما في الدارة ذات القاعدة المشتركة ، نفسها الامر الذي يؤدي ، الى ضياع الربح بالتضخيم ، الذي كان ، يمكن الحصول عليه ، بفضل مقاومة الخرج العالية ...!

الدارة التالية :

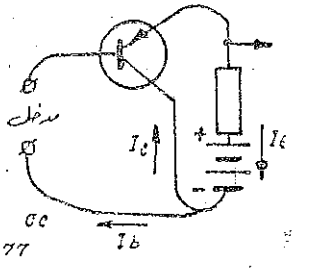
م — يكفينا ما قيل ، ولا اريد أن اسمع ، اكثر من ذلك ، عن تلك الدارة اللعينة ، ذات القاعدة المشتركة ، وانني آمل أن تكون الدارة ذات المجمع المشترك ، اقل خداعا ، وتضليلا، من سابقتها .

ع — قبل أن ندخل في موضوع تحليل الدارة ذات المجمع المشترك ، لا بد أن نشير هنا ، الى انه ، في الحياة العملية ، تصادف حالتين من حالات تصميم هذه الدارة . ففي احدى هاتين الحالتين ، توضع بطارية تغذية المجمع ، بين النقطة المشتركة ، والمجمع نفسه ، كما هو (مبين على الشكل رقم 76) . اما في الحالة الثانية ، فتوضع بطارية تغذية المجمع ، بين مقاومة الحمل ، والسلك المشترك (الارضي)، الذي يتصل معه المجمع ، مباشرة (كما هو مبين على الشكل رقم 77) . ففي الحالة الثانية ، تحصل القاعدة على جهد الانحياز اللازم لها . بالنسبة للمشع ، بصورة اتوماتيكية، بدون وجود مقاومة انحياز ، خاصة لهذه الغاية .



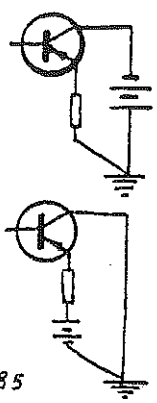
76

الشكل رقم 76 — طريقة وضع مقومة الانحياز ، بالنسبة للدارة المبينة على الشكل رقم 75 .



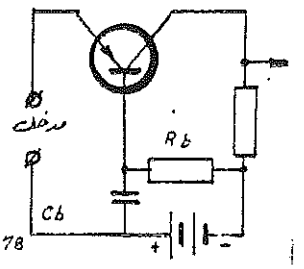
77

الشكل رقم 77 — يبين احدى الحالات،التي يمكن بها تصميم الدارة ذات المجمع المشترك ، وهي تتميز عن الحالة المبينة على الشكل رقم 75 بمكان وضع منبع لتغذية المجمع نفسه فقط .



م ــ اذن في الحالة الاولى ، يجب ان تحوي الدارة ، على بطارية خاصة لتأمين جهد الانحياز .

ع ــ كلا .. ، لا حاجة لذلك أبدا ، بل يكتفي بوجــود مقاومــة بسيطــة R_b ، توضع بين القاعدة والقطــب السالب ، من بطارية منبع التغذية ، للقيام بهذه المهمة ، وذلك بالضبط تماما ، كما هو الحال،في الدارة ذات الباعث المشترك، وبالمناسبة : نقدم هنا دارة عملية ذات قاعدة مشتركة ،تستخدم فيها ، طريقة الحصول على جهد الانحياز للقاعدة ، عن طريق المقاومة R_b ، كما هو مبين على الشكل رقم 78 .



الشكل رقم 78 طريقة الحصول على جهد الانحياز اللازم للدارة المبينة على الشكل رقم 74

م ــ مرحبا .. على مصلحة باعة البطاريات ...، وكى يرتفع مستوى ارباحهم اكثر،فانني افضل لو استعملنابطاريتين، كما هو مبين على دارتنا النظرية . ولكن لنعد الان الى الدارة ذات المجمع المشترك C c ، في هذه الحالة يبدو لي ، انه اثناء عملية التضخيم ، لا يحدث ايضا ، تغييرا في الصفحة . فعندما يزداد الجهد السالب ، على القاعدة،يزداد تيار الباعث، الامر الذي يستدعي ، هبوط جهد اكبر ، على مقاومة الحمل، وتصبح نهايتها العليا ، اكثر سالبية مما كانت عليه منقبل ، (في الحالة المبينة على الشكل رقم 77) ، أو تصبح أقل ايجابية ،(كما في الحالة المبينة على الشكل رقم 76) .

ع ــ صحيح ، ياصديقي المبتدىء ، فمن داراتنا الثلاث ، نجد فقط ، دارة واحدة ، تغير طور الجهد المضخم ، وهــى الدارة ذات المجمع المشترك .

م ــ على مدخل هذه الدارة ، يوجد لدينا ، تيار القاعدة، الذي يكون كالعادة، قليل للغاية . بينما يوجد على المخرج ، أكبر تيار من التيارات الثلاث ــ تيار الباعث ، وتبعا لذلك ، فان هذا الدارة ، يجب أن تعطي تضخيما أكبر ، بالتيار ــ من الدارة ذات الباعث المشترك . وهل ترى مانعا ، اذا عدت من جديد ، الى الاهرف الهجائية الاغريقية ، ورمزت الى عامل التضخيم بالرمز (غاما) . γ

ع ــ انني لا أظن ، أن الاغريق ، يمكن أن يعترضون على ذلك ، ولكنني أراك متحمسا جدا، للتعرف على تلك الدارة ، ذات التضخيم الجيد ، وهانا سوف اضطر من جديد ، للبحث عن ماء بارد ، للتخفيف من حرارة واندفاع الشباب ، لديك .

م ــ أشعر بأنك تحضرلي ، صدمة عنيفة . فتقول لي ، ان الممانعات الداخلية ، تكون معكوسة هنا ، بالمقارنة مع الدارة ، ذات القاعدة المشتركة ، بحيث يتعذر علينا، الاستفادة من التضخيم الرائع للتيار ، في تلك الدارة .

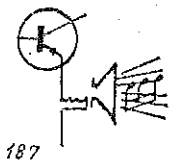
ع ــ نعم ياعزيزي ...! انني لا اخفي عليك ، هذه الحقيقة المحزنة ، والامر هنا سواء كان في الدارة الصمامية ، ذات المصعد المشترك ، المسماة **بالتابع المهبطي** او الدارة الترانزستورية ، ذات المجمع المشترك ، المسماة **بالتابع المشع** فان مقاومة الدخل يمكن أن تصل الى 1 M om في حين أن مقاومة الخرج ، تشكل فقط عدة عشرات من الاومات .

م ــ ان هذا يعاكس تماما ، ما نجده في الدارة ذات القاعدة المشتركة ، وهذا يعني اننا لن نحصل ، على اي ربح في الجهد ، ولا في الاستطاعة .

ع ــ لا بأس ياعزيزي المبتدىء ، ولا داعي للقلق ، فعلى كل حال تستطيع أن تصل بنفسك ، الى هذا الاستنتاج ، اذا لاحظت ، أن مقاومة الحمل ، في هذا المخطط ، تشكل تغذية خلفية سالبة ، قوية جدا . وهذا يعني ، أنه عندما يسعى نصف الدور السالب من الاشارة ، لجعل قاعدة الترانزستور سالبة ، بالنسبة للباعث ، رافعا بذلك تيار الباعث نفسه ،

فان زيادة التيار هذه ، تجعل الباعث نفسه ، أكثر سالبية ، الامر الذي يعيق أو قد يحول دون تأثير اشارة دخل الترانزستور .

م ــ اذن لماذا تستخدم هذه الدارة ، التي لا تستطيع أن تعطينا أي تضخيم للجهد ...؟



187

ع ــ ان هذه الدارة ، تستخدم في بعض الحالات ، عندما تكون هناك حاجة للحصول على تيار كبير ، لاستخدامه مثلا في دفع الاشارة ، الى ترانزستور كبير الاستطاعة . أو عندما تكون هناك ايضا حاجة ، لوجود مقاومة خرج منخفضة . وذلك للحصول على توافق مع مقاومة الحمل ، الامر الذي يصادف مثلا عندما توصل الوشيعة الصوتية للمجهار (السماعة) مع مرحلة التكبير الأخيرة .

م ــ هانذا مرة اخرى ، اقتنع بالحكمة القديمة القائلة ، خير الامور أوسطها ولدى مقارنة دارات توصيل الترانزستور ، نجد أن الدارة ذات الباعث المشترك ، تأخذ وضعا متوسطا ، بين الدارتين الباقيتين ، حيث أنها تتميز : بقيم متوسط خيرة لكل من ، مقاومة الدخل ، ومقاومة الخرج مما سيسمح بالحصول على عامل تضخيم مناسب ، سواء كان من حيث التيار أو الجهد أو الاستطاعة . (1)

ع ــ انك على حق ياصديقي ، لان قيم مقاومة الدخل Rin ، ومقاومة الخرج Rout ، تعتبر أكثر قيم الدارات

---

(1) تضخيم التيار في الدارة ذات المجمع المشترك .

$$\gamma = \frac{\Delta Ie}{\Delta Ib} = \frac{\Delta Ic + \Delta Ib}{\Delta Ib} = \frac{\Delta Ic}{\Delta Ib} + \frac{\Delta Ib}{\Delta Ib}$$

$$\gamma = \beta + 1$$

كما هو واضح من الدارة ذات المجمع المشترك يكون تضخيم التيار أكبر بعض الشيء مما هو في الدارة ذات الباعث المشترك . بين عوامل تضخيم التيار في الدارات الاساسية الثلاث علاقة بسيطة جدا هي :

$$\gamma \times \alpha = \frac{\Delta Ic}{\Delta Ie} \cdot \frac{\Delta Ie}{\Delta Ib} = \frac{\Delta Ic}{\Delta Ib} = \beta$$

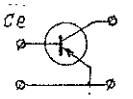
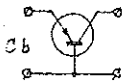
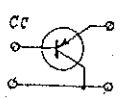
ذات الباعث المشترك توازنـــا . وهي ايضـــا ، في هـــذه الدارة ، اكثر اتزانا منها ، في بقية الدارات : ففي الدارة ذات القاعدة المشتركة ، تنخفض مقاومة الدخل Rin ، انخفاضا شديدا . اما في الدارة ذات المجمع المشترك ، فترتفع هـــذه المقاومة نحوى الاعلى بشدة . اما الان اذا كنت ياعزيزي ، تعدني بانك لن تفشي السر لاحد ، فساكشف لك عن سر جديد في عمل الترانزستور ، لم تعرفه من قبل . هل وافقت علـــى ذلك ...؟ اذن هيا بنا الى اللغز الجديد : وهو ان جـــداء المقاومتين ، مقاومة الدخل Rin ومقاومة الخرج Rout بالنسبة لترانزستور واحد ، يبقى ثابتا بدون اي تغيير ، في دارات التوصيل الثلاث .

188

م ـــ هذا يعني انه اذا كان لدينا ، مثلا دارة ذات باعث مشترك ، مقاومة دخلها Rin = 500 om ومقاومـــة خرجهـــا Rout = 20000 اوم . فان جدائهما ،يساوي 10000000 om عندئذ بالنسبة للترانزستور نفسه ، الموصول في دارة ذات القاعدة المشتركة ، تكون مقاومة الدخل Rin = 50 om ومقاومة الخرج يجب ان تكون $\text{Rout} = \frac{10000000}{50} = 200000$ om واذا كانـــت مقاومة دخل هذا الترانزستور ، عند وصله في الدارة ذات المجمع المشترك Rin = 20000 om فان مقاومة خرجه ، يجب ان تساوي $\frac{10000000}{20000} = 500$ om وبناء على ذلك ، هانذا، اذا سمحت لي، ساحاول وضع لائحة توضيحية (الشكل رقم 79) لاكثر الخواص اهمية، في الدارات الاساسية الثلاث لوصل الترانزستور . كي يكون من السهل ، مقارنـــة هذه القيم فيما بينها ، بشكل بارز وجلـــي .

م ـــ شيء جميل جدا وفكرة رائعة تسمح لنا ان نختم مناقشتنا المفيدة هذه بخاتمة وردية عطرة . (1)

الخواص والعلاقات المتبادلة بين مخططات وصل الترانزستورات

الدارة / المخططات والقيم	ذات الباعث	ذات القاعدة المشتركة	ذات المجمع المشترك
نوع المخطط			
مقاومة الدخل R_{in}	$\Delta Ub / \Delta Ib$ 200 – 2000 om	$\Delta Ue / \Delta Ie$ 30 – 1500 om	$\Delta Ub / \Delta Ib$ 0,2 ÷ 1 M om
مقاومة الخرج R_{out}	$\Delta Uc / \Delta Ic$ 10 – 100 K om	$\Delta Uc / \Delta Ic$ 0,5 ÷ 2 M om	$\Delta Ue / \Delta Ie$ 50 – 500 om
تضخيم التيار	$\beta = \Delta Ic / \Delta Ib$ = 20 – 200	$\alpha = \Delta Ic / \Delta Ie$ اصغر من 1	$\gamma = \Delta Ie / \Delta Ib$ = 20 – 200
تضخيم الجهد	بضع مئات من المرات	بضع مئات أو ألف مرة	حوالي الواحد
تضخيم الاستطاعة	بضع مئات من المرات	بضع مئات من المرات	بضع عشرات
اطوار جهد الدخل وجهد الخرج	متعاكسان في الطور	متفقان في الطور	متفقان في الطور
أوجه الاستخدام	مضخم عام وقالب صفحة	في مجال الترددات العالية جدا عندالعمل مع مقاومة عالية .	عند العملمع حمل منخفض المقاومةومولد ذو مقاومة عالية .

١ في ملاحظاتنا السابقة ، أوردنا علاقة سهلة وبسيطة جدا، بين عامل تضخيم التيار ، في الدارات الاساسية الثلاث للترانزستور . $\beta = \alpha \times \gamma$

وبناء على ذلك ، فان هذه العلاقة تسمح باستخراج ، كل من عوامل التضخيم هذه بدلالة العاملين الاخرين .

الدارات	ذات الباعث المشترك	ذات القاعدة المشتركة	ذات المجمع المشترك
ذات الباعث المشترك	β	$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$	$\beta = \gamma - 1$
ذات القاعدة المشتركة	$\alpha = \frac{\beta}{1+\beta}$	α	$\alpha = \frac{\gamma - 1}{\gamma}$
ذات المجمع المشترك	$\gamma = 1 + \beta$	$\gamma = \frac{1}{1-\alpha}$	γ

الرسالتان المتبادلتان بين الصديقين :

مضمون الرسالتين :

موضوع التوفيق بين المقاومات

ـ كما في حالة الصمامات ، (وربما في حالات اخرى ايضا) يحتل موضوع التوفيق بين المقاومات ، المرتبة الاولى من حيث الاهمية ، في حساب دارات الترانزستورات .

لكن ، قلة معرفة صديقنا المبتدىء ، بأسس الكهرباء ، يجعل من الصعب عليه ان يخوض في مثل هذه المواضيع المعقدة الصعبة ، دون توضيح وتمهيد مسبقين . لذلك كان على صديقه المطلع العارف ، أن يقدم له المساعدة لحل هـذه المسائل ، شارحا له ، بعض المفاهيم والاصطلاحات البسيطة، التي يصعب ، حتى على الفنيون المحترفون ، استيعابها بشكل كاف (بدون شك ، ان القارىء الذي يعرف ماهو التوفيق بين المقاومات ، يمر على هذا الموضوع البسيط ، مـرور الكـرام) .

المواضيع الواردة في الرسالتين :

هي : المنبع والحمل .
القوة المحركة الكهربائية والمقاومة الداخلية ، الجهد الناتج ومولد الجهد ، مولد التيار ، ، الحالة الفضلى لنقل الاستطاعة، التوافق بين المقاومات ، استخدام المحولات ، عامل التحويل الامثـل .

رسالة المبتدىء الى صديقه العارف :

صديقي العزيز :

اذا كان مرض الكريب الاسيوي ، قد حرمني من متعة التحدث ، معك في نقاشنا الشيق المفيد ، فهو لا يثنيني ،عن التفكير في كافة المواضيع ، التي شرحتها لي ، خلال نقاشنا الاخير لقد اقتنعت : بانك تعطي اهمية كبيرة جدا لموضوع

مقاومة الدخل ، والخرج وان قيمة كل من هاتين المقاومتين ، تتغير تبعا لنوع الدارة المستخدمة ، وقد اشرت لي اكثر من مرة ، الى افضلية التوفيق بين المقاومات .

ويجدر بي ، ان اعترف هنا ، انني لم استوعب جيدا بعد ، ما قدمته لي ، من شرح في ذلك الموضوع ، واشعر بنفسي الان ، وكأنني نصف ناقل من النوع P ، لدي الكثير من الفجوات (ثغرات في المعرفة) ، تتطلب الاشباع .

فهل تستطيع انت سد تلك الثغرات ..؟ وانني لاشكرك سلفـــا . .

صديقك المخلص ، المبتدىء

جواب العارف على رسالة صديقه المبتدىء :

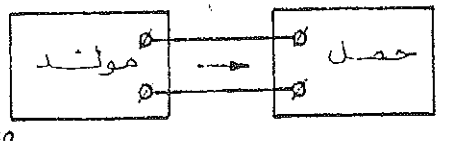
صديقي المسكين ــ المبتدىء :

مسكين انت ...، لقد حلت بك كافة المصائب بآن واحد ... ! كريب . فجوات وقلق .كان الله بعونك،فبشأن المرض الاول ، يجب أن تراجع طبيبك ليساعدك على الشفاء، أما المرض الثاني فسأحاول معالجته أنا ...

نعم ...، ان مشكلة التوفيق بين المقاومات مشكلـــة هامة جدا ، وانني ارغب اليك ، أن تستوعبها بشكل جيد ، وفي كافة الدارات التي سندرسها معا ، سيكون لزاما علينا، أن نستعرض موضوعا هاما ..، الا وهو العمل على نقـــل الطاقة الكهربائية ، من مرحلة الى اخرى ، بأقل قيمة ممكنة، من الضياع . او كما يقال بكلمات أخرى ، بأكبر مردود ممكن.

وهكذا نجد دائما ، في تلك الدارات ، مرسل ومستقبل . ويعتبر الاول بالنسبة للثاني ، بمثابة منبع للطاقة ، « مولد »، أما الثاني الذي يستقبل الطاقة ، فيعتبر بمثابة مستهلك او حمل شكل رقم 80 واستميحك عذرا يا عزيزي،لانني اذكر لك تلك الحقائق والاسماء البدائية ، بعد أن أعطيتها قالبـــا فلسفيا . انك في الحياة العملية ، ستتعامل دائما ، مـــــع المولدات واحمالها . كما أن المولد ، يمكن أن تقابله ليس فقط في محطات الكهرباء . فالمولد قد يكون مثلا : عبارة عن بطارية

مصباح الجيب ، بينما تكون التيلة المتوهجة في اللمبة ، بمثابة حمله (الشكل رقم 80)



الشكل رقم 80 يبين الحالة العامة لعملية نقل الطاقة . من المنبع (المولد) الى الحمل (المستهلك) في أية دارة كهربائية .

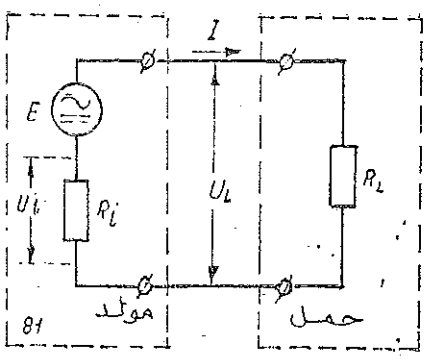
ويعتبر هوائي الاستقبال اللاسلكي ، كذلك ، منبعا (مولدا) للقدرة الواردة الى مدخل جها زالاستقبال ، بينما تعتبر دارة مدخل جهاز الاستقبال ، التي ترد اليها الاشارة من الهوائي ، بمثابت حملا لذلك المولد . وبالمقابل تماما ، يعتبر صمام الخرج ، الذي يعمل في نهاية مراحل جهاز الاستقبال كمولد لحمل يتمثل بالمجهار (السماعة) .

وفي الدارات الترانزستورية ، تمثل دارة خرج كل ترانزستور ، مولد طاقة لدارة دخل المرحلة التالية ، وتقوم هذه الاخيرة ، بمقام الحمل للدارة الاولى .

ولكن هل هناك من داع ، لمزيد من الامثلة في هذا الموضوع ..؟ . المهم ، ينبغي أن نفهم جيدا ، أن أي منبع للطاقة ، (مولد) يتصف بعاملين اساسين هما : أولا ــ القوة المحركة الكهربائية قم E M F وهي القيمة الاعظمية للجهد الذي يستطيع المولد أن ينتجه على مخرجه ، ويمكن أن يقال **انها تمثل قوته الحياتية ..**

ثانيا ــ المقاومة الداخلية وهي R_i المقاومة ،التي يبديها المولد للتيار المار عبره ، مثل أي جزء آخر من الدارة الكهربائية ، التي يمر عبرها التيار (الشكل رقم 81).

وعلى هذه المقاومة الداخلية للمولد R_i يحدث بدون شك ، هبوط جهد بسبب مرور التيار ، الذي يولده المولد نفسه . ولذلك فان جهد خرج المولد Uout الذي ينتج على مربطي مقاومة الحمل ، RI يكون ، أقل من القوة المحركة الكهربائية E M F ، ويزداد الفرق بين القوة المحركة



الشكل رقم 81 القوة المحركة الكهربائية E تعتبر منبعا يولد تيارا I يمر عبر المقاومة الداخلية للمولد Ri ، ويحدث عليها هبوط جهد قدره Ui ، ويمر أيضا مقاومة الحمل Rl ، فيظهر عليها جهد قدره Ul .

الكهربائية E M F والجهد الوارد الى الحمل Ul ، كلما زاد التيار I ، . ومـــن الطبيعي انه ، اذا كـــان الحمل مفصولا ، فان جهد منبـــــع القدرة ، يساوي قوته المحركة الكهربائية ،وفي هذه الحالة يقال ، ان المولد يعمل في حالة اللا تحميل (بدون حمل) .

ومع انني اخشى ان اسبب لك ، ارتفاعا في درجـــــة الحرارة ، اذا زدت لك شحنة المعلومات ، فانني اقترح عليك أن تستعرض بانتباه ، العمليات الحسابية البسيطة التالية :

لنفرض أن المقاومة الكلية هي $Ri + Rl$

وبالتالي يكون التيار المار عبر الدارة حسب قانون أوم هـــو

$$I = \frac{E}{Ri + Rl}$$

ان هذا التيار يحدث هبوط جهد على المقاومة الداخلية قـــدرة

$$Ui = \frac{E}{Ri + Rl} Ri$$

وينتج هبوط جهد على مقاومة الحمل Rl قـــدره

$$Ul = \frac{E}{Ri + Rl} Rl$$

واذا بقيت لديك قدرة على الاستزادة مـــن العلم تمم العملية الحسابية واجمع الجهدين فتحصل على : $Ui + Ul = E$

وهذا ما يجب أن نتوقعه ، وها انت رايت بام عينك ، أن القوة المحركة اليهربائية ، E M F تنقسم الى جهدين:

U_i – وهو عبارة عن الجهد الهابط داخـــل المولد ، (الهبوط الداخلي للجهد) .

U_l الجهد الهابط على الحمل (وهو عبارة عن الجهد المتكون على المربطين الخارجيين للحمل نفسه) .

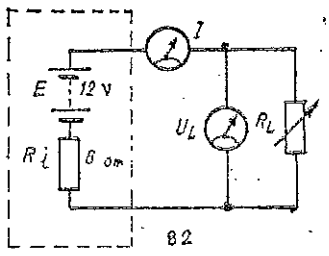
ان هـذا التوزيـع للجهـد يتـم بتناسـب طردي ، بين مقاومة الحمل والمقاومة الداخلية للمولد ، واذا كانت المقاومة الداخلية للمولد ، صغيرة جدا بالمقارنة مـع مقاومة الحمل ، يكون الجهد الهابط داخل المولد ، قليلا جـدا أيضا . أما الجهد الهابط على الحمل ، فيكون مساويا للقوة المحركة الكهربائية تقريبا . وفي هذه الحالة ، تظهر القـرة المحركة الكهربائية المتناوبة ، على شكل جهد متناوب ، ولذلك يقال ، ان التغذية تتم من مولد الجهد . مباشرة ، مع العلم ، بأن حالة عمل المولد هذه ، تكون قريبة من اللاتحميل .

وفي الحالة العكسية ، عندما تكون المقاومة الداخلية R_i لمنبع القدرة اكبر بكثير ، من مقاومة الحمل R_l ، نجد أن القوة المحركة الكهربائية بكاملها تقريبا، تضيع على شكل هبوط جهد ، داخل المنبع U_i ، أما الجهد U_l المتبقي على المربطين ، والمطبق علـى مقاومة الحمل ، فلا يشكل الا جزءا ضئيلا جدا ، من القـوة المحركة الكهربائية للمولد ، وفي هذه الحالة يهمنا بالدرجة الاولى ، التيار I والذي يتناسب مـع القوة المحركـة الكهربائية ، ولا يتأثر عمليـا بمقاومة الحمل ، لانه بسبب ضالة هذه المقاومة ، فان التيار يتحدد أساسيا ، بالمقاومة الداخلية وعندئذ يقال ، ان التغذية تتم **من مولد التيار** . وتكون هذه الحالة **قريبة مـن حالة دارة القصر** .

وعند استعمال الترانزستورات ، يمكن أن تصادف كل من الحالتين ، ولكننا لا نحصل على أقصى مردود ، الا بتطبيق القاعدة الذهبية **خير الامور أوسطها** .

وعند اختيار دارات الربط بين المراحل الصمامية، نسعى بقدر الامكان ، أن نعطي الى مدخل المرحلة التالية ، اعظم قيمة

من الجهد . والعجيب في الامر ، ان الامور تسير هنا مرتبة على أحسن ما يرام ، وذلك لان المدخل ، بين الشبكة والمهبط، يكون عادة ذا مقاومة كبيرة ، الى مالا نهاية . ولذلك ترد اليه، كامل القدرة المحركة الكهربائية ، الناتجة في دارة خرج المرحلة السابقة . ان هذا مثال نموذجي ، لحالة مولد الجهد ، ولكن الامور يا عزيزي ، تختلف في حالة الترانزستورات ، فهنا نجد انه ، كي يهبط جهد على مدخل الترانزستور ، يجب صرف قيمة معينة **من الاستطاعة** لانه مهما كان نوع دارة توصيل الترانزستور ، فلا بد أن يمر تيار ، عبر مدخل الترانزستور ، وهكذا يمكن ان نقول ، أن الصمامات ، تكتفي بالجهد أما الترانزستورات ، فعندما يعطي اليها جهد معين ، لا بد وان تمتص تيارا معينا ، وجداء الجهد بالتيار ، هو طبعا عبارة عن الاستطاعة وعملية نقل الاستاطعة ، ليست بالمهمة السهلة ، ويمكن أن تحكم على ذلك بنفسك ، اذ اننا نسعى لنقل اكبر كمية ممكنة من الاستطاعة ، الى الحمل ، اي نسعى لنقل اكبر قيمة ممكنة من التيار ، مع اكبر قيمة من الجهد ، شكل رقم 82 .



الشكل رقم 82 دارة تجريبية ، لدراسة تاثير ىمقاومة الحمل، وهي تسمح لنا باستخراج المنحنى البياني المبين على الشكل رقم 83 والمقاومة الداخلية للمولد R i مبينة بشكل مستقل عن المرمز الاصطلاحي للبطارية ولكن في الحقيقة ، هي مقاومة البطارية نفسها ، كسي لا يحدث خطأ في قياس قيم التيارات والجهود ، يجب أن تستعمل مقياس تيار I ومقياس جهد U الاول منخفض المقاومة والثاني عالي المقاومة للغاية

ـ وهل تريد أ نتعرف ، ما هي قيمة مقاومة الحمل ، التي تعطي أحسن النتائج ..؟

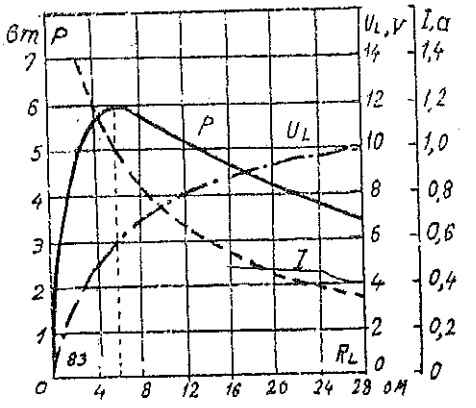
اذا كانت تلك المقاومة صغيرة ، بالمقارنة مع المقاومة

الداخلية للمولد ، فان التيار سوف يكون أكبر ، وهذا أفضل طبعا ولكن عندئذ يهبط القسم الاكبر من الجهد ، داخل منبع الجهد نفسه ، فيصبح الجهد على مقاومته الحمل اقل وهذا طبعا أسوا .

لنتأمل الان حالة معاكسة ، فنفترض ان مقاومة الحمل ، اكبر بكثير، من المقاومة الداخلية للمنبع. عندئذ (كما في حالة الدارات الصمامية ، نكون قد أعطينا لمقاومة الحمل،كامل القوة المحركة الكهربائية تقريبا ، وهذا أفضل ، من جهة ، أما من جهة ثانية ، فيكون أسوأ ،لان التيار يكون بنفس الوقت أقل . .

هل لك أن تنبئنا يا صديقي المبتدىء ، ما هو الحل الافضل ، في هذه الحالة ...؟ وبالتالي يمكنك أن تستنتج أن **خير الامور أوسطها** ،وأن مقاومة الحمل يجب أن لاتكون اكبر أو أصغر ، من المقاومة الداخلية للمولد . وبعبارة أخرى يقال ، ان اعطاء أكبر قيمة **من الاستطاعة** ، يتحقق عندما تكون **مقاومة الحمل مساوية لمقاومة المولد** . ويسمى هذا الشرط ، **بشرط التوفيق بين الحمل والمولد .**

ولكي أقنعك بذلك ، بشكل أفضل ، لم أتوانى . عن وضع مخطط بياني ، يمثل تابعية الاستطاعة ، المعطاة الى الحمل P I ، والتيار I والجهد U I (بالنسبة لمنبع ذي قوة محركة كهربائية E = 12 V ومقاومة داخلية قدرها R 2 = 6 om) الى مقاومة الحمل R I (الشكل رقم 83).

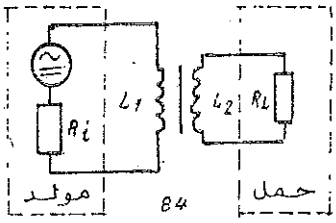


شكل رقم 83 تابعية الاستطاعة P والجهد U والتيار I لمقاومة الحمل R I

وكما ترى من الشكل ، عندما تزداد مقاومة الحمل Rl ، ينقص التيار I ويزداد الجهد Ul ويصل جداؤهما بسرعة الى قيمته العظمى ، عندما تكون Ri = Rl = 6 om وبعد ذلك ينخفض ببطء ليس ذلك مقنعا بما فيه الكفاية ...؟

ولكن من الخطأ الاعتقاد أن الشرط الافضل ، لنقل (القدرة) الطاقة ، يتطلب دائما ، دقة متناهية في التوفيق بين المقاومات . فالمتطلبات الاخرى الضرورية ، لنقل الطاقة مثل : وجود خطية جيدة . يمكن ان تجبرنا على اختيار علاقة معينة بين Ri ، و Rl تختلف بشكل ملحوظ عن حالة التوفيق . وانني أشعر الان ، انه بعد ذلك ، يمكن ان نتساءل . كيف يمكننا التوفيق بين المولد والحمل ، ليعملان معا ، في حالة وجود اختلاف كبير بين مقاومتيهما ، وبدون أن نفرط كثيرا ، عندئذ ، في الاستطاعة ... ؟

وبالفعل كيف يمكن ، أن ننقل الطاقة الى ترانزستور ، ذي مقاومة دخل منخفضة ، من ترانزستور آخر ، يملك مقاومة خرج كبيرة ، وكيف يمكن أن تنقل الاستطاعة ، من صمام ذي مقاومة داخلية عالية ، الى الملف الصوتي لجهاز السمع (السماعة) ، ذي المقاومة الاومية المنخفضة . وكيف يتم نقل الطاقة ، من مكرفون كهروديناميكي ، ذي مقاومة داخلية صغيرة للغاية الى مدخل صمام التضخيم الذي تكون مقاومته الدالخية كبيرة للغاية ...؟ ويمكن أن تتنبأ بالجواب ... ان التوفيق بين المقاومات يتم بواسطة صاحبك المعروف من قديم الزمان ... بواسطة المحول . وانه من اجل ذلك يجب اختيار نسبة ملائمة بين عدد لفات الملف الابتدائي والثانوي (شكل رقم 84) .



شكل رقم 84 مخطط التوفيق بين المقاومتين المختلفتين المولد والحمل الذي هو عبارة عن محول ذي نسبة تحويل ملائمة .

ومن البديهي أنمقاومة الحمل ، والذي هو عبارة عن الملف الابتدائي للمحول ، يجب أن تكون مساوية ، للمقاومة الداخلية للمولد . وكذلك نجد أن مقاومة المولد المحولة الى الملف الثانوي للمحول ، يجب أن تكون مساوية لمقاومة الحمل . ويتحقق شرط التوفيق هذا ، اذا كانت المانعتان التحريضيتان للملفي المحول ، متناسبتين مع مقاومتي دارتي كل منهما .

وأنت تعلم يا عزيزي ، أن المانعة التحريضية ، لاي ملف R_1 تساوي تحريضه الذاتي مضروبا بسرعة التردد الزاوي :

$$\omega = 2\pi f$$

وتبعا لذلك اذا اعتبرنا أن التحريض الذاتي للملف الاول والثاني هو L2 ، L1 على التوالي فاننا نحصل علـــى :

$$\frac{Ri}{R1} = \frac{WL1}{WL2} = \frac{L1}{L2}$$

ويمكنك أن تتذكر ان التحريض الذاتي للوشيعة يتناسب طردا مع مربع عدد لفاتها فاذا رمزنا الى عدد لفات الملف الاول W1 والملف الثاني W2 فيمكننا أن نكتب

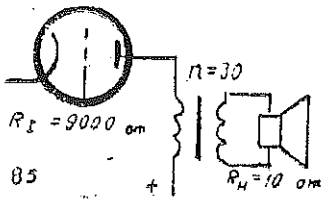
$$\frac{Ri}{R1} = \frac{wLi}{wL2} = \frac{W_1^2}{W_2^2} = \left(\frac{W1}{W2}\right)^2$$

ولكن ماذا تعني النسبة $\frac{W1}{W2}$ ياصديقي المبتدىء . . . ؟ انها كماتذكر نسبة عدد لفات ملفي المحول ، وتسمى **بعامل التحويل** n وتبعا لذلك يمكن ان نكتب

$$n = \sqrt{\frac{R_i}{R_L}} \quad \text{او} \quad n^2 = \frac{R_i}{R_2} .$$

ان هذه النتيجة ذات اهميـــــة عظمى : فلناخذ على سبيل المثال صمام عالي الاستطاعة مقاومته الداخلية تساوي $R_i = 9000$ om (الشكل رقم 85)

فاذا كانت الاشارة الصادرة عنه تذهب الى مجهـــــار (سماعة) تبلغ مقاومة ملفه الصوتي 10 om ، فعند ذلك



الشكل رقم 85 محول خافض يسمح بالتوفيق بين المقاومة الصغيرة للملف الصوتي للمجهار (السماعة) مع المقاومة الداخلية العالية لصمام مضخم الخرج .

يجب أن يوصل فيهـــا محول ،تحدد نسبـــة لفات ملفه الاول الى الثانوي كما يلي :

$$n = \sqrt{\frac{9000}{10}} = \sqrt{900} = 30$$

سأتوقف الان عند هذا الحد ، لانني لا أريد ان أؤخر شفائك بالاسبيرين واتمنى لك الشفاء العاجل .

صديقك العـــارف

ع

المناقشـــة العاشرة :

جمع طرق الوصل :

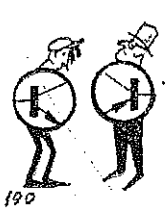
خلال المناقشات السابقة ، قام العارف والمبتدىء بدراسة عمل ترانزستور وحيد مستقل ، أما الان فهما يريدان دراسة دارة ، تحتوي على عدة ترانزستورات ، وطرق ربط هـــذه الترانزستورات فيما بينها ، وتقوم دارات الربط ، بنقـــــل الاستطاعة ، من كل ترانزستور الى الترانزستور الاخر ، الذي يليه ، وكما سيبين فيما بعد ، اضافة الـــى دارات الربط ، المستخدمة في الصمامات ، يمكن أن تستخدم هنا مجموعة من دارات الربط ، خاصة بالترانزستورات فقط .

ويتم تركيب تلك الدارات بذكاء حاد مما يثير الدهشـــة والحماس العاصف ، لدى صديقنا المبتدىء في بادىء الامر .

محتويات المناقشـــة : الدارات الاسسية ، في حالـــــة الترانزستورات من النموذج n-P-n ، الخواص الايجابية والسلبية لدارات الربط ، ضبط شدة الصوت ، طريقة الربط بمقاومة ومكثف، سعة مكثف الربط، طريقة الربط المباشر، مضخم التيار المستمر ، الدارة ذات التناظر الاضافي ، الدارة ذات الترانزستورين المتواليين .

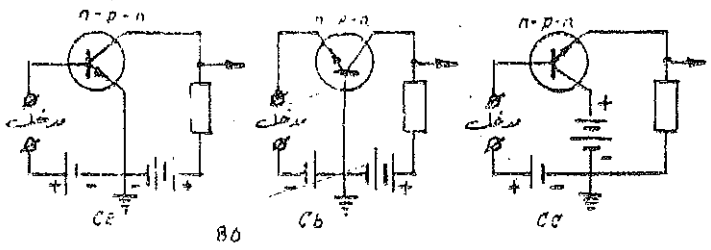
عن الترانزستورات نموذج n-P-n

م : في الفترة الاخيرة اراك يا صديقي ، تحدثني فقط عن الترانزستورات من النموذج P-n-P واصبحت علاقتك ، مع الترانزستورات نموذج n-P-n كعلاقة الغني ، مع قريبه الفقير



ع : نعم ولذلك يوجد سببين ، **أولا** النموذج P-n-P هو الاوسع انتشارا . **وثانيا** : ان كـــــل ما اوردناه عـــن الترانزستور لانموذج P-n-P يمكن ان ينسب تماما، الى الترانزستور نموذج n-P-n ، ولذلك يلـــــزم فقط ، تغير قطبية منبع التغذية ، وقطبية المكثفات الكيميائية الموجودة في الدارات .

م : ان هذا ما فعلته أنا بالضبط عندما طبقت على الترانزستور نموذج n-P-n ، الدارات الاساسية الثلاث،عندما درسناها في المرة السابقة وخلال وجودي مريضا على الفراش ، رسمت هذه الدارات الثلاث . (الشكل رقم86)



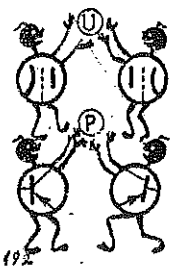
86

الشكل رقم 86 الطرق الاساسية الثلاثة ، لتوصيل الترانزستور نموذج n-P-n ، يجب الانتباه الى قطبية البطاريات .

ع : لا تبالغ ياصديقي في الموضوع ،...! لاننا اذا استعرضنا هذه الدارات ، نرى لزاما علينا ، أن نعترف ، بانها وضعت بشكل سليم وخالية من المساوىء،او أن هذا يعنى أن الكريب ، لم يؤثر على قدرتك العقلية ، تأثيرا سلبيا ...!

م : وانا كنت آمل ذلك ،..؟ وانتظر على احر من الجمر، وبفارغ الصبر ، عودتنا لدراسة الدارات الكاملة للمضخمات واجهزة الاستقبال الترانزستورية ، وبنفس الوقت اعتقد ، أنه عندتصميم مثل هذه الدارات ، يمكن الاستفادة ، من الطرق والمبادىء المعروفة لدينا ، في الدارات الصمامية ، آخذين بعين الاعتبار ، مقاومة الدخل المنخفضة ، عند الترانزستورات .

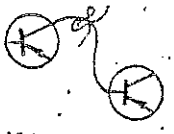
الفوارق الاساسية :



ع : يمكن أن نقول نعم ويمكن أن نقول لا ...! ياصديقى الم ياخذك العجب من اجابتي المقنعة الجاهزة هذه...؟انكافة دارات الربط ، المستخدمة في الدارات الصمامية ، تكون بلا شك ، قابلة للاستخدام ، في الدارات الترانزستورية ، ولكن الاكثر من ذلك هو ، أنهتوجد فوارق أساسية بينهما ، أهمها : انه في اية دارة صمامية ترسل كل مرحلة،الى المرحلة التيتليها الجهد الذي ضخمته ، ما عدا المرحلة النهائية ، التي ينبغي أن تعطي استطاعة معينة ، ويتم التحكم فيها ، على الاغلب ،

بواسطة الجهد . وخلافا لذلك ، نجد في الدارة الترانزستورية، أن كل مرحلة تضخم الاستطاعة وترسلها الى المرحلة التالية ، التي تقوم بدورها أيضا بتضخيم الاستطاعة ، وبودي أن اقول ان جهاز الترانزستور ، هو حلقة من المراحل ، التي تتطور وتنمو فيها الاستطاعة باستمرار .

م : انني اعترف ، أن هذا يغير جوهر الموضوع ، بشكل محسوس ، وانت قد أوضحت لي ، برسالتك جيدا ، انه اذا اردنا اعطاء جهد اعظمي ، الى مقاومة الحمل ، فانه لا بد وان تكون هذه المقاومة ذات قيمة كبيرة ، ويتحقق ذلك بسهولة في حالة الصمامات ، لان مقاومة دخل الصمام كبيرة جدا ، (الى مالانهاية) ، . أما في حالة الدارات الترانزستورية ، فنحن نسعى الى نقل اكبر ما يمكن من الاستطاعة . وللوصول الى هذم الغاية ، يجب أن تكون مقاومة الحمل ، مساوية للمقاومة الداخلية للمنبع . وبنفس الوقت نعلم ان ، في دارات التوصيل الثلاث ، التي مرت معنا تكون مقاومة الدخل ، . مختلفة تماما ، من مخطط لاخر ، وكذلك تكون مقاومة الخرج ، مختلفة تماما ايضا ومن هنا ، فانني بمنطقي ورايي الحديدي ، اتوصل الى نتيجة ، هي انه،من الضروري ان يتحقق التوافق بين المقاومات بواسطة المحولات المناسبة ، ومن هنا نستنتج ايضا ، ان المحولات ، يمكن أن تعتبر الوسيلة الوحيدة ، للربط بين الترانزستورات .

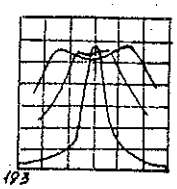


ع — يؤسفني ياعزيزي : أن اكون مضطرا لمخالفة رايك، لان حق الوجود في تكنولوجيا الترانزستورات لايقتصر على المحولات فقط ، ولان طريقة الرابط بواسطة المقاومات ،علك هذا الحق ابطا ، (وبمفهوم أوضح وادق — الربط بواسطة المقاومات والمكثفات) ، كما انه يمكن أيضا ، الاستغناء عن عناصر الربط نهائيا ، وذلك بوصل مخرج ترانزستور اية مرحلة بمدخل ترانزستور المرحلة التي تليها مباشرة .

م — كيف . . ؟ بواسطة قطعة بسيطة من سلك ناقل . . ؟

حسنات ومساوىء المحولات :

ع ــ هكذا بالضبط ...! ولكن دعنانناقش بالترتيب ، كل حالة من حالات الوصل ، وبما انك معجب بالمحول فسوف نبدا به ، وقد سبق لك ان ذكرت احدى خواصه الايجابية ، وهي : انه يسمح ، وبشكل رائع ، بتحقيق التوفيق بين مقاومة خرج كل مرحلة مع مقاومة دخل المرحلة اللاحقة ، اي انه يحقق الشرط الافضل ، لنقل الاستطاعة ، كما أنه يتصف بمزايا ايجابية أخرى . فالمقاومة الصغيرة لاسلاك ملفاته ، تستدعى هبوط ، كمية قليلة جدا من جهد التغذية عليها . ولذلك ، يمكن استخدام منبع تغذية ، ذي جهد ليس بكبير ، وثمة ميزة أخرى ، تعتبر ذات اهمية خاصة ، بالنسبة لمضخمات الترددات العالية ، وهي : انه باختيار درجة الترابط المناسبة ، مع دارة الطنين ، يمكن الحصول على انتقائية جيدة في مراحل الترددات العالية والترددات المتوسطة . وبذلك لا يمكن فقط ، انتقاء درجة الترابط المطلوبة ، بين كل ترانزستورين متجاورين ، بل يمكن الحصول ايضا ، على عرض نطاق التمرير اللازم للترددات .



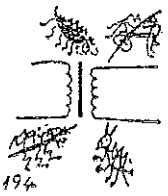
م ــ انك ترى في المحولات ، فقط النواحي الايجابية ، وانني لا أستطيع أن افهم لماذا ..؟

ع ــ كما هو واضح ، يجب أن أوضح لك ، الوجه الاخر من الميدالية ايضا . وقبل كل شيء ، فعلى الرغم من اية درجة من التطوير والتقدم ، الذي توصلت اليه الصناعة ، في تصغير حجم القطع والعناصر ، فان المحول ، لايزال يشغل مكانا اكبر من المكان الذي تشغله دارة الربط بمقاومة ومكثف (لذا تفضل دارة الربط هذه بمجال الترددات المنخفضة . بينما نجد أنه في وحدات التردد العالي والمتوسط ، لا يمكن لاي من أنواع دارات الربط أن تنافس الربط بواسطة المحول) . وبالاضافة الى ذلك ، يكون محول الترددات المنخفضة ، اكبر ثمنا ، من المقاومات والمكثفات اللازمة للربط .

م ــ مختصر الكلام ــ ان استخدام المحول ، يتطلب التضحية بالمكان والفلوس في آن واحد ...؟

ع — ان الشركات التي تنتج اجهزة الاستقبال الترانزستورية ، ليست كريمة ... بل يحدوها الطمع للربح الاكبر ، وبما أن الاقبال على شراء الاجهزة الترانزستورية الثقالة يزداد اكثر فأكثر ، لذلك فان الشركات باقلاعها عن استخدام المحولات ، تحصل على ارباح مضاعفة . ومن جهة ثانية ، يرتبط استخدام المحول ، كعنصر ربط ، بصعوبات اخرى ، وعلى الاخص ، اذا وضع على مدخل مضخم ذي عامل تضخيم كبير .

م — ما هي هذه الصعوبات بالضبط ...؟

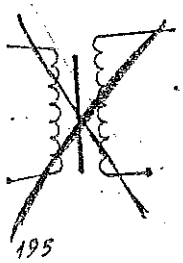


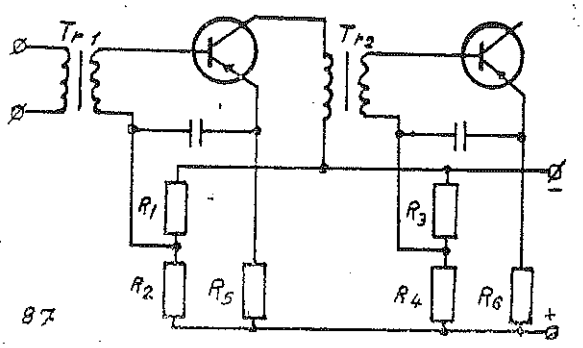
ع — تتحرض في ملفات المحول اشارات دخيلة طفيلية، تضخم بعد ذلك ، وتصبح منبعا للتشويش والضجيج الداخلي ولذا يستبعد استخدام المحول ، في حالات وجود مجالات للتداخلات القوية .

هذه هي المخططات العملية التي يستخدم فيها المحول كعنصر ربط .

— يا للعجب ...! ياحرام . كم من التهم الصقت بهذا المحول المسكين ، ولكن ، هل استطيع ان اعرف كيف يتم وصل المحول ، اذا كانت اعتبارات التوفير والتداخل لا تحول دون استخدامه .

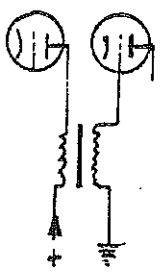
ع — ان الدارة الترانزستورية التي يستخدم فيها المحول كعنصر ربط ، لاتتميز عن الدارة الصمامية المقابلة لها ، وقد بينت لك هنا ، ترانزستورين موصولين ، بطريقة الباعث المشترك (شكل رقم 87) ، ويستخدم المحول الثاني T2 للربط بين الترانزستورين الاول والثاني ، وينبغي أن يكون ، عدد لفات الملف الثانوي ، للمحول الثاني ، اقل بكثير من عدد لفات ملفه الابتدائي ، فاذا كانت ، مقاومة خرج الترانزستور الاول Rout 1 = 20000 om ومقاومة دخل الترانزستور الثاني





الشكل رقم 87 دارة يستخدم فيها المحول كعنصر ربط بين مرحلتين ، الترانزستوران موصولان بطريقة الباعث المشترك ــ ترد الاشارة الى المرحلة الاولى كذلك عن طريق محول الربط .

191



197

Rin 2 = 250 Ω ، فللحصول على احسن توفيق ،يجب أن يكون عامل التحويل مساويا لـ .

$$n = \sqrt{\frac{20000}{250}} = \sqrt{80} = 9$$

م ــ اني أرى ، أن جهد الانحياز يرد الى قاعدتـــي الترانزستورين ، من مقسمي الجهود R_3 R_4 و R_1 R_2 واراك استخدمت في دارتي باعثي الترانزستورين كل مـــن المقاومتين R5 و R6 اللتين تستخدمان ، لابطال تأثـــير الحرارة في المرحلتين .

ع ــ برافو ــ برافو ايها المبتدىء ، ان ذاكرتك الرائعة، لم تتأثر بمرض الكريب الاسيوي .

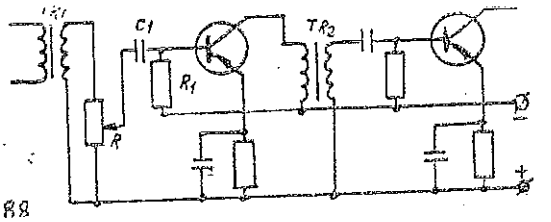
م ــ انني بعد تأملي لمخططك اتساءل ...! كيف تنوي ضبط قوة الصوت ...؟

ع ــ انني هنا لم افكر في ضبط قوة الصوت،او بالاحرى ضبط نسبة التضخيم ، وقد كان بالامكان تحقيق ذلك،بواسطة تغذية عكسية ، سالبة متغيرة ، ولكنني اعتقد ، أن هـــذه الطريقة غير مرغوب فيها . فقبل كل شيء ، لا يمكن بواسطتها خفض قيمة التضخيم الى الصفر ، حتى نحصل على الصمت التام . واضافة الى ذلك ، نجد انه ، عند تغير شدة الصوت ،

يتغير بنفس الوقت ، عامل التشويه ، ويكون التشويه أعظميا، عندما تكون قوة الصوت أعظميـــة .

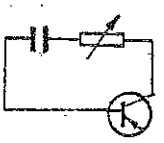
م — هذا يعني ، أنه عندما يكون التشويش أعظميـــا ، فانه من الصعب ، التخلص منه ، واستبعاده نهائيا ، وماذا تقترح أنت اذا في هذه الحالة ...؟

ع — في هذه الحالة،يمكن استخدام مقاومة متغيرة R كما في (الشكل رقم 88) بمثابـــة ضابط لشدة الصوت ،



88

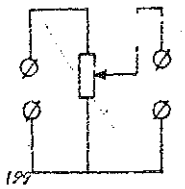
شكل رقم 88 يبين طريقة الربط المختلط ، بواسطة محول ومقاومة ومكثف حيث تستعمل المقاومة R_1 ،لضبط نسبة التضخيم ، (شدة الصوت)



198

وتسمح لنا تلك المقاومة المتغيرة ، بأخذ قسم كبير او صغير من الجهد ، الذي يظهر على الملف الثانوي ، من المحول الاول ، وذلك حسب الحاجة . كما أن زالقة هذه المقاومة المتغيرة ، موصولة مع قاعدة الترانزستور الاول ، عن طريق مكثف الربط C_1 ، وفي الدارة الجديدة ، يستخدم مكثف آخر كعنصر ربط بين الترانزستورين .

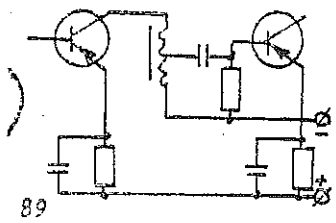
م — ان مضخمك الثاني ، يذكرني بالاساطير ، التي تتحدث عن مخلوقات ، نصفها حصان ونصفها الاخر انسان. ففي المخطط المذكور ، يكون نصف دارة الربط ، عبارة عن محول ، والنصف الاخر ، عبارة عن مقاومة ومكثف .



199

ع — انني لا أنكر ...! اننا في هذا المخطط ، نخسر بساطة المخطط ، الذي يستخدم للربط ، المحولات فقط . وربما يعجبك أكثر ، المخطط الذي يشتق منه ، منطقيا ، وهو المخطط الذي يتم فيه ، الربط بواسطة محول ذاتي . (الشكل رقم 89) وهو يكون عادة ، عبارة عـــن محول خافض للجهد ،

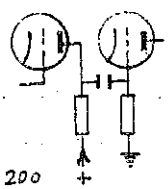
لكـــي يـــؤمن التوفيـــق بـــين مقاومـــة الخرج العاليـــة ، للترانزستور السابق ، ومقاومة الدخل المنخفضة،للترانزستور اللاحق ، على افتراض ، أن كلا الترانزستورين ، مربوطين بطريقة الباعث المشترك .



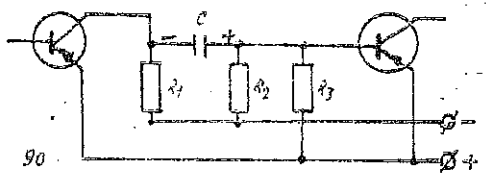
الشكل رقم 89 دارة يستخدم فيها المحول الذاتي ، كعنصر ربط.

م ـــ وهذا أيضا نصفه لحم ونصفه سمك ...!

الدارات التي تتضمن مقاومات ومكثفات فقط :



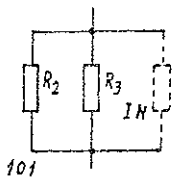
ع ـــ اذا كانت الدارات المختلطة ، تسبب لك ازعاجا ، فلننتقل الى المضخم المبني على مقاومات ومكثفات ، وترى مخطط هنا على هذا الشكل (شكل رقم 90) .



شكل رقم 90 دارة الربط بمقاومة ومكثف .

م ـــ انه يتشابه ، مع الدارة الصمامية ، ذات الربط بمقاومة ومكثف ، كتشابه قطرات الماء ونجد هنا ، أن مقاومة دارة المجمع R_1 ، تقابل مقاومة دارة المصعد ، أما المقاومتان R_3 و R_2 اللتان تحددان جهد القاعدة ، فهما الاخـــتان الصغيرتان ، المقاومة التسرب ، التي تستخدم فـــي دارة الشبكة ، وأما المكثف C فالغريب انه هنا . عبارة عن مكثف كيميائي ... ! اليس من الافضل ، أن يكون ذلك المكثف ، عبارة عن مكثف ورقي ، جيد النوعية ، سعته حوالـــي 0,05 ميكروفارار ، كالمكثف الذي يقوم بالمهمة الموكلة اليه جيدا ، في المضخمات الصمامية ...؟

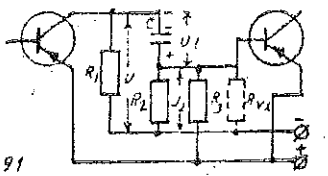
ع — ان استخدام مثل هذا المكثف ، في وضعنا الحالي ، يشكل كارثة ...!، ففي الدارة الصمامية ، يوصل المكثف C ، مع مقاومة التسرب في دارة الشبكة ، التي تبلغ مقاومتها عادة ، حوالي 0,5 M om ميغاأوم . أما في الدارة الترانزستورية ، فنجد أن المقاومة الكلية للمقاومين R_3 ؛ R_2 الموصولتين على التفرع ، تساوي حوالي 1000 om تقريبا . وعدا عن ذلك ، تتصل بهما وعلى التفرع أيضا مقاومة دخل الترانزستور الثاني $R_{in\,2}$ ، الغير مرئية عمليا ، ولكنها موجودة فعلا ، وتملك قيمة من نفس مرتبة المقاومة الكلية للمقاومتين R_3 ، R_2 ، تقريبا، الى حوالي 1000 om .



101

م — ذلك يعني ، أن المقاومة الكلية لتلك المقاومات مع بعضها ، تساوي 500om ولكنني لم الاحظ ذلك ...!

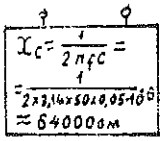
ع — دقيقة من الصبر ياعزيزي ...! فاننا نستطيع أن نرسم مخططا بشكل آخر، (شكل رقم 91) ويبدو واضحا ، على هذا المخطط ، أن المكثف C ، بالاشتراك مع المقاومتين R_2 و R_3 ومقاومة دخل المرحلة الثانية Rint ، يشكل مقسما لجهد خرج Uout المرحلة السابقة ، فما هي المقاومة السعوية ، في هذا المقسم اذن ...؟


91

شكل رقم 91 نفس المخطط السابق ، المبين في الشكل رقم 90 الا انه وضع هكذا بشكل فيزيائي يظهر بوضوح ، مقسم الجهد المكون ، من المكثف C ،والمقاومات الثلاث R 3 , R 2 , Rin الموصولة على التوازي ، فيما بينها .

م — انها تابعة لتردد التيار المتناوب ، وانها تتناقص بارتفاع هذا التردد ...

ع — وبدون شك اذا أخذت مكثفنا المحبوب ، الذي قيمته 0,05 MF ميكروفاراد . ووصلته في دارة تيار متناوب ،



202

بتردد قدره 50 Hz هرتز ، فان المانعة السعوية ، لهذا المكثف تشكل حوالي 64000 om اي انها تكون اكبر بحوالي 130 مرة ، من المقاومة الكلية ، لمقاومات الثلاث R_2 ; R_3 ; R_{in} الموصولة على التفرع.

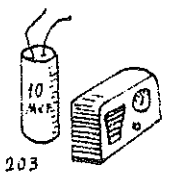
م ــ يا له من فقر مدقع فالجهدان U2 و U1 يتناسبان مع المانعات ، التي تؤلف مقسم الجهود ، وتبعا لذلك ، فان الجهد U2 ، يشكل 1/130 من جهد خرج المرحلة الاولى U1 ، ولايرسل الى الترانزستور الثاني الا ذلك الجزء الضئيل (١).

ع ــ من هنا نرى ، انه لايتم تبذير الطاقة ، بدون مبرر، ويجب استخدام مكثف كبير السعة ، كالمكثف الكيميائي ، الذي تبلغ سعته 10 M f مثلا ، فهذا المكثف يكون ذو ممانعة قدرها 300 om اوم ، ، فقط بالنسبة للتيار المتناوب ، الذي تردده 50 H z هرتز ، وهو يسمح بنقل أكثر من نصف الجهد ، الى المرحلة الثانية . أما على الترددات الاعلى ، فتكون المانعة السعوية للمكثف ، اقل أيضا ، والنتيجة ، تكون افضل مما سبق : واذا لم تكن المانعة السعوية صغيرة ، لدرجة كافية ، فان ذلك يؤدي الى اضعاف غير مرغوب فيه ، لجهد الترددات المنخفضة .

يجب أن تكون حذرا ...! من ناحية القطبية

م ــ اذا كان فهمي ، للموضوع صحيحا ، فان الدارة الترانزستورية ، التي تكون قيم المقاومات فيها ، أقل من قيم مقاومات الدارات الصمامية ، تستخدم فيها غالبا ، المكثفات الكيميائية . ولكنني أتساءل هنا ...! ، الا تنشأ صعوبات بسبب الابعاد الكبيرة لهذه المكثفات ....؟

ان التحليل الاعمق ، لهذه الدارة ، وبصورة خاصة ، عندما تؤخذ بعين الاعتبار ، مقاومة خرج الترانزستور الاول ، يبين لنا ، أن الوضع ،ليس خطيرا الى تلك الدرجة،ولكن المناقشة الواردة هنا ، تبقى صحيحة بالتقريب الاولي .

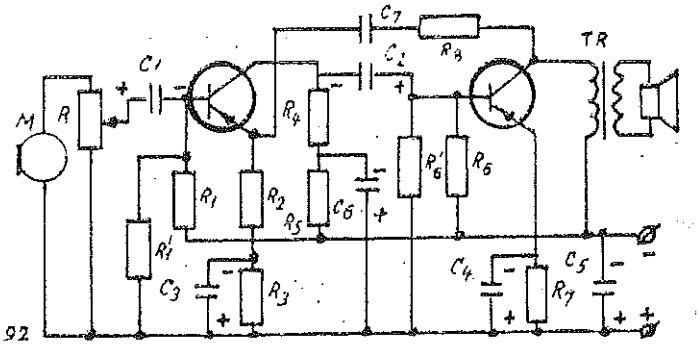


203

ع ــ لا توجد اية صعوبات ، على الاطلاق ، وذلــك ، لا ن ابعاد تلك المكثفات ، المخصصة للعمل على الجهـــود المنخفضة ، ليست ضخمة . وبفضل ذلك ، يمكن لهـذه المكثفات ، أن تركب بسهولة ، على لوحات توصيلات أجهزة الراديو النقالة . (ولكن عند توصيل المكثفات الكيميائية ، يجب أن يراعى وضع القطبية ، بشكل صحيح وسليم .

م ــ انني ارى هنا ، انك وصلت القطب الســالـب للمكثف ، مع المجمـع ، الذي يجب أن يكون جهده اكثـر سلبية ، من القاعدة . وانني افترض ايضا ، انك في حالـة استخدامك لترانزستور . من النموذج n-P-n ، تقوم بالعكس .

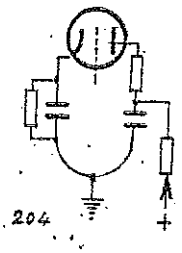
ع ــ انك لست مخطئا في تقديرك ، ولكي اريك قطبية المكثفات ، في مختلف اماكن الدارة ، فانني اقترح عليك ، أن تستعرض مخطط المضخم المكروفوني ، (شكل رقم 92) بدقة وانتباه ، فعندها سوف ترى ، أن ضبط شدة الصوت هنا ، يجب أن يتم على مدخل الترانزستور الاول ، وذلك بواسطة المقاومة المتغيرة R (الشكل برقم 92)



شكل رقم 92 دارة وصل كاملة ، لمكبر ميكرفوني ، كافة مكثفاته من النوع الكيميائي . باستثناء المكثف C 7 ، الذي سعته من مرتبة 0,05 M F ميكروفاراد

م ــ تؤخذ الاشارة من المقاومة المتغيرة ، R وترسل الــى قاعــدة الترانزستور الاول ، عن طريــق المكثــف الكيميائي C_1 ، الذي يوصل قطبه السالب ، مع قاعدة

الترانزستور ، هذه المرة . أما مكثف الربط C_2 فقد وصل قطبه السالب ، مع المجمع الذي جهده أكثر سالبية من القاعدة . بينما وصل قطبه الموجب ، مع القاعدة . وأرى أن كلا الترانزستورين ، في المخطط ، مزودا بالمقاومة R_3 أو R_4 لتأمين الاستقرار الحراري ، أما المكثفان C_3 و C_4 ، الموصولان مع المقاومتين المذكورتين على التوازي فان طرفيهما الموجبان ، موصولان طبعا مع القطب الموجب لمنبع التغذية ، ولكن لماذا تستخدم المقاومة R_5 ، التي وصلتها مع المقاومة R_4 على التسلسل ، في دارة مجمع الترانزستور الاول ...؟ وانني الاحظ انه يتصل على التوازي مع المقاومة تلك ، المكثف الكيميائي C_6 ، الذي يوصل طرفه الموجب ايضا ، مع البطارية .



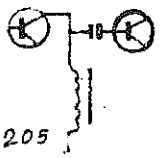
ع ـ الا يذكرك هذا المكثف ، بصاحبك القديم ، الذي يستخدم كثيرا في الدارات الصمامية .

م ـ يلعن الشيطان انه بالفعل يقابل المكثف الذي يستخدم في الدارات الصمامية (لفك ترابط) لفصل دارة المصعد ، عن منبع التغذية ، وهو هنا موصولا ، بالمثل ، مع دارة المجمع .. وهل يستخدم هنا أيضا ، لتفادي حدوث التغذية الخلفية ، الغير مرغوب فيها ، عبر المقاومة الداخلية لمنبع التغذية ، حيث أن تلك التغذية الخلفية ، تسبب تذبذب ذاتي في الدارة ..؟

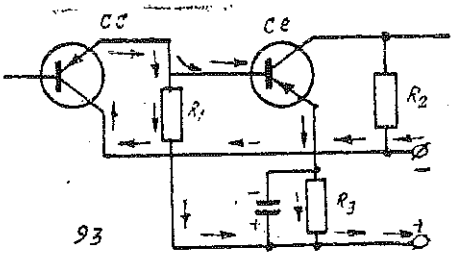
ع ـ تماما ... وبكل تأكيد ... ان المقاومة الداخلية لمنبع التغذية ، يمكن ان تسبب ارتباطا خطيرا بين المراحل المختلفة . لذلك ، ولكي يؤمن للمركبة المتناوبة ، لتيار كل مرحلة،طريقا سهلا تمر به،بدلا من مرورها عبر منبع التغذية. كثيرا ما يستخدم في الدارات الترانزستورية ايضا مكثفات خاصة بفك الارتباط « مكثفات فصل » ، ومن المفيد جدا ، أن يوصل بين مربطي بطارية التغذية ، المكثف C_5 ، ذي السعة الكافية .

م ــ ارى انك ادخلت في هذا المخطط ، مجموعة متكاملة من التحسينات ، واستخدمت فيه ، تغذية خلفية مختلطة ، باخذ جزء من جهد الخرج ، عبر المقاومة R_8 والمكثف C_7 ، الى المقاومة R_2 الموصولة بدارة الباعث،فيللترانزستور الاول ، وهذه الدارة للتغذية الخلفية ، تماثل الدارة التي درسناها في (الشكل رقم 61)

الطريق المباشر :



ع ــ رغم تأخر الوقت ، ارى أن ذاكرتك لاتزال يقظة، ولذلك سأحدثك ايضا ، عن طريقة اخرى ، للربط بالمقاومات، وفي هذه الطريقة ، يمكن استخدام ملف خانق ، بدلا من المقاومة (كما في الشكل الجانبي) يوصل في دارة المجمع . حقا ، ان هذا الملف اكبر حجما من المقاومة واغلى ثمنا ، ولكنه بالمقابل ، صغير المقاومة للتيار المستمر ،ولكي اخفف عليك من حيرة الاستغراب ، سوف اريك الان ، المخطط الاولي ذي الربط المباشر ، (شكل رقم 93) ويمكن ان تلاحظ من هذا المخطط ، ان الترانزستور الاول ، موصول بطريقة المجمع المشترك ، قطب الخرج فيه ، وهو الباعث ، موصول مباشرة، مع قاعدة الترانزستور الثاني ، الموصول بطريقة الباعث المشترك .

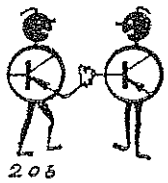


الشكل رقم 93 مخطط المضخم المشترك ، ذي الربط المباشر . وتدل الاسهم في هذا المخطط ، على اتجاه التيار ، الذي يعطي على المقاومة R_1 ، الجهد ذا القطبية المطلوبة .

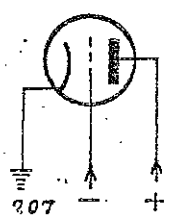
م ــ نعم.لا بد من الاعتراف ، بان هذه الدارة اقتصادية

للغاية ، ولكنني اقف متسائلا ايضا ...؟ كيف يمكن التخلي عن مكثف الربط بهذه السهولة ...؟

ع ــ قد تؤدي هذه الطريقة ، في الدارات المبنية على الصمامات ، الى تعقيدات وصعوبات كثيرة لان المصعد في هذه الدارة يجب أن يملك جهدا موجبا ، عالي القيمة ، في حين انه يجب أن يكون على الشبكة،جهد انحياز سالب.اما في الدارات الترانزستورية ، فان جميع هذه الصعوبات ، يتم تلافيهـــا بسهولة كبيرة . وذلك لان الاختلاف ، بين قيم الجهود ليس كبيرا . كما أن جهد المجمع وجهد القاعدة ، يجب أن تكون لهما نفس الاشارة ، بالنسبة لجهد الباعث . في حين انه نجد ، في الدارات الصمامية ، أن الشبكة يجب أن تكون سالبة ، بينما يجب أن يكون المصعد موجبا ، ولهذا السبب يمكن، أن يعطى كل قطب من اقطاب الترانزستور ، الجهد الذي يلزمه ، بدون اية صعوبة ، وذلك باستخدام هبوط الجهد الذي ينتج على المقاومة ، المنتقاة خصصيا لهذه الغاية .


206

م ــ ساحاول ان احلل دارتك هذه ، تحليلا اوليا ، مشيرا الى خط سير التيار المستمر ، باسهم تدل على اتجاهه، منطلقا من القطب السالب للبطارية . تدخل الالكترونات الى الترانزستور الاول ، عبر مجمعه وتخرج منه ، عـــن طريق الباعث . وبعد ذلك ، يمر جزء من الالكترونات عبر المقاومة R_1 ، وبنتيجة ذلك ، يصبح قطبها الموصول مع قاعدة الترنزستور الثاني ، سالبا ،بالنسبة للقطب الموجب مـــن منبع التيار أمابقيـــة الالكترونات ، فتنطلـــق عبـــر قاعدة الترانزستور الثاني،وتتجه نحو باعثه وتشكل بمايسمى متوسط تيار القاعدة . وأجدك محقا فعلا فيما تقول . ففي الترانزستور الاول،يكون الباعث موجبا بالنسبة للمجمع ــ وفي الترانزستور الثاني ، تكون القاعدة سالبة ــ بالنسبة للباعث ، وهكذا فان كافة الامور ، مرتبطة بانتظام ، في هذا المخطط . وهانحن نكون قد وفرنا مقاومة واحدة ، ومكثفا كيميائيا واحدا .



ع ــ صحيح ... ولكن هناك مزايا ايجابية أخرى ،

لطريقة الربط المباشر ،... فكما تذكر يا عزيزي لا يستطيع المكثف ، أن يمرر كافة ترددات الحزمة الواحدة ، بنسبة واحدة . وحتى اذا كانت سعة المكثف ، كبيرة ، لايمكن أن تمرر عبره جهود متغيرة ، ببطء شديد وفي الحقيقة ان المخطط المرسوم ، يمثل رسما لدارة مضخم نظامي للتيار المستمر .

108

م ــ قف .. قف يا صديقي ... كيف يمكن أن تتحدث عن مضخم لاي شيء يسمى ثابتا أو مستمرا ... كــلا انا لا اقبل ذلك ....!

ع ــ انني اعترف ، بان انتقاء هذا المصطلح ، لم يكن موفقا ، ولكن لا بد لنا من قبوله فهكذا يسمى هذا المضخم ، المخصص فعلا ، لتضخيم جهد او تيار الترددات المنخفضة جدا . من مرتبة عدة هرتزات ، او حتى التيارات المتناوبة ، التي يبلغ دورها عدة ثواني . وعدا عن ذلك ، يمكن بواسطته تضخيم الجهود والتيارات المتغيرة ببطء ، تغيرا غير دوريا . وبصورة خاصة ، تلك الاشارات ، التي نصادفها في حياتنا البيولوجية ، وفي هذه الحالات يمكن استعمال مضخم للتيار المستمر .

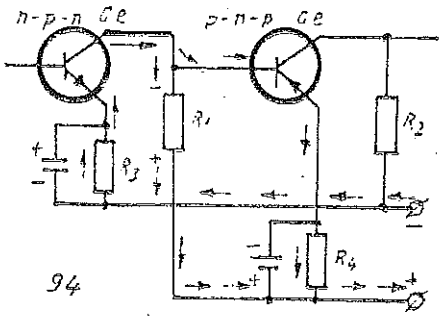
209

م ــ انني اتذكر حالة واحدة ، يمكن ان تكون فيها ، مثل هذه المضخمات مفيدة جدا . وهي حالة تضخيم اشارات الصورة (الفيديو) التلفزيونية .. وتتميز هذه الاشارة بانها تتضمن مركبة مستمرة هامة جدا ، لاتستطيع ان تمر عبر المضخم ، اذا وجدت فيه مكثفات ربط .

الاستخدام الاول للتناظر :

ع ــ تصور ياصديقي المبتدىء : ان كثيرين من قبلك فكروا في هذا الموضوع ، ولكي أخفف من شدة التأسف ، الذي تعاني منه ، عندما تعرف أن الافكار تسرق منك قبل ان تولد ، فانني اقدم لك ، مخططا آخر للربط المباشر ، وفيه يوصل الترانزستوران ، بطريقة الباعث المشترك ، بشرط ان

يكون احداهما ، من النموذج n-P-n والاخر من النموذج P-n-P وتسمى ، مثل هذه الدارة احيانا ، بدارة التناظر الاضافي ، (شكل رقم 94)



الشكل رقم 94 طريقة ثانية ، لتحقيق الربط المباشر باستخدام ترانزستورين من النموذجين n-P-n P-n-P التناظر الاضافي .

م — من النظر الى الاسهم ، الدالة على طريق الالكترونات ، فانني بدون اية صعوبة ، استطيع أن اقول متأكدا ، ان كافة الحوادث هنا ايضا ، تجري بأحسن شكل . فمجمع الترانزستور الاول ، موجب بالنسبة لباعثه ، وهكذا يجب أن يكون ، في اي ترانزستور من النموذج n-P-n اما في الترانزستور الثاني ، نموذج P-n-P ؛ فتكون القاعدة ، ذات جهد سالب ، بالنسبة للباعث ، وماذا تريد بعد ... ؟ أفلا توجد امكانية للتخلص من مقاومات الاستقرار الحراري R_3 و R_4 ، مع المكثفات التابعة لها ، كي تحصل على مزيد من التوفير ...؟

ع — اذا كانت لا توجد ضرورة ، للمحافظة على قيمة مطلقة ثابتة ، للمركبة المستمرة من التيار المتناوب ، فيمكن الاستغناء عن هذه القطع ، والاجزاء ، ولكن عندئذ ، نكون قد خسرنا الثبات الحراري لنقاط العمل .

م — ان هذا يحز في نفسي ، لاني لا اخفي عليك كم انا معجب بهذه الدارات ...!

المضخم المؤلف من ترانزستورين يتغذيان على التسلسل « المترادفة »

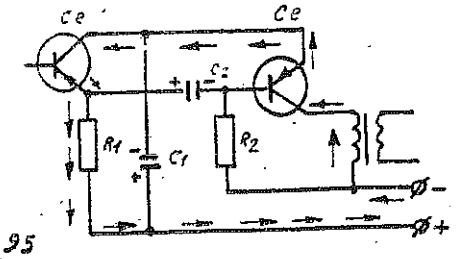
210

ع ــ لاحظ يا عزيزي ، انه يوجد هناك دارات اخرى تستخدم الربط المباشر ، بطريقة تجعلها اقل كلفة ، واقل بكثير تأثرا ، بتغيرات درجات الحرارة ، ومن تلك الدارات ، دارة مضخم مؤلف من ترانزستورين ، يتوضعان بالتتالي ، على شكل مترادفة ، يعمل احداهما كمرحلة اولى والثاني كمرحلة خـــرج .

211

م ــ ما هي مزايا هذه الدارة التي تذكرنا بدراجة « تانديم » التي يسوقها شخصان .

ع ــ ان هذه الدارة تعمل على ترانزستورين ، يتغذيان على التسلسل، بحيث تمر المركبة المستمرة للتيار ، عبـــر الترانزستورين بالتتالي ، مما يؤمن درجة ثبات جيدة ، ويمكن أن يوصل الترانزستور الاول ، بطريقة المجمع المشترك والثاني ــ بطريقة الباعث المشترك ، كمـــا هو مبين على الشكل رقـــم 95 وهل تدرك يا صديقي كيف تعمل هذا الدارة ...؟



الشكل رقم 95 مضخم يتالف من ترانزستورين ، يتغذيان على التسلسل وتشير الاسهم هنا الى اتجاه تيار الالكترونات ، على غرار ما مر معنـــا سابقـــا .

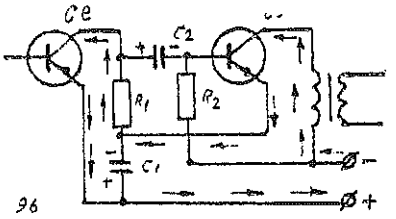
م ــ دعنامرة اخرى ، نتتبع الاسلاك ، اقصد ...! دعنا نتتبع الاسهم ، الدالة على اتجاه مرور تيار الالكترونات. ان هذا يذكرني بتلك الايام، التي كنا نجوب فيها الغابات، ونشارك في رحلات ، وكان علينا فيها ، ان نسير في مسالك

خاصة ، يشار اليها باسهم ملونة لنبدا الان طريقنا ، منطلقين كالعادة ، من القطب السالب، لمنبع التغذية ، وترد الالكترونات من هذا القطب ، عبر الملف الابتدائي ، لمحول الخرج ، وتدخل الى الترانزستور الثاني ، عن طريق مجمعه وتخرج من باعثه لتعود بعد ذلك ، الى مجمع الترانزستور الاول وتخرج منه عن طريق الباعث ايضا . وبعدئذ يبقى على هذه الالكترونات ، أن تتابع تقدمها الرائع ، مارة عبر مقاومة الحمل كي تعود الى بيت الام ــ اقصد بذلك القطب الموجب من منبع التغذية ،

ع ــ كما انك لاحظت من خلال تتبعك للتيار ، فان تيار واحد يمر عبر كلا الترانزستورين بالتتالي ،فمجمع الترانزستور الاول ، يوصل مباشرة مع باعث الترانزستور الثاني ،والنقطة المشتركة بينهما موصولة ، بالسلك الارضي ، عن طريق المكثف C_1 ، وذلك لازالة التأثير المتبادل ، للمركبات المتناوبة للتيارات المختلفة ، في مختلف المراحل .

م ــ لا بد من الاعتراف،بان هذا المخطط مرتب تماما ... ولكن هل يمكن توصيل الترانزستورين ، بطريقة الباعث المشترك مع استخدام المبدا نفسه ...؟

ع ــ بدون شك ... ان المضخم الموصل على هذا النحو « مترادفة » (شكل 96) يعطي تضخيما أكبر بكثير، من المضخم الذي استعرضناه لتونا . واذا تابعت الطريق المشار اليها بالاسهم ، من « الشكل 96 » ، لوجدت هنا ايضا،ان تيارا واحدا،يمر عبر كلا الترانزستورين بالتتالي . وان هذين الترانزستورين ، بالنسبة للمركبة المستمرة من التيار ، موصولين على التسلسل . أما بالنسبة للاشارة المضخمة بهما ، فهما يرتبطان بطريقة الربط التقليدية، بواسطة مقاومة ومكثف .



الشكل رقم 96 مضخم « مترادفة » يتالف من ترانزستورين ، يتغذيان على التسلسل ، وموصولين بطريقة الباعث المشترك .

م — ان هذا المخطط الشيطاني يذكرني بالتمارين البهلوانية التي تنفذ على الحبل وتسبب لي دوارا في الراس.

ع — في مثل هذه الحالة .انصحك بأخذ قسط من الراحة وتنام نوما عميقا . وتصبح على خير .

الاقتصاد والاستطاعة :

ـ بعد استعراض مختلف طرق الربط ، بين المراحل ، قام صديقانا بتركيز اهتمامهما على تضخيم الترددات المنخفضة . وقاما بدراسة مختلف الدارات المستخدمة من أجل ذلك . الا ان ، موضوع المرحلة النهائية من جهاز الاستقبال لم ، تسلط عليه الاضواء بعد

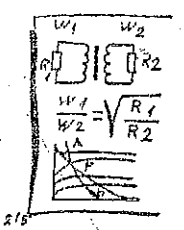
محتويات المناقشة :

انتقاء نقطة العمل ، المخطط الاقتصادي ذو نقطة العمل المنزلقة ، ـ مضخم الدفع والجذب من الصنف B . قالب الصفحة بواسطة المحول . قالب الصفحة ، التابع المهبطي التابع المشع ـ مضخم الدفع والجذب ذو التناظر الاضافي المخطط العملي للمرحلة النهائية .

المبتدىء يبدي عبقريته :

م ـ اعتقد أنني بما حصلت عليه من المعرفة ، في مجال الترددات المنخفضة ، استطيع ان اقوم بحساب كافة عناصر المضخم الترانزستوري .

ع ـ كنت دائما ، ولا ازال اقدر واحترم تواضعك .

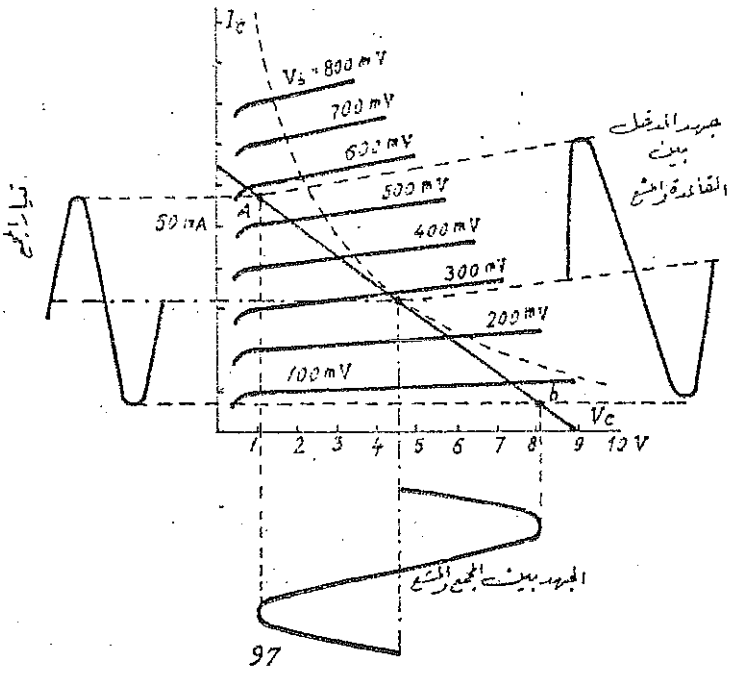


م ـ انني غير ساخر في حديثي ، طالما ان كل شيء سهل وواضح . فاذا استخدمنا طريقة الربط بواسطة محول ، أستطيع حساب نسبة عدد اللفات ، التي تعطي احسن نتيجة للتوافق ، بين المراحل . وثق ياعزيزي ان استخراج الجذر التربيعي لا يخيفني ابدا ، واذا اعترضتنا ، بعض الاسئلة ، عن الربط بواسطة المقاومة والمكثف فسوف نطلب مساعدتك الست انت الذي علمتني كيف نحدد خط الحمل ...؟ ونرسم هذا الخط ، هكذا بحيث يكون مماسا ، للقطع الزائد الذي يمثل الاستطاعة القصوى ، وباختيار نقطة تشغيل المضخم،

في منتصف خط الحمل نحصل على اكبر اتساع لمطال اهتزازات اشارة الخرج .

ع ــ هنا ، لا بد ان اقول لك ، ان الامور ليست بهذه البساطة ، كما تتصور . فللوهلة الاولى يبدو كلامك صحيحا، ولكن من الضروري عند حساب المضخم ، ان نأخذ بعين الاعتبار ايضا ، عدة مقادير هامة منها : استطاعة دخل المضخم ، مجال ترددات الجهد المضخم.دور التغذية الخلفية في المضخم ، القيمة المسموح بها لعامل التشويه وعددا من الشروط والمتطلبات الاخرى .

م ــ كفى ياعزيزي كفى ... لقد امطرتني بما فيه الكفاية من هذه المتطلبات ، وانني بدوري اعترف ، بأني اخطات . اذا كنت مقنعا بالاعتزاز ، بالثقة بالنفس والاهم من ذلك ، فان العملية تبدو سهلة للغاية ، سيما عند الاستعانة بمجموعة منحنيات الخواص وخط الحمل ، (شكل رقم 97) ان

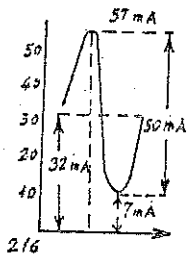


الشكل رقم 97 يبين تغير تيار المجمع تحت تأثير جهد الاشارة المطبقة على المدخل عندما تملك الاشارة قيمة اعظمية .

اشارة الدخل هنا ، (الاشارة يمكن أن تكون عبارة عن جهد أو تيار) لها الحق أن تشغل قسما من خط الحمل ، يتحدد بنقطتين هما : النقطة — A من جهة (حيث يبدأ انحناء منحنيات الخواص) والنقطة — B من جهة ثانية ، حيث يقترب تيار القاعدة من الصفر .

ع — ما هي اسباب التشويه الغير خطي كما هو معلوم لديك ... ؟

م — ان اسباب التشويه الغير خطي ، هي خروج الاشارة، من حدود مستقيم الحمل . ودخولها في المناطق الغير خطية ، من منحنيات الخواص ، وبدون اي جدل ، من اجل ذلك يجب انتقاء نقطة عمل المضخم — P ، على ابعاد متساوية من النقطتين A و B ، وفي هذه الحالة ، تكون القيمة العظمى ، لمطال اشارة الدخل A – P أو B – P او بعبارة أصح ، الفرق بين القيم المقابلة لتيار القاعدة Ib ، أو جهد القاعدة Ub ، عندما تكون أعظمية. ان هذا المطال على رسمتي المبينة ادناه، يأخذ قيمة قدرها ، حوالي 275 mv ميللي فولط . والتغيير الطارىء ، على تيار المجمع هنا هو :من 7 ÷ 57 ميللي أمبير . وبحيث ان القيمة الوسطى لهذا التيار هي 32 ma ميللي امبير فهذا يعني أن مطال تذبذب التيار ، يبلغ 25 = 32 – 57 أو 25 = 7 – 32 ميللي امبير .



ع — رائع جدا يا صديقي المبتدىء ، آمل أن تكون راض تماما ، عن عمل ترانزستورك هذا .

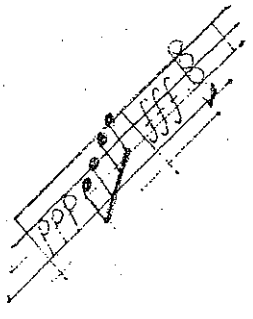
يسقط التبذير :

م — ليس تماما ياعزيزي . . .فبقدر ماتكون الامور سائرة على ما يرام ، عندما تكون الاشارة كبيرة ، بقدر ما أصاب بالاسى ، خوفا من التبذير البغيض ، للطاقة ، عندما تكون الاشارة ضعيفة ، أو في حال غياب الاشارة المضخمة . فمهما كانت قيمة مطال تذبذب الاشارة ، فان استهلاك التيار ، يبقى هو نفسه ، ويقابل النقطة P . ويمكن من حيث المبدأ،

217

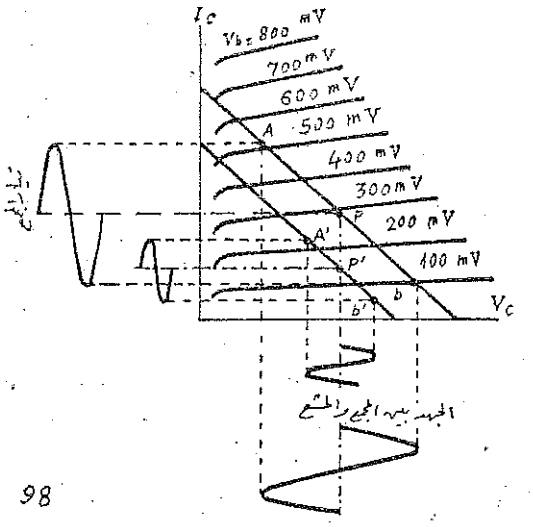
ازاحة نقطة عمل المضخم ، في حال كون الاشارة ضعيفة ، نحوى الاسفل على خط الحمل ، حتى تقابل تيارا اقل . (مثلا النقطة P' في الشكل 98) ولو كان بالامكان تحقيق ذلك ، لاستطعنا حفظ الاستطاعة المطلوبة ، وهذا يساعد على توفير استهلاك البطاريات ، التي تكلفنا غالبا .

ع — هل تريد أن تصاب الشركات المنتجة للبطاريات بالافلاس ...؟


218

م — كلا انني لا أريد ذلك ... ولكنني ارى ، انه عند سماعنا سمفونية ما ، ليس من الحكمة أن تصرف في لحظات سماع عازفي البيانو نفس الاستطاعة التي تصرف اثناء عزف الاوركسترا بكاملها ، وبنفس الوقت ، انني لا أرى اية طريقة ، يمكن بها جعل نقطة العمل تتحرك وتنتقل الى خط الحمل السفلي ، حتى لايستهلك الا الاستطاعة المطلوبة والضرورية ، لتحويل الاشارات ، المختلفة القيمة،الى صوت مسموع ، بدون تشويه .

ع — ان السعي لتفادي الاسراف في استهلاك الطاقة ، أمر تشكر عليه ولذلك ارى انه من المفيد ، أن ارشدك الى



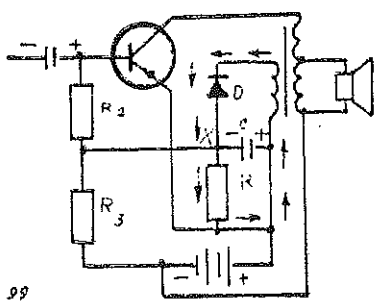
98

الشكل رقم 98 عندما ينخفض مطال الاشارة ، يكون من الاربح نقل نقطة العمل ، من النقطة P الى النقطة P'

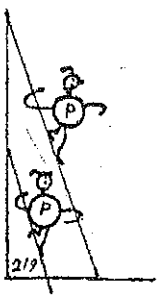
الوسائط المناسبة ، لتحقيق ذلك . فلكي تستطيع ، نقطة حملك ، الانتقال من خط حمل ، الى آخر يجب تغيير قيمة جهد الانحياز (١) ، الذي يجب أن يرتفع ، مع مطال الاشارة . وهذا الارتفاع ، يجب أن يتم بتأثير الاشارة نفسها .

م ـــ كيف يمكن أن يتم ذلك . . . ؟ اذا تذكرنا أن الاشارة هي عبارة عن جهد متناوب ، أما جهد الانحياز ، فهو جهد مستمر .

ع ـــ أنت تعلم ، أن أفضل واسطة ، لتحويل التيار المتناوب ، الى تيار مستمر ، هو المقوم . وهو يستخدم أيضا ، للحصول على جهد انحيا متغير . واليك الان ، مخططا عمليا لمضخم ذي نقطة عمل منزلقة : « الشكل رقم 99 » فانك ترى هنا ، أن الاشارة المضخمة ، المأخوذة من الملف الاضافي ، لمحول الخرج ، تقوم بواسطة الثنائي النصف ناقل D . وتشكل على طرفي المقاومة R ، هبوط جهد ، يجعل النقطة X أكثر أو اقل سالبية مما كانت عليه قبل . كما ويقوم المكثف C ، بتنعيم وصقل التموجات ، المتبقية



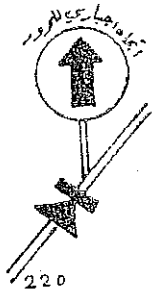
الشكل رقم 99 المرحلة النهائية من جهاز راديو ترانزستوري ، ذات نقطة عمل منزلقة . ان دارة الضبط الاتوماتيكي لجهد الانحياز ، تسمح برفع قيمة جهد الانحياز ، عند زيادة مطال الاشارة .



بتغيير جهد الانحياز ، نقوم بدفع خط الحمل ، الى أماكن أخرى ، توازي الخط نفسه . وهو يحافظ على نسبة ميله ، الذي يتطابق مع مقاومة الحمل . ان مقاومة دارة الجمع للتيار المستمر ، صغيرة . (هذه المقاومة ، هي مقاومة سلك اللف الاول ، لمحول الخرج) وهكذا فان جهد المجمع Vc ، لا يكون تابعا للانحياز . وهكذا فان نقطة العمل ، يمكن ان تنتقل ، من النقطة P الى النقطة P' منزلقة على خط شاقولي .

في الجهد المقوم ، بحيث تصبح قيمته ، موافقة لمتوسط قيمة الاشارة المضخمة ، بصورة مستمرة .

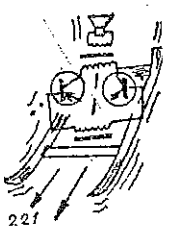
م — نعم ان هذا يذكرني بدارة التحكم الاوتوماتيكي ، بنسبة التضخيم او الكسب A G C ففي هذه الدارة ، تستخدم ايضا ، مقاومة مع مكثف لجعلها ذات عطالة (قصور) على غرار الحدافة الميكانيكية ، الضابطة للسرعة .



ع — ان هذا التشبيه ، موفق تماما ، ولو أن تصميمنا الحالي ، لايذكر بالدارة العادية للضبط الاتوماتيكي لنسبة التضخيم ، بقدر ما يذكر بنظام الضبط الاتوماتيكي للكسب ، الذي يقوم بتقويم تغيرات مطال الجهد المضخم ، ويستخدم الجهد المستمر الناتج عن التقويم ، للتحكم في جهد الانحياز المسلط على مدخل المضخم . وفعلا ان جهد النقطة X ، يوصل الى النقطة المشتركة بين المقاومتين R_2 و R_3 اللتين توصلان بين القاعدة والقطب السالب ، لمنبع التغذية . وبالانتقاء الصحيح ، لقيم المقاومات الثلاث R_1 ، R_2 و R_3 يمكن جعل جهد الانحياز ، يتناسب مع مطال الاشارة بدقة . وعلى هذا الاساس ، تصبح القاعدة هنا ، اكثر سالبية ، كلما كانت الاشارة اكبر . ولكن خلافا لماهو معروف لدينا ، عن نظام الضبط الاتوماتيكي لشدة التضخيم ، (الكسب) المعروف في اجهزة الراديو . فان زيادة جهد الانحياز السالب ، في دارة قاعدة الترانزستور ، من النموذج P-n-P لا تؤدي الى خفض تياره ، بل هي على العكس ، تؤدي الى زيادة هذا التيار .

يعيش النظام B !

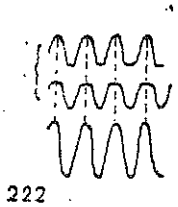
م — ان دارتك ، ذات نقطة العمل المنزلقة ، اعجبتني تماما ، ولذا فانني سأستخدم في جهاز الراديو ، الذي أنوي جمعه ، مرحلة خرج دفع وجذب ، تتضمن مثل تلك الدارة الرائعة ، التي تعطي جهد الانحياز المنزلق .



ع — انك باستخدامك لدارة الدفع والجذب هذه ، تستطيع ان تحصل ، على نتائج افضل . ففي هذه الدارة ،

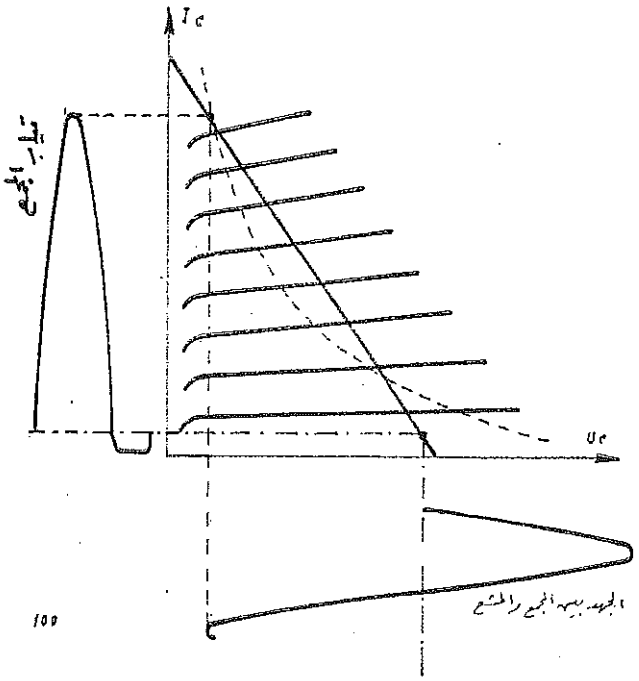
يمكنك استخدام جهد انحياز ثابت ، وصغير لدرجة كافية ، بحيث أن يكون التيار في حالة السكون ، مساويا للصفر تقريبا

م ــ الا تريد أن تقول لي هنا ، نفس الكلام ، الذي قلته عن المضخم ، من الصنف B . . . ؟ ان هذا ، يقابل العمل على المنعطف السفلي ، لمنحنى خواص الشبكة في الدارة الصمامية



222

ع ــ نعم انني بالضبط ، أريد أن أحدثك عن الصنف B وهو يتميز بان نقطة العمل P ، تختار هكذا ، بحيث تقابل تيارا ضئيلا للمجمع . ولكن يجب أن لا تهبط قيمته ، الى الصفر . وذلك لانه اذا ذهبت بعيدا بنقطة العمل ، نحو الاسفل ، فان الاشارة الضعيفة ، سوف تقع على القسم اللاخطي ، من منحنى الخواص (الشكل رقم 100) .



الشكل رقم 100 الصنف B من المضخمات الذي يتميز، بان نقطة العمل P ، تختار بالقرب من النهاية السفلى لخط الحمل ، مما يسمح بتطبيق اشارة ، يبلغ مطالها ، ضعف مطال الاشارة المطبقة في النظام A ويكون شكل تيار المصعد ، كما هو مبين على الشكل أعلاه ، مشوها بشدة .

م — انني الاحظ هنا ، أن النوبات ، التي تزيد فيها ، قيمة جهد القاعدة ، تؤدي الى زيادة ملحوظة ، في تيار المجمع . في حين أن النوبات المعاكسة ، تسبب تغيير طفيفا في قيمة هذا التيار ، وبالنتيجة تحصل تغيرات غير متكافئة ، في التيار تؤدي الى تشويهات رهيبة .

ع — لهذا السبب بالذات ، لا يستخدم ترانزستور واحد ، كمضخم من الصنف B ، ويفضل استخدام ترانزستورين ، بدارة دفع وجذب ، ولكنك اذا استخدمت ، مثل هذه الدارة ، فيجب أن توزع العمل بالتساوي ، بين الترانزستورين . فأحدهما يأخذ على عاتقه ، تضخيم النوبة الموجبة ، والاخر يضخم النوبة السالبة . وبفضل التناظر المتقن ، الذي يجب أن يتوفر في الدارة ، فان التشويه الذي يسببه للاشارة ، كل من الترانزستورين ، يتم تعديله ، بالتشويه الناتج عن الترانزستور الاخر .

م — بعبارة أخرى ، ان هذا المضخم ، الذي يعمل في حالة الصنف B يذكر « بالهيكل » الذي يستخدم لتدريب ملاكمين في آن واحد ، حيث يقف الملاكمان ، الى جانب هذا الهيكل ، كل من جهة ، ويتناوبان ضربه ، فيميل تارة نحوى احداهما ، وتارة نحوى الاخر ، تحت تأثير الضربات فالانحناء الذي يسببه الملاكم الاول ، يجلسه الملاكم الاخر .

ع — ان هذا التشبيه صحيح ، والاثنان يجعلانه يتأرجح بقوة أكبر بكثير ، مما يستطيع أن يفعله كل واحد منهما على حدة .

م — فعلا ان نقطة العمل P ، توجد بالقرب من احدى نهايتي خط الحمل ، مما يترك مجالا أمام اشارة الدخل ، في النظام B ، لتتحرك ضمنه ، اكبر بمرتين من المجال المتروك لها ، في النظام A ، الذي تختار به نقطة العمل في منتصف خط الحمل تحصل .

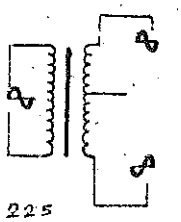
ع — كما ترى يا صديقي ، ان النظام B ، يسمح بالحصول على مطالات اكبر بمرتين من تلك ، التي يسمح بها النظام A ، والتيار المستهلك ، يكون قليلا جدا ، في

حال عدم وجود اشارات،ويتزايد متناسبا مع مطالات الاشارات وبالاضافة الى ذلك ، يجب ان اقول لك ، ان النظام B ، يسمح بحرية ، بتجاوز منحنى القطع الزائد ، الذي يحـــدد الاستطاعة المسموح بها .

224

م ــ انك تريد ان تقول بذلك ، ان خط الحمل ، يستطيع ان يتخطى حدود هذا المنحنى .

ع ــ صحيـــح ، تمامـــا .. وبدون اي خطر علـــــى الترانزستورات ، وذلك لان الاستطاعة المنتشرة ، تكون في لحظات معينة فقط ، اعلى من ذلك الحد ، وبالمقابل ، نجـــد أن الترانزستور ، يكون في حالة قطع ، خلال فترة النوبـــــة الموجبة للاشارة ، حيث لا تنتشر ، خلال هذه النوبة ، أيـــــة استطاعة ، ولكن ينبغي عندئذ ، أن تؤخذ بعين الاعتبار ، ناحية اخرى ، يشار اليها في كتالوج أو دليل الترانزستورات ، وهي ان تيار المجمع ، يجب أن لا يتعدى ، القيمة الحدية المسموح بها Imax


225

م ــ انني اعدك ياصديقي العزيز ، بأنني لن أتجاوز هذه الحدود أبدا ، وبعد ان قطعت هذا العهد ، كن مطمئنا بانـــك تستطيع ان تنصح لي ، عن كافة أسرار وخفايا ، دارات الدفع والجذب الترانزستورية .

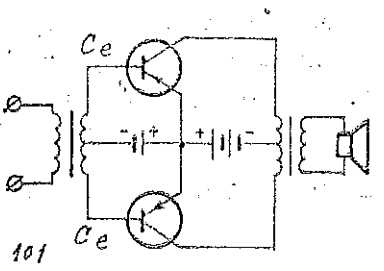
مملكة التناظر :

ع ــ قبل كل شيء ، تذكر يا صديقي المبتدى ، أن الدارة التي نحن بصدد دراستها التفصيلية الان،يمكن أن تعمل كمضخم من الصنف B ، كما ويمكن أن تعمل ، كمضخم مـــن الصنف A والفرق بين عملها في الحالتين المذكورتين ، ينحصر في:قيمة جهد الانحياز ، وغالبا ما يكون الترانزستوران، موصولان بطريقة الباعث المشترك ، لان هذه الطريقة ، تعطى اكبر نسبة ممكنة ، للتضخيم . ولكن ، عندما يكون المهم ، أو المطلوب هو الحصول على أقصى تخفيض ممكن للتشويه ، فنفضل الدارة ذات القاعدة المشتركة.وعلى العكس من ذلك، اذا كان المفروض أن تكون مقاومة الدخل عالية ومقاومة الخرج منخفضـــة ...

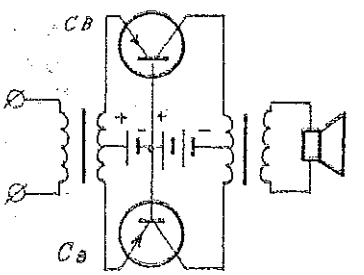
م ـــ ... فيفضل استخدام طريقة المجمع المشترك ، .. انني لاأشك بذلك مطلقا ولكن ، فيما يتعلق بقالب الطور فانني اعتقد، انه يمكن التوصيل اليه بسهولة ، وذلك بواسطة محول، توجد فيه تفريعة من منتصف الملف الثانوي وبالمثل تماما ، يجب أن توجد تفريعة ، بمنتصف الملف الابتدائي ، لمحول الخرج حتى يمكن ضم اشارتي خرج ، كلا الترانزستورين .

ع ـــ بالضبط تماما ... واليك هنا دارتان ، احداهما ذات باعث مشترك (الشكل رقم 101) والاخرى ، ذات قاعدة مشتركة ، الشكل رقم 102 ولا بد وأن نقيم التناظر، المنقطع النظير ، الموجود في هاتين الدارتين .

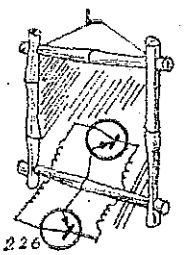
م ـــ هل ينبغي استخدام ، بطارية خاصة لجهد الانحياز ... كما هو مبين ، على المخططين المبينين في الشكلين رقم 101 و 102 ...؟



الشكل رقم 101 كما في الشكل السابق ، يستخدم هنا ، محول قالب للطور والترانزستوران هنا ، موصولان بطريقة القاعدة المشتركة.



الشكل رقم 102 دارة دفع وجذب . يستخدم فيه محول ، قالب للطور والترانزستوران موصولان بطريقة الباعث المشترك.



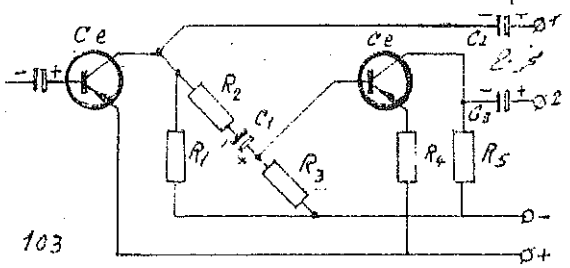
ع ـــ كلا ... ، بل يتم الحصول على جهد الانحياز ، بالطريقة التقليدية البسيطة ، اي بواسطة مقاومة موصولة على التسلسل ، أو مقسم عادي للجهد ، يوصل مع البطارية العامة ، ولم تبين هذه الدارة ، في المخططات الانفة الذكر ، لانك أصبحت تعرفها جيدا ، وذلك كي لايشوه وضوح الرسم

الف قالب وقالب للطور :

م ـــ في المضخمات المبنية على الصمامات ، كان بالامكان الحصول على جهدين متعاكسين بالطور ، اللازمين لدارة الدفع

والجذب . بدون الحاجة الى محول غالي الثمن،وضخم الحجم، واعتقد ان هذا ممكن ، ايضا في حالة الترانزستورات .

ع ــ هذا حقيقة واقعة ، وانت تعلم ، انه في الدارة ذات الباعث المشترك ، يكون جهد الخرج ، معاكسا بالطور ، لجهد الدخل . وبوضع مرحلتين متتاليتين ، بدارة ذات باعث مشترك، نحصل في مخرجيهما ، علـــى جهدين متعاكسين بالطور ، (شكل رقم 103)



الشكل رقم 103 دارة يتم فيها قلب الطور ، بواسطة ترانزستورين موصولين بطريقة الباعث المشترك ، وعامل تضخيم المرحلة الاضافية منخفض، حتى الواحد ، وذلك بفضل مقسم الجهد ، المكون من المقاومتين R2 و R3 وبفضل مقاومة التغذية الخلفية R4

م ــ انها دارة غريبة حقا ، فالربط بين الترانزستورين ، يتم بطريقة غريبة وغير مألوفة أبدا .

ع ــ ان المقاومتين R_2 و R_3 موصولتين على التسلسل مع مكثف الربط C_1 ، وهما يقومان بدور مقسم للجهد ،حتى لايرد الى الترانزستور الثاني ،الا جزء من الجهد،الذي ينتجه الترانزستور الاول على المقاومة R_1 ، واضافة الى ذلك، نرى هنا ، أنها توجد في دارة باعث الترانزستور الثانـــي ، مقاومة التغذية الخلفية R_4 .

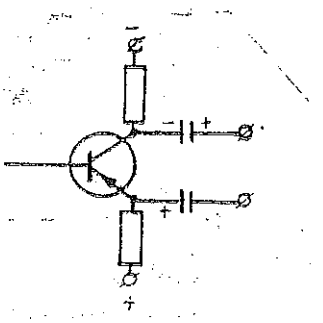
227

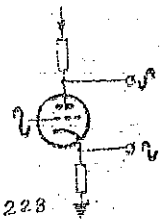
م ــ يا له من ترانزستور تعيس ...! انك في كلتـــا الطريقتين ، تخفض من قدرته على التضخيم .

ع ــ ان هذا هو المطلوب بالضبط ... فلكي يكون جهدا خرج الترانزستورين متساويين ، فان تضخيم الترانزستور الاضافي ، يجب أن يساوي الواحد ، وهذا يعني ، انه يجـــب أن لايضخم ، ولايخفض جهد الاشارة .

م ــ هذا يعني ، ان دوره محدد بدقة ، بقلب الطور فقـــط ... !

ع ــ فعلا ... ! ان هذا كل ما يتطلب منه ... وهناك طريقة اخرى ، للحصول على جهدين متعاكسين بالطور ، بواسطة ترانزستور واحد فقط . ومن اجل ذلك ، يوصل الترانزستور ، بدارة مختلط ذات باعث مشترك ، ومجمع مشترك ويتألف حمله من مقاومتين (الشكل رقم 104) فعندئذ ، تكون اشارة الخرج 1 ، معاكسة بالطـــور ، لاشارة الدخل ، بينما تكون اشارة الخرج 2 متفقة بالطور مع اشارة الدخـــل .





223

الشكل رقم 104 قالب الطور ذو حمل موزع

م ــ ولكنني ارى ان هذه الدارة ، صورة طبق الاصل ، لقالب الطور الصمامي ، الذي يتألف حمله ، من مقاومة موصولة بدارة المصعد ومقاومة موصولة بدارة المهبط .

ع ــ صحيح .. ان هـــذه الدارة ، هـــــي الشكل الترانزستوري ، لقالب الطور الصمامي ..

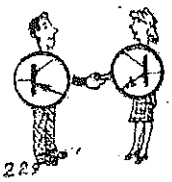
م ــ ان الدارات التي اريتني اياها ، هـــي مـــن قدامى معارفي ، اذ انني اتذكرها جيدا في اشكالها الصمامية .

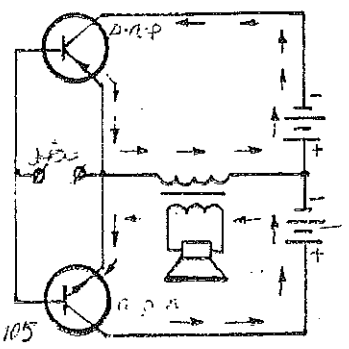
دارات الدفع والجذب الرائعة :

ع ــ ولكنك لم تصادف دارة دفع وجذب صمامية ، بدون قالب للطور ... !

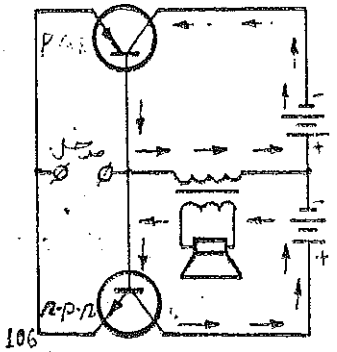
م ــ ولكنني لم اقتنع بعد ، ان كان بالامكان تحقيق مثل هذه التحفة ، بواسطة الترانزستورات .

ع ــ والاحسن من ذلك .. ان هـذا ، حقيقة واقعة . والتحفة الرائعة يا عزيزي ، تعتمد على التناظر الاضافي ، بين الترانزستورين ، من النموذجين . P-n-P و n-P-n حاول اولا ، ان تحلل بانتباه ، الدارة التي استخدمت فيهـا ترانزستورين موصولين ، بطريقة الباعث المشترك ، كليهما الشكل رقم 105) .



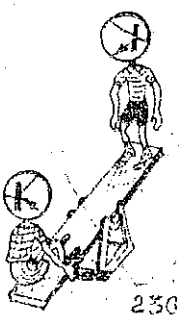


الشكل رقم 105 دارة دفع وجذب ، بدون قالب طور ، تعمل على ترانزستورين موصولين بطريقة الباعث المشترك .



الشكل رقم 106 دارة اخرى لضخم دفع وجذب بـدون قـالب طور ، يعمل علـى ترانزستورين موصولين بطريقة القاعدة المشتركة .

م ــ يمكن اجراء التحليل المطلوب ، بالطريقة العادية . لنفرض ان النوبة الاولى للاشارة الواردة تجعل كلتا القاعدتين ، سالبة اكثر من ذي قبل ، في هذه الحالة ، نجد ان الترانزستور نموذج P-n-P ، يعطي تيارا ويكبر الاشـارة الواردة . اما الترانزستور نموذج ، n-P-n ، فيبقى في حالة قطع اما عند ورود النوبة الثانية لاشارة الدخل ، فانها تجعل كلتا القاعدتين ، اكثر ايجابية من ذي قبـل ، وعندئذ ، يبقـى الترانزستور P-n-P في حالة قطع ، بـدون ان يشارك في العمل . اما الترانزستور نموذج n-P-n ، فيمرر تيار المجمع ويقوم بدوره في التضخيم . انه لشيء رائع ...! حذاقة وذكاء ... !



ع ــ للاسف يا صديقي العزيز ، ان حماسك سيتلاشى ،

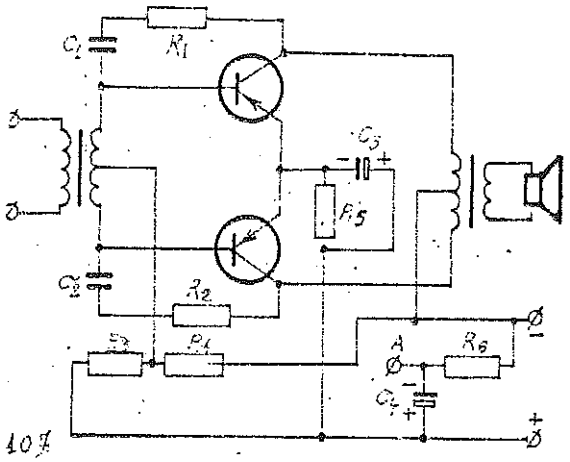
عندما تعرف ، أن هذه الدارة ، تتطلب استعمال بطاريتين ، او بطارية ذات تفريعة متوسطة) ، الامر الذي يزيد من تعقيد الموضوع بعض الشيء ، وانك ستواجه نفس الصعوبات ، في حالة توصيل الترانزستورين ، بطريقة القاعـدة المشتركة ، المبينة في (الشكل رقم 106)

م ــ فعلا ... ان هذه الدارة ، يجب ان تعمل بصورة جيدة ، كالدارة السابقة . حيث لدينـا هنـا الترانزستور نموذج P-n-P ، يعتمد على النوبة الموجبة للاشـارة ، التي تطبق على باعثه . أما الترانزستور نموذج n-P-n ، فانه يعمل عند ورود النوبة السالبة . ولكن اخشى ان تكون البطاريتان اللازمتان هنا ، غير مناسبتين ، لتغذية بقيـة الترانزستورات ، التي يمكن ان تستخدم في الدارات الاخرى ، من الجهـاز ...!

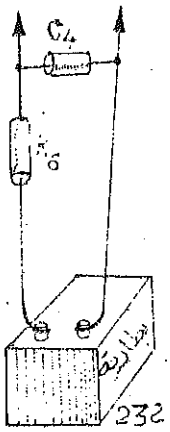
والان ، اريد ان اطلب منك ، طلبا واحد ...! انني ارغب ان أجمع مضخما ترانزستوريا للغرامافون (البيك آب) النقال الخاص بي ، فارجوك ان ترسم لي مخططا عمليا ، للمرحلة النهائية ، من هذا المضخم ...! واريد ان اصمم هذه المرحلة، بشكل دارة دفع وجذب ، ذات استطاعة عالية...،حتى تعطى صوتا قويا ، يكفي لكي يرقص على انغامه جميع اصدقائي .

ع ــ انظر الى المخطط الذي تطلبه ياصديقي ، انه المبين في (الشكل رقم 107) ، هل هو واضح بما فيه الكفاية ، بالنسبة لك ...؟

م ــ يا الهي ...! انه يبدو ، للوهلة الاولى ، كالمخطط التقليدي ، لدارة الدفع والجذب ، تماما . حيث يوجد فيه ، محول الدخل القالب للطور ... والتغذية الخلفية علـى التوازي ، لكل من الترانزستورين . وهي تتم ، بواسطـة الدارتين : C_1 ، R_1 و C_2 ، R_2 ، أما الانحياز، فهو يعطي للترانزستورين ، من مقسم الجهد . R_4 و R_3 وتستخدم المقاومة R_5 لاضعاف تأثير الحرارة . ويتصل بها على التوازي ، المكثف C_3 وذلك لتثبيت مقاومة التعادل الحروري بالنسبة للمركبـة المتناوبـة للتيـار ... ان كـل هـذه



الشكل رقم 107 مخطط عملي ، لمضخم دفع وجذب ، مع اتصال عكسي سالب ومثبت حروري ، كما وتشكل المقاومة R_6 ، مع المكثف C_4 دارة فصل تغذية ، عن المراحل السابقة .



المعلومات والتفاصيل ، اصبحت معلومة بالنسبة لي ... ، ولكن اريد ان اعرف ، اي دور تؤديه في هذا المخطط .. دارة فك الارتباط ، المكونة من المقاومة R_6 والمكثف C_4 ..؟

ع ــ اذا اخذنا بعين الاعتبار ، التغيرات الكبيرة التي تطرأ على التيار ، الذي يسحبه من منبع التغذية ، ترانزستورا مضخم الاستطاعة ، من الصنف B ، نرى انه من الافيد ، فك ترابط منبع التغذية ، لتفادي تأثير تلك التغيرات ، على المراحل السابقة ، وهذا هو الدور ، الذي تلعبه المقاومة R_6 والمكثف C_4 . ومن نقطة اتصالهما تتم تغذية مجمعات الترانزستورات ، في المراحل التي تسبق مضخم الخرج هذا ... هل انت مقتنع باجابتي هذه ...؟

م ــ انني مقتنع تماما ... وعلي الان ان اتعجل الوقت للالتحاق بعملي والى اللقاء ياعزيزي .

المناقشة الثانية عشرة :
مجال للترددات العالية :

ان التحليل التفصيلي ، لتضخيم الترددات الصوتية ، الذي كان موضوع المناقشات السابقة ، سهل الى حد كبير ، مهمة العارف . وهو سيقـــوم الان ، بشرح طريقة تضخيـــم الترددات العالية ، لصديقنا المبتدىء ، وسوف يريه ايضا ، بم تتطابق المخططات الترانزستورية ، مع مثيلاتها ، مـــن المخططات الصمامية . وبماذا تتميز عنهـــا . وبالختام : يستعرض دارة الضبط الاتوماتيكي للكسب ، المستخدمة في مضخمات التردد المتوسط الترانزستورية .

محتويات المناقشة :

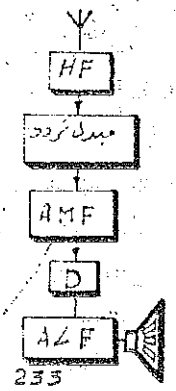
التردد الحدي ، الربط بين المراحل بواسطة دارة الطنين، التخامد ، مراحل التردد المتوسط والتردد العالي ، سعـــة الوصلة بين المجمع ــ القاعدة . طريقة ابطال أثر هذه السعة، الضبط الاتوماتيكي للكسب ، تغيرات السعات الداخليـــة والمقاومات الداخلية للترانزستور . دارة الضبط الاتوماتيكي للكسب ، ذات المضخم .

جزاء المعروف والاحسان :

م ــ انني ياصديقي فخور ومحتار بامري ، ، في نفس الوقت : فخور عالي المعنويات لانني انجزت جمع اول دارة عملية ، لي على الترانزستورات ، واغتبط اعجابا ، بأنه يوجد الان ، في حقيبتي ، مع البيك آب المحمول ، ذلك المكبر الصوت، الصغير الحجم الكبير الفعل ، ذي الشهية المتواضعة جدا . الذي اذا غذيته بكفاف العيش ، يعطيك صوتا عاليا وصافيا بنفس الوقت .

ع ــ انني سعيد جدا،ان اراك وقد طبقت عمليا وبنجاح، تلك المعلومات التي ناقشناهامعا ، واستطعت أن اوضحها لك الى هذا الحد ، وها انت ايضا ، راض عما قمت بـــه ، من عمل سواء كان في دراستنا النظرية ، او تطبيقك العملي .

م ــ الصدق يقال ... ان الامر ، ليس كما اردت تماما . كان بودي استخدام مضخمنا هذا ، ليس كمكبر صوت للبيكاب فقط ، ولكن ايضا ، للتردد المنخفض في جهاز الراديو ايضـــا ، ولكني لا اعرف كيف تصمم المراحل ، التي تسبق مكبر التردد المنخفض .



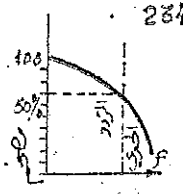
235

ع ــ ارى انني ، بعد أن عرفتك على مضخم التردد المنخفض ، اصبحت ضحية احساني ، اذ اصبح علي الان ان اعرفك ، على مراحل الترددات العالية والمتوسطة ، وينبغي علي ايضا ، ان اشرح لك عمل مبدل التردد والكاشف ، لان جهاز الراديو الترانزستوري ، يملك نفس « الاعضـــاء » الموجودة في جهاز الراديو الصمامي ، وهكذا ، لابد أن نبدأ ، من مرحلة تضخيم الترددات العالية .

عمل الترانزستور على الترددات العالية

م ــ انني اعرف، ان هذه نقطة ضعف في الترانزستورات، لانه كما قلت لي سابقا، ان تضخيمها يتناقص عند ارتفاع التردد .

ع ــ ذلك صحيح ــ وفي دليل الترانزستورات ، يذكرون عادة ، قيمة التردد الحدي لعمل الترانزستور ، وهذا هـــو التردد ، الذي لا ينخفض به تضخيم التيار عن 70% ، من كامل قيمته على التردد المنخفض ، ولكن هذا لا يحول ، في كثير من الاحيان دون استخدام الترانزستور ، في مجال الترددات العالية والعالية جدا . بغض النظر عن الانخفاض الذي يطرأ ، على عامل التضخيم . وبفضل التقدم التكنولوجي نرى ان التردد الحدي العملي ، للترانزستورات ، يرتفـــع بصورة مستمرة . وفي وقتنا الحاضر ، اصبـــح بالامكـــان استخدام بعض الترانزستورات ، على ترددات تبلغ مئـــات الميغاهرتز ، وهي الترددات المستخدمة في التلفزيون واذاعة التعديل الترددي F. M. والرادار ايضا الذي يصل به التردد الى عدة آلاف من الميغاهرتز .



م ــ ما هو اذن ، سبـــب الصعوبـــة في استخدام

الترانزستورات ..؟ واعتقد انه ينبغي علينا ، ان نستخدم للترانزستورات ، نفس الدارات المستخدمة في الصمامات .

ع ــ ان ذلك لم يكن بالامكان اذا لم نأخذ بعين الاعتبار ، بعض القيم الغير كبيرة نسبيا ، لكل من مقاومة الخرج ، وبصورة خاصة مقاومة الدخل للترانزستورات .

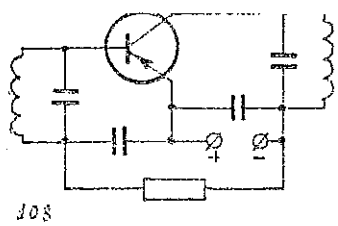
م ــ وهل يسبب ذلك ، على الترددات العالية ، صعوبات اكبر مما ، يسببه في مجال الترددات المنخفضة ..؟ انني اعتقد انه يكفي ، لحل تلك المشكلة ، ان نستخدم في دارات الربط ، محول خافض ، مع عامل تحويل مناسب ، كي يتحقق التوافق ــ بين المقاومات كما كنا قد فعلنا سابقا ، في مجال الترددات المنخفضـــة .

هدف مزدوج :

ع ــ لا تنسى ياعزيزي ، انه عند تضخيم الترددات العالية ، لا ينبغي فقط ، تضخيم الاشارات الضعيفة ، التي يتم الحصول عليها ، من الهوائي ، بل ينبغي ايضا ، انتقاء هذه الاشارات ، أو كما يقال ، انتقاء الحبوب الجيدة من بين الزوان ، وبعبارة اخرى ، يجب ان تقوم مراحل التردد العالى والمتوسط ، بمهمتين جديتين هما : التضخيم والانتقاء ويتـــم التضخيم بواسطة الترانزستورات .

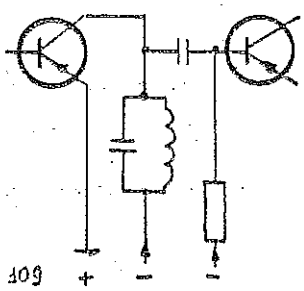
م ــ أما الانتقاء ، فيتم بواسطة دارات الطنين ، المستخدمة كحلقات ربط بين المراحل .

ع ــ ان هذا بالضبط ، ما اردت ان اقوله ، ولكن لنأخذ الان ، مرحلة من المراحل ، التي يوجد في كل من مدخلها ، ومخرجها ، دارة طنين قابلة للتوليف ، (الشكل رقم 108 نوصل دارة الدخـــل ، بـــين القاعـــدة والباعث ، علـــى التوازي ، مع مقاومة دخل الترانزستور ، التي تســـاوي 200 om - 2000 . ان هـــذه المقاومة ، تزيـــد عـــن تخامد دارة الطنين ، بدرجة ملموسة ، ومن جراء ذلـــك ، يصبح منحنى الطنين مفلطحـــا (اي يصبح اقل حـــــدة) والمشكلة تكون اخف بالنسبة لدارة طنين الخرج الموصولـــة



108

الشكل رقم 108 مخطط مرحلة تردد عال تعمل على ترانزستور ، ويوجد في دخلها وخرجها دارتي طنين



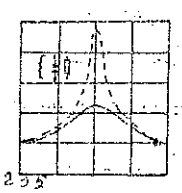
109

الشكل رقم 109 مخطط الربط بين المراحل بدارة طنين واحدة .

على التوازي مع مقاومة وصلة المجمع — الباعث التي تكون قيمتها عدة عشرات من الكيلو اوم . ولكن هذه المقاومة ايضا تزيد من تخامد دارة الخرج .

م — كيف اذن ، يتم التوفيق بين المقاومات وتفادي تأثير مقاومة الدخل والخرج، على دارة الطنين حيث تبدو القصة هنا، كقصة الماعز والملفوف ...!

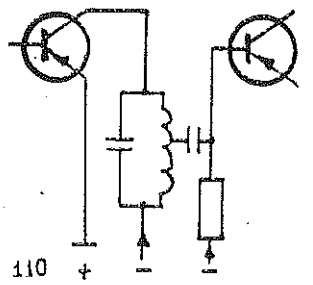
ع — يتم التوفيق والملائمة بين المقاومات ودارات الطنين، بانتقاء نسبة موافقة بين التحريض الذاتي ، لدارة الطنين وممانعتها السعوية واستخدام الربط الجزئي بين دارة الطنين والترانزستور ومن اجل ذلك ، لا يوصل الملف بكامله ، سواء في دارة الدخل او دارة الخرج ، بل يوصل جزء منه فقط . بما يحقق الهدف ، من توافق المقاومات وهذا الاجراء ، يجب أن يخفض التخامد ، المضاف الى دارة الطنين . اما التوفيق المطلوب بين الممانعات ، فهو يمكن ان يتم ، بانتقاء النسبة اللازمة بين عدد لفات ملفي المحول .



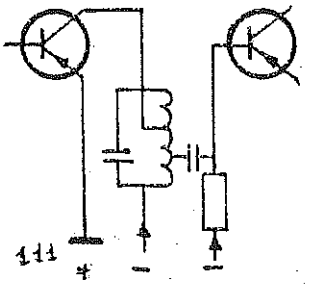
م — هذا يعني ، أن الربط يجب أن يتم دائما ، عن طريق محول ...؟

ع — ليس تماما ... ففي كثير من الاحيان ، تستخدم في دارة المجمع ، دارة طنين على التوازي ، وهذا يعتبر بدوره، شكل خاص لطريقة الربط بمقاومة ومكثف ، (انظر الشكل رقم 109) ولكن الافضل ، اللجوء الى طريقة الربط ،

عن طريق المحول الذاتي ، ذي الملف المولف وهو يتضمن تفريعات ، توصل مع مخرج الترانزستور السابق ومدخل الترانزستور اللاحق ، (أنظر الشكل رقم 110 والرقم 111) . ولكنه لا يمكن الحصول ، على أفضل انتقاء

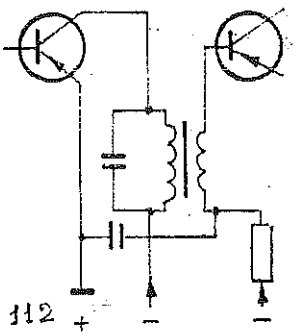


الشكل رقم 110 مخطط الربط بين مرحلتين بواسطة محول ذاتي . ويتم التوفيق بين المقاومات ، بدرجة أفضل من المخطط السابق .

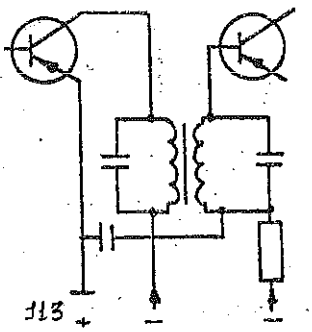


الشكل رقم 111 مخطط لتخفيف التخامد الذي تسببه مقاومة خرج الترانزستور السابق لدارة الطنين . يوصل هذا الترانزستور مع جزء من لفات ملف دارة الطنين .

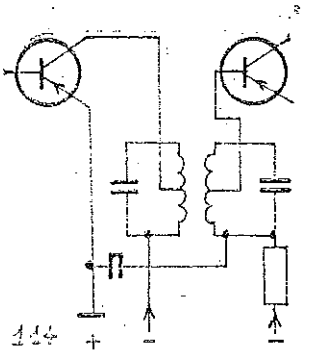
وأحسن جودة للصوت الناتج ، الا باستخدام محول ذي ملف ابتدائي مولف . (الشكل 112) أو محول ذي ملفين مولفين ، وهذا لفصل (الشكل رقم 113 و 114)



شكل رقم 112 مخطط الربط بين دارة الطنين والمرحلة اللاحقة ، بواسطة محول .

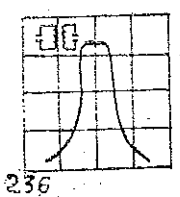


الشكل رقم 113 مخطط الربط بين المراحل بدارتي طنين ، مرتبطتين تحريضيا ، وهما يشكلان مرشح سرب (حزمه) .



الشكل رقم 114 مخطط مماثل للمخطط السابق ، المبين على الشكل رقم 113 ولكنه يتميز عنه بأن ربط دارتي الطنين ، بكل من الترانزستورين، السابق واللاحق ، يتم بطريقة المحول الذاتي . ان هذه الطريقة ، تؤمن انتقائية أفضل . ذلك لأن التخامد ، الذي تسببه الترانزستورات في دارتي الطنين ، يكون أقل .

ويستخدم المحول ذي الملفين المولفين ، غالبا ، في مراحل الترددات المتوسطة ، حيث يمكن أن يقوما بدور مرشح تمرير حزمة ، بشكل رائع ، فيما اذا أحسن اختيار درجة الربط بين الملفين .



م — هذا يعني ، أن المحول ذو الملفين المولفين ، يمرر كل نطاق (حزمة) ترددات التعديل . ويضعف بشدة ، كافة الترددات الواقعة ، خارج ذلك النطاق .

ع — نعم ياصديقي المبتدىء ...، آمل الا تكون قد نسيت ، أن هذه الطريقة ، هي أحسن طريقة ، لحل التناقضات ، بين مطلبي — الحصول على الانتقائية العالية — وانتاج صوت موسيقي جيد .

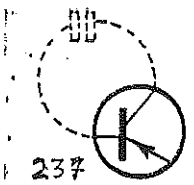
الخط الغير مرئسي :

م — اني مقتنع تماما ، بأنه ، اذا قامت ، المصانع المنتجة للملفات التحريضية ، بواجبها بصورة صحيحة ، فانه لن تعترضني أية صعوبات ، عند تصميم وتنفيذ مراحلي القادمة ، على الترددات المتوسطة والعالية .

ع — من المؤسف ياعزيزي ، انني مضطر لصب الماء البارد على تفاؤلك لا ضعف من حدة اندفاعك،واعلم ياعزيزي،

انه يوجد في الترانزستور ، خطر خفي ينتظرك ، وقد يسبب لك مصاعب جمـــه .

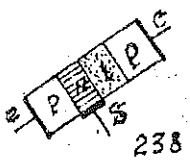
م ــ ولكن ما العمل ...؟... هذه هي الحياة سأظل اكافح بصدر مكشوف حتى تلين كافة العقبات ، ولكن ما هو الخطر الجديد الذي تقصده ..؟

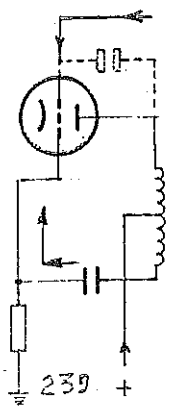


ع ــ اقصد السعة الداخلية ، بين المجمع والقاعدة ، فاذا كان لديك ، على المدخل والمخرج دارتان مولفتان على تردد واحد ، فان هذه السعة ، (التي تشكل تقريبا بضع عشرات ، البيكوفاراد) ، كافية كي تسبب تغذية خلفية ، تربط بين الدارتين ، ويمكنها ان تحول الترانزستور المحب للسلام ، الى مولد اهتزازات عالية التردد .

م ــ اذا تذكرنا ، انه للتخلص ، من مثل هذه التغذية الخلفية ، التي تسببها السعة بين المصعد والشبكة ، في الصمامات الثلاثية ، اضيفت بينهما ، شبكة ثانية ، كقطب حاجب ، يطبق عليه جهد مستمر . واظن انه يمكن استخدام ، نفس الطريقة في الترانزستور .

ع ــ انك محق الى حد ما . فمن اجل ذلك ، يصمم الترانزستور نموذج n - p - i - p الذي كنا قد تحدثنا عنه سابقا . ان طبقة النصف ناقل (i) ، الخالية من المزيج والشوائب ، تلعب ، بمفهوم معين ، دور القطب الحاجب ، الذي يخفف من قيمة السعة ، بين القاعدة ــ والمجمع ، وبالمثل توجد في ترانزستورات الانسياق ، مضطقة تفصل القاعدة عن المجمع . وعند استخدام الترانزستورات العادية ، يمكن التخلص من التذبذب الذاتي في دارات الطنين، بنفس الطريقة التي اقترح ، استخدامها في دارات التردد العالي ، المصممة على الصمامات ، قبل اخراج الصمام الرباعي . ان هذه الطريقة ، تتلخص في تحييد السعةالطفيلية الحاصلة بين اقطاب (مساري) الصمام ، وذلك عن طريق تطبيق جهد ، على قطب التحكم . (الشبكة الحاكمة) في الصمام ، يساوي بالقيمة ــ الجهد الذي تحمله السعة

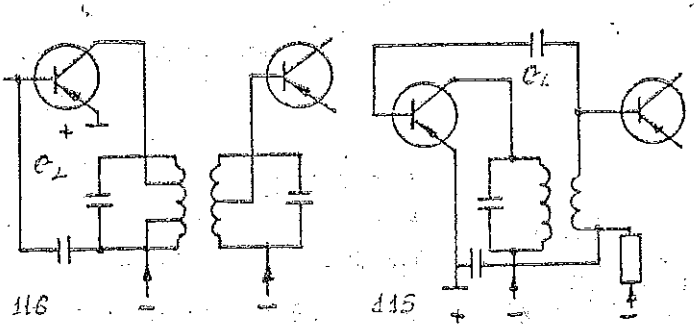




الطفيليـــة ، ويعاكسها بالصفحة ، ويستخـدم في الدارات الصمامية لهذه الغاية ، مكثف صغير ، يسمى (**بمكثف المعادلة أو التحييد**) ينقل جزء من الجهد المضخم ، عائدا بـــه الـــى الشبكة ، بطور يعاكس طور الاشارة الاصلية .

م ـــ انني اعتقد ، ان هذا كله ، من نوع التغذية الخلفية، وفي الدارات الترانزستورية ، يجب أن يطبق جهدالتغذية الخلفية هذه ، على القاعدة ، ولكن كيف يتم تحقيق شـــرط تعاكس الطور ...؟ هل هناك ضرورة لادخال مرحلـــة قالب الطور .

ع ـــ لماذا هذه التعقيدات التي تقترحها ...؟ فمـــن الممكن دوما ، ايجاد نقطة ، يكون الجهد فيها، معاكسا بالطور لجهد المجمع ... فمثلا : في حال استخدام المحول ، ذي الملف الثانوي ، الغير مولف ، يمكن أن تمثل احدى تفريعات هـــذا الملف ، النقطة الانفة الذكر (شكل رقم 115) .

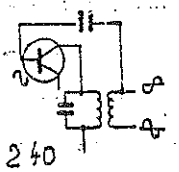


الشكل رقم 115 المكثف C_n المستخدم لتحديد أو معاكسة ، أثر السعة الطفيليةبين المجمع والقاعدة.

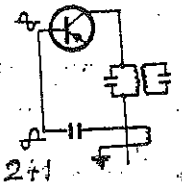
الشكل رقم 116 طريقة مـن طرق التحييد، المستخدمة في المضخمات ذات المرشحات النظامية (السريعة).

م ـــ هذا يعني ، أنه ببساطة ، توصل هذه التفريعة ، الى القاعدة ، عن طريق مكثف C_n ، ننتقي سعتـــه هكذا بحيث أن تكون قيمة الجهد الوارد عبره ، مساويـــة لنفس قيمة الجهد الوارد الى القاعدة ، عبر السعة الطفيلية المتكونة بين القاعدة والمجمع . ولكن لماذا لا يجوز استخدام هذه الطريقة ، في حال كوين الملف الثانوي للمحول مولفا ...؟

الا يظهر على احدى تفريعات ملفه الثانوي جهد معاكس بالطور لجهد الملف الابتدائي ...؟



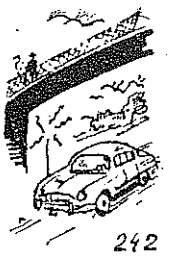
ع — كلا ياعزيزي ، ان الجهد على طرفي الملف الثانوي، بعد توليفه ، يكون متقدما بالطور بمقدار 180 درجة فقط ، عن جهد الملف الابتدائي ، وهذا يسبب بعض الصعوبات . فللحصول على جهد التحييد اللازم، لا بد من استخدام ، ملف صغير اضافي ، في المحول . وبنفس الوقت يمكن أن يستعاض عنه ، بأخذ تفريعة من الملف الابتدائي للمحول ، وتوصيل هذه التفريعة ، مع القطب السالب لمنبع التغذية وعندئذ تصبح نهاية الملف الابتدائي ، الواقعة في الجهة المخالفة ، للقسم الموصول مع المجمع ، ذات جهد معاكس بالطور ، للجهد الناتج على المجمع نفسه . ولا يبقى علينا ، سوى ان نأخذ هذا الجهد ، ونطبقه على القاعدة ، عن طريق مكثف التحييد (الشكل رقم 116) .



م — من الضروري ، أن نلجأ دوما ، الى عملية التحييد هذه ، في مراحل الترددات العالية والمتوسطة .

ع — كلا . غالبا ما يكون التخامد ، الذي تسببه المقاومة الصغيرة للترانزستورات ، كافيا ، لازالة أية امكانية ، لحدوث التهيج والتذبذب الذاتي . أما في الترانزستورات من p. n - 2 p. وترانزستورات الانسياق ، فان عملية التحييد هذه ، لا حاجة لها ، نهائيا ، ومن جهة أخرى ... لاحظ يا صديقي ، انه لكي تكون المخططات السابقة، أكثر وضوحا ، لم ابين عليها عناصر التثبيت الحروري ، أي التغذية الخلفية ، عن طريق مقاومة تتوضع في دارة الباعث وهي تستخدم في مراحل التردد العالي والتردد المتوسط ، على غرار مراحل التردد المنخفض .

م — هل يمكن أن نستخدم نظام الضبط الاتوماتيكي للكسب A G C ، في الدارات الترانزستورية ، لجعل قيمة الكسب (الربح في القدرة) أو التضخيم ، فيها ، تابعة لشدة الاشارة المستقبلة وأقصد بذلك ، ذاك النظام ،



242

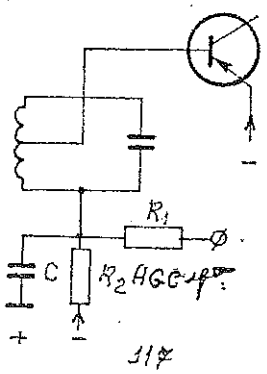
الذي لايقوم فقط بتعويض خفوت الاشارة ، ولكن يقوم أيضا ، بمنع حدوث أية اهتزازات وتغيرات في مستـــوى الاشارة المستقبلة مثل التغيرات التي تحدث مثلا ، عند مرور سيـــارة ذات جهاز راديو ، تحت جسر معدني .

ع ــ ان عملية الضبط الاتوماتيكي للكسب A G C ، تتم في الدارات الترانزستورية ، بنفس الطريقة ، المستخدمة في الدارات الصمامية . وانـــت تعلم ، أن عامل تضخيـــم الترانزستور ، يتوقف على توصيله المتبادل ، والذي يتحـــدد بدوره ، بشدة تيار الباعث . وبناء على ذلك ، يمكن تغيـــير عامل التضخيم ، بتغيير جهد انحياز القاعدة ، وفي حال كون الترانزستور ، من النموذج P-n-P المستخدم عـــادة ، يمكن خفض تيار الباعث ، وتبعا لذلك ، يمكن خفض عامل التضخيم ، بجعل القاعدة اقل سالبية .

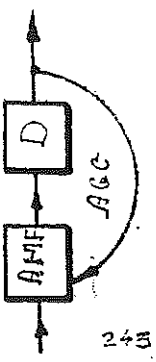
م ــ أظن انه تستخدم لهذه الغاية ، المركبة المستمرة لجهد الكاشف ، وهي تستخلص منه ، بواسطة مقاومة يتبعها مكثف تنعيم .

ع ــ هذا صحيح ولكن يجب أن لا يخفى عن بالنا هنا ، أن التحكم في الترانزستور ، لا يتطلب جهدا ، بل استطاعة ، ولذلك غالبا ما يتم الحصول على جهد الضبط الاتوماتيكى المطلوب ، بعد تضخيم المركبة المستمرة لجهد الكاشف ، وسوف ترى بأم عينك ، انه لا توجد أية صعوبات بذلك .

م ــ أما الان ، فانني أرى على الشكل رقم 117 أن التحكم في مراحل الترددات المتوسطة ، والعالية ، يتم بواسطة



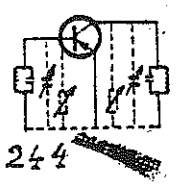
الشكل رقم 117 مرحلة تضخيم الترددات العاليـة أو المتوسطـة ، حيث يتم التحكم بنسبة التضخيـم ، بواسطة نظام الضبط الاوتوماتيكـي للكسـب AGC



243

نظام بسيط ، لضبط الكسب الاتوماتيكي A G C . حيث ان الجهد ، الذي يجب ان يكون اكثر ايجابية ، كلما كانت الاشارة المستقبلة اقوى ، يسلط على قاعدة الترانزستور ، عبر المقاومة R_1 . اما المقاومة R_2 ، الموصولة مع القطب السالب لمنبع التغذية ، فهي تؤلف مع المقاومة R_1 مقسما للجهد . وعلى هذا الاساس ، نجد انه ، عندما تضعف الاشارة . يزداد جهد القاعدة سالبية ، وبالتالي تزداد نسبة التضخيم . وعندما تقوى الاشارة تصبح القاعدة اقل سالبية ، الامر الذي يؤدي الى انخفاض التضخيم وهكذا تسير الامور بترتيب رائع .

الصعوبات الغير متوقعة :


244

ع — هأنذا مرة اخرى ، أجد نفسي مضطرا ، لان أعكر صفوك ، واوقف اندفاعك . ان تفاؤلك الزائد هذا ، لا يرتكز على أسس مدروسة . لا تنسى ياعزيزي ، انه يوجد في الترانزستور ، اتصال وارتباط متبادل ، بين كافة الظواهر والعوامل ، وان كل تغيير يطرأ على اي من القيم ، يؤدي الى تغيير مفاجيء وحاد ، في كافة القيم الاخرى ، وفي الحالة المعنية ، تتغير كل من سعة الدخل والخرج بآن واحد ، وبنفس الاتجاه الذي تتغير به قيمة تيار الباعث .

م — هذا يعني ، أن تغيير جهد الضبط الاتوماتيكي لشدة التضخيم ، يؤدي الى اختلال توليف دارات الطنين ، الموصولة بمدخل ومخرج الترنزستور .

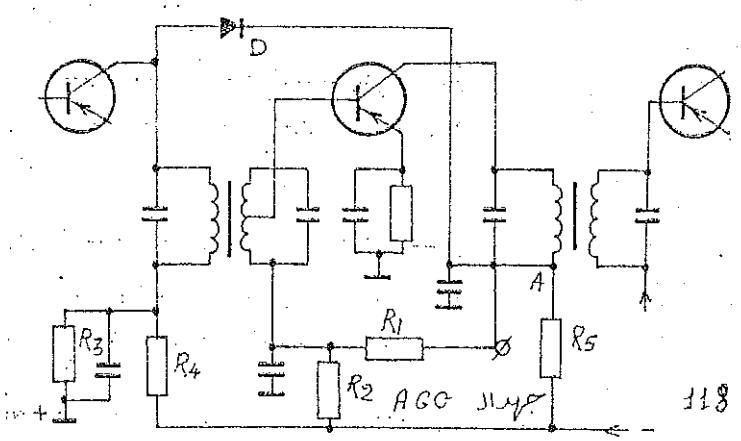
ع — نعم يا صديقي المبتدىء .. ولكن المشكلة لا تنحصر بذلك فقط ، لان مقاومة الدخل والخرج ، تتغيران ايضا .. ، تبعا لتغيرات تيار الباعث ، ولكن بالاتجاه المعاكس ..

م — وهل هذا مهم جدا ...؟ ان زيادة هاتين المقاومتين ، تؤدي فقط ، الى التقليل من اثرهما على دارات الطنين ، في مدخل ومخرج المرحلة ، وبذلك يصبح المستقبل ، اكبر قدرة على الانتقاء .

ع ــ ولذلك . . . ،تصبح نوعية الصوت ، الناتج أسوأ . لان نطاق التمرير ، يصبح أكثر ضيقا وبالتالي فاننـــا نفقد الترددات العالية ، ذات الصوت الحاد، عند استقبال الاشارات القويـــة .

م ــ خلال الفترة التي عرفتك بها ، يا صديقي العارف، فهمت طريقتك في معالجة الامور . فانت تعمد الى جمع كافـــة الصعوبات ، ثم تقوم بالتخلص منها ، دفعة واحدة وكأنك تحمل العصا السحرية ، فما عليك الا أن تحرك هذه العصا . اذن حرك عصاك من فضلك ، لنرى ماذا سيحدث . . . ؟

ع ــ الحق يقال . . . ، لا يمكن ارضاؤك الا بحل وسط بين المتطلبات والصعوبات ، لانه من الصعب التخلص من كافة المساوئ ، التي بينتها لك دفعة واحدة . ولهذه الغاية ، يمكـــن أن نقوي دارة الضبط الأتوماتيكي ، حتى تستطيع ان تقوم بنفس الوقت ، بالتأثير على تخامد دارة الطنين ، وترفع قيمته، عندما تصبح الاشارة قوية ، أكثر من الحد المطلوب . واليك المخطط المنفذ بذكاء حاذق ، والذي يسمح لنا ، بتطبيق عمليـــة التوازن ، التي أشرنا اليها (انظر الشكل رقم 118) انك سوف تـــرى هنا ، نفس الطريقة المستخدمة للتحكم فـــي الكسب ، وهي تمتاز بوجود مضخم اضافي ، ويتم التحكـــم



الشكل رقم 118 مخطط دارة نظام الضبط الاتوماتيكي للكسب ، التي تتميز بوجود مضخم اضافي ، مع الديود D الذي يسبب ، تخامد لدارة الطنين الاولي .

بواسطة المركبة المستمرة لجهد الاشارة المكشوفة ، وهي تطبق على قاعدة الترانزستور ، ولكن عدا عن ذلك ، يمكنك ان ترى هنا ، ايضا ، انه يوجد في هذا المخطط ، عنصر غير عادي ، وهو الديود D ، الموصول بين مربطي احدى دارات الطنين ، في المدخل ، ومقاومة تلك الترابط R_5 الموجودة في دارة المجمع . فحاول ان تحلل دور الديود D في هذا المخطط .

م — حسنا ، لنفرض أن الاشارة المستقبلة ، اصبحت قوية اكثر من الحد النظامي ، عندئذ ، نجد أن الجهد الوارد الى قاعدة الترانزستور ، الثاني عبر المقاومة R_1 سيجعل هذه القاعدة اكثر سالبية ، ومن ثم يتناقص تيار الباعث في هذا الترانزستور ، ويتناقص تيار المجمع تبعا لذلك ، وهذا يعني انه يتناقص هبوط الجهد ، الذي يشكله هذا التيار في المقاومة R_5 ، وهذا يؤدي بدوره ، الى أن تصبح النقطة A اكثر سالبية ، والتيار الذي يمرره الديود يتزايد ، لان الجهد المطبق على هذا الديود ، في الاتجاه المباشر يتزايد وهذا كل ما في الامر .

ع — كلا ياعزيزي ... هذا ليس كل شيء ، فالدارة كما ترى ، موصولة على التوازي ، مع دارة الطنين الاولي . وبما أن التيار في تلك الدارة ، يزداد فان مقاومتها تنخفض ، وبالتالي ، نجد أن الدارة المذكورة ، تسبب تخامدا اضافيا ، لدارة الطنين الاولى ، ويتزايد هذا التخامد ، عند استقبال الاشارة القوية .

م — لقد فهمت مغزى الموضوع ... ،عندما تكون الاشارة قوية ، تزداد المقاومة الداخلية للترانزستورات ، ويعوض اثر ازديادها ، بنقصان مقاومة الديود ، الموصول على التوازي . وعلى هذا الاساس ، فاننا ، نحصل على تغيرات متعاكسة متوازنة ، تعادل بعضها بعضا ، وعدا عن ذلك ، فان التخامد المتزايد ، لدارة الطنين ، يخفض من عامل التضخيم ، مما يزيد من فعالية الضبط الاتوماتيكي .

ع — يبدو لي ياعزيزي ، انك تستطيع قريبا ، ان تعلمني نظرية الترانزستور وتطبيقاته :

فالى الامام في محادثتنا القادمة

المناقشة الثالثة عشر :

من التردد العالي الى المتوسط ثم الى المنخفض :

الان ، أصبح صديقنا المبتدىء ، يعرف كيف أن الترانزستور ، يمكنه تضخيم الترددات العالية ، المتوسطة والمنخفضة . ولكن لم يتضح له بعد ، كيف يتم الانتقال من تردد الى آخر . لذلك سوف يقوم صديقنا العارف ، بكشف أسرار تغيير التردد وكشف الاشارات ، معرجا بطريقه ، على بعض مخططات المذبذبات ، المبنية على الترانزستورات .

محتويات المناقشة :

الكشف بواسطة الديودات ، مخطط عملي للكاشف المبني على الترانزستور،الكاشف معيد التوليد. مخططات المذبذبات ، تغيير التردد مع مذبذب محلي مستقل وبواسطة ترانزستور واحد .

آخر النقاط المجهولة :

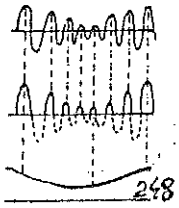
م ــ في العصر الذي لم يعد به ، على الخارطة القمرية، اسرار تخفى علينا ، وبقع او نقاط مجهولة . اعتقد انني استطيع ان افكر ، في تلك الخرائط ، التي كانت نقاطها المجهولة مبعث تأمل وتفكير لاجدادنا ، وفسحت المجال **لجول ، فيرن** وامثالهما ليسرحوا بتخيلاتهم حولها .

ع ــ انني افهم ماذا تقصد بذلك ، ففي سلسلة المراحل، التي يتكون منها جهاز الاستقبال ، بقي عليك نقطتان مجهولتان فقط ، وهما تغيير التردد ، والكشف . وسوف نحل هذين الموضوعين بسهولة كافية ، والاكثر من ذلك ، انه هنا ، لا تنتظرنا اية صعوبات ، وانت تعلم جيدا ، كيف يتم كشف الاشارات ، بواسطة الديود .

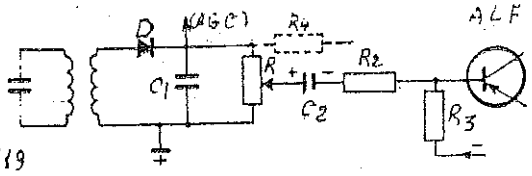
م ــ صحيح . . . ، سبق لنا ذات مرة ، ان درسنا ، كيف يستخدم الديود ، لتقويم الاشارات عالية التردد ، وينتج عن التقويم ، نوبات موجبة او سالبة ، تؤخذ قيمتها الوسطى

بواسطة مكثف . فيتشكل على مقاومة الحمل ، جهد الترددات المنخفضـــة .

الكشف والتقويم :



ع ــ وعلى هذا الاساس ، اليك هذا المخطط ، الـــذي لا يوجد به ، اي شيء غامض (شكل رقم 119) الديود D المستخدم هنا ، يكون من نوع ديودات التلامس النقطـــي ، وهو يقوم بتقويم التيار الوارد من محول التردد المتوسط ، ويعطى على طرفي المقاومة R ، جهدا ، يتم التخلص



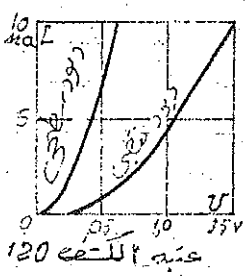
الشكل رقم ــ 119 مخطط كاشف ديودي يرتبط بمحول مع آخر دارة طنين للتردد المتوسط للتردد المتوسط .

من تموجاته العالية التردد ، بواسطة المكثف C_1 ، وتبقى فيه مركبة التردد المنخفض . وبتحريك زالقة المقاومة المتغيرة R ، يمكن ان نأخذ قسما كبيرا او صغيرا ، من تلك المركبة ، يكبر فيما بعد ، بمكبر التردد المنخفض . وبذلك يتم ضبط قوة الصوت ، ويقوم المكثف الكيميائي C_2 ، بتمرير اشارة التردد المنخفض ، الى قاعدة ترانستور المرحلة الاولى . من مضخم التردد المنخفض ، كما ويقوم بنفس الوقت ، بفصل دارة القاعدة ، عن دارة الكاشف ، بالنسبة للتيار المستمر .

م ــ ولكن ، لماذا تستخدم هنا ، المقاومة R_2 ...؟

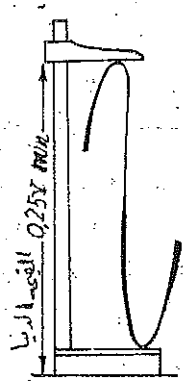
ع ــ لكي لاتنخفض كثيرا ، مقاومة حمل الديود بتأثير مقاومة دخل الترانزستور ، وبفضـــل المقاومة R_2 ، يتناقص التخامد الذي تنقله دارة الكاشف ، الى آخر دارة طنين ، للتردد المتوسط . وتتزايد فعالية عمل الكاشف ، اثناء كشف الاشارات الصغيرة ويساعد على ذلك أيضا ، جهـــد الانحياز الامامي الصغير ، الذي يعطي للديود عن طريق المقاومة

R_4 ، المتصلة مع القطب السالب للبطارية ، وبفضل جهد الانحياز المذكور ، تنقل نقطة عمل الديود ، الى المنطقة ذات التوصيل المتبادل الكبير ، يبلغ الجهد « الحدي » ، المقابل لتلك النقطة في حالة ديودات التماس النقطي حوالي 0,25 ڤ فولط الشكل رقم 120 .

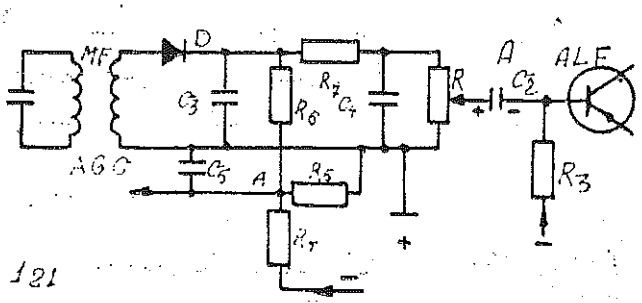


الشكل رقم 120 المخطط البياني الذي يمثل تبعية تيار الديود ، الى الجهد المطبق عليه . تجدر الملاحظة هنا ،الى سوء حساسية الديود النقطي للجهود الصغيرة (يلاحظ أن التيار يظهر فقط عندما يكون الجهد حوالي 0,25 فولط .

م — انني أرى انك من هذا الكاشف أيضا ، تحصل على جهد الضبط الاتوماتيكي للكسب . . . !. . . ؟



ع — نعم ولكنني غير واثق ، من أن الجهد الذي يتم الحصول، عليه على حمل الكاشف ، يكون دائما ، كاف ، لتأمين عمل نظام الضبط الاتوماتيكي للكسب ، بنجاح ، ولكن قبل ان نتحدث عن الضبط الاتوماتيكي للكسب في المضخم ، أود أن أقترح عليك ، ان تقوم بنفسك ، بدراسة وفهم ، دارة احد اكثر الكواشف الديودية انتشارا ، واتقانا (الشكل 121)

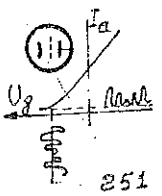


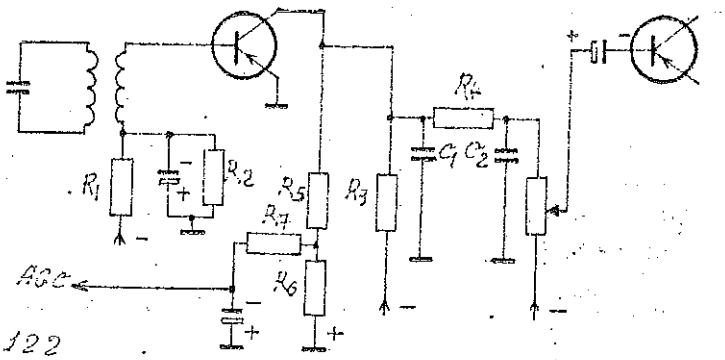
شكل رقم 121 - مخطط الكاشف ، الذي يولد جهد الضبط الاتوماتيكي للكسب ، على مقاومة مستقلة (R_5) ، ان تموجات التيار ، الناتج عن التقويم بواسطة الديود ، تنعم بواسطة المكثف C_5

م — ان هذا لا يخيفني ابدا . . . فهذا المخطط يختلف عن

المخططات السابقة ، فقط بوجود الدارة C_4 ، R_7 ، C_3 التي تمثل مرشحا صغيرا حقيقيا،لتمرير الترددات المنخفضة ــ الجهد الوارد الى مضخم الترددات المنخفضة . وعدا عن ذلك، نحصل هنا ، على الجهد اللازم لنظام الضبط الاتوماتيكـــي للكسب ، على مقاومة خاصة ، هي المقاومة R_5 ، ويتصل مع هذه المقاومة ، على التوازي ، المكثف C_5 ، وتستخدم المقاومة R_6 ، لمنع تأثير المكثف المذكور ، علـــى دارة الترددات المنخفضة . وتوصل النقطة A الى القطب السالب ، لمنبع التغذية ، عن طريق المقاومة ، R_4 لكي تعطي جهد الانحياز الاول ، الى قاعدة الترانزستور ، الذي يتم ضبط كسبه أتوماتيكيا ، وبعبارة اخرى ، نجد هنا ان دارة الترددات المنخفضة ، مفصولة عن دارة الضبط الاتوماتيكي للكسب (A G C) ، ولكني اريد ان اعرف ، كيف حققت ، ضبط الكسب اتوماتيكيا ، في هذا المضخم ....؟

ع ــ بغاية السهولة ... عن طريـــق الكشف بواسطة ترانزستور (شكل رقم 122) وبعبارة ادق ، بواسطة وصلة الباعث ــ القاعدة p - n فهي أيضا ، عبارة عن ((ديودثنائي)) ، والجهد الحدي فيه ، اقل بكثير مما هـــو عند ديود التلامس النقطي ، ــ فيكفي اعطاء جهد انحياز سالب صغير،من مرتبة 0,1 فولط،بواسطة مقسم الجهد،المكون من المقاومتين R_1 ,R_2 حتى يمكن كشف الاشارات ،ذات الاتســـاعـــات الصغيرة وتذكر جيدا ان جهـــد الانحياز هنـــــا يجـــب ان لايتعـــدى

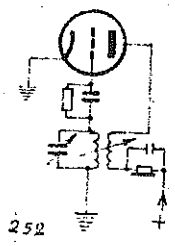




الشكل رقم 122 - مخطط كاشف ترانزستوري ، يحقق بآن واحد : عملية الكشف وتضخيم جهد الضبط الاتوماتيكي للكسب ، (AGC)

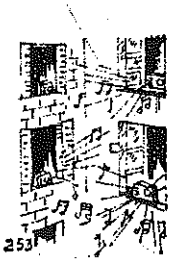
٠,١ ٧ فولط ، وبدون هذا الشرط ، فان الترانزستور ، بدلا من ان يكشف اشارة التردد المتوسط ، فانه يقوم بتضخيمها ، ولا حاجة لهذا هنا ، ابدا ، أما اذا كان جهدالانحياز ٠,١ فولط ، فقط فان الترانزستور ، لايعطي تيارا على مخرجه، الا خلال انصاف الادوار السالبة ، لجهد الدخل اي ان تيار مجمع الترانزستور ، المذكور يمر فقط خلال انصاف الادوار المذكورة. ويتناسب معها طبعـــا .

م ــ ارى ان هذا ، تكرارا دقيقا ، لعملية الكشف علـــى منطقة انعطاف ، منحنى خواص الصمام الالكتروني ...! ويمكنني أن أتصور جيدا ، ماذا سيحدث فيما بعد ...! ان نبضات المجمع الوحيدة الاتجاه ، سوف تشكل على مقاومة حمل الترانزستور ، جهدا مضخما ، للتردد المنخفض . وبعـــد تخليص هذا الجهد ، من مركبته العالية التردد ، بواسطة دارة الترشيح C_2 ، R_4 ، C_1 يتم تضخيمه بواسطة مضخـــم التردد المنخفض . وتستخدم المقاومة المتغيرة ، الموصولة بين مخرج دارة الترشيح ، ومدخل المضخم،من أجل الضبط اليدوي لشدة الصوت .


252

ع ــ هذا صحيح ... ولكن ، عدا عن ذلك ، يمكنك أن تلاحظ ، ان المقاومة R_6 تشكل مع المقاومة R_5 مقسما لجهد خرج الكاشف ، ومن هذاالمقسم ، وعن طريق المقاومة R_7 ــ يؤخذ جهد الضبط الاتوماتيكي ، الى قاعدة الترانزستورات ، التي تتحكـــم فيهـــا دارة الضبط الاتوماتيكي للكسب .

تناقضات التغذية الخلفية :

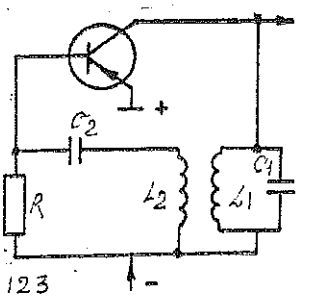

253

م ــ لقد لاحظت ، ان جهد الضبط الاتوماتيكي ، يضخم فعلا ... والان ، اذا تحدثنا عن عملية الكشف ، فانني أود أن أوجه اليك سؤال ... هلّ يمكن ان يتم تضخم الجهد،بواسطة ترانزستور دارة الكشف ، بطريقة اعادة التوليد ... اي نفس الدارة ، التي كنت دائما ، معجبا بحساسيتها العالية جدا...؟

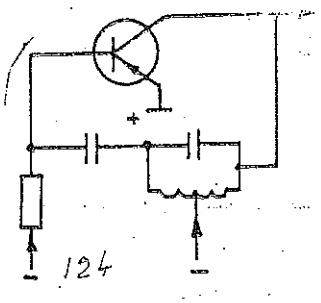
ع ــ طبعا يمكن ... ومن أجل ذلك ، يكفي أن يعطـــ

الى دارة الدخل ، جزءا من الطاقة المضخمة ، الصادرة عن خرج الكاشف . ومما لاشك فيه انه لا بد وان يكون ...

م — ... جهد التغذية الخلفية ، متفقا بالطور ، مع جهد الدخل ، والا فاننا نحصل ، على تغذية خلفية سالبة ، وبدلا من رفع قيمة التضخيم ، نكون قد خفضناها ... !



الشكل رقم 123 دارة مذبذب ذو دارة طنين ، متصلة بالمجمع وذو ملف تغذية خلفية ، يتصل بدارة القاعدة .

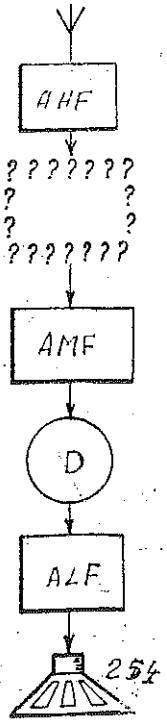


شكل رقم 124 يمكن تصميم المذبذب ، بملف واحد ، ذي تفريعة . ويبين الشكل رسما لمثل هذا المذبذب الذي يسمى بمذبذب هارتلي .

ع — ومن الضروري ، مراعاة شرط واحد فقط . وهو درجة الربط ، بين دارتي الدخل والخرج ، حيث يجب ان لا تتعدى حدا معينا والا ....

م — ... والا ، فان كاشف اعادة التوليد ، يتحول الى مولد ترددات عالية ، وتسبب اشعاعاته العشوائية ، تداخلات بشكل صغير ، في اجهزة الاستقبال القريبة منه .

ع — ان هذا يجري ، عندما تعطي ، من دارة الخرج الى دارة الدخل ، طاقة اكبر من الطاقة التي تمتصها دارة الدخل ، ومن جهة اخرى ، انك تعلم يا صديقي ، ان مثل ذلك المولد ، (المذبذب) ، لا يعتبر دوما ، سببا للتشاجر مع الجيران ...؟ فهل يمكن ان يستخدم ايضا ، في تغيير التردد مثلا . كما يوجد في أجهزة استقبال السوبرهيترودين ...؟



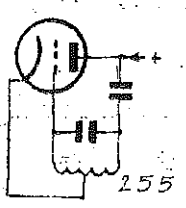
م — انني شديد الاعجاب ، لما قمت به مؤخرا ، من دراسة النقاط المجهولة ، على خريطتي للجغرافية ، واعتقد

ان الخواص المرنة للترانزستور ، تسمح بتصميم عدد كبير من مخططات المذبذبات .

ع ــ انك لست مخطئا بذلك ،...! فبالفعل . يمكن وصل دارة الطنين ، اماني دارة المجمع ، او في دارة الباعث ــ القاعدة . ويمكن ايضا تأريض الباعث او القاعدة ، كما ويمكن اعطاء جهد التغذية الخلفية ، تبعا لذلك ، اما على القاعدة ، او على الباعث ، واخيرا : يمكن تصميم المذبذب ، بملف واحد فقط ، يستخدم في دارة الطنين ، ويؤخذ منه جهد التغذية الخلفية بآن واحد ...

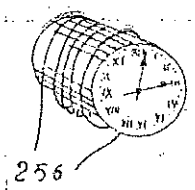
م ــ اذا سمحت ، فانني سأحاول رسم مخطط بسيط، للمذبذب المحلي ، (الشكل رقم 123) ولذلك ، سأدخل دارة طنين ، قابلة للتوليف ، في دارة المجمع ، ويتصل الملف L_1 ، من هذ ه الدارة مع الملف L_2 ، الذي تؤخذ منه الاشارة ، وتعطى عبر المكثف C_2 الى قاعدة الترانزستور ، اما جهد انحياز القاعدة ، فيتم الحصول عليه عن طريق المقاومة R ، وكيف تظن ، هل يمكن لهذه الدارة أن تعمل كمذبذب ...؟

ع ــ بدون اي شك...!بشرط ان توجه لفات الملف،بشكل صحيح .



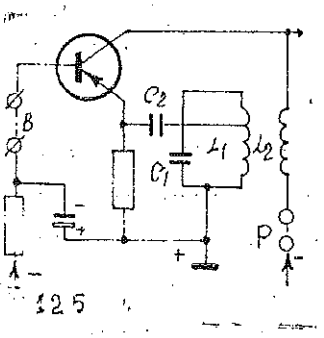
م ــ كيف يمكن التأكد من تحقيق هذا الشرط ، بدون اللجوء الى التجريب العملي ...؟

ع ــ تذكر ياصديقي ...، مذبذب هارتلي الذي حضرت لك مخططه،في حالة استخدام الترانزستور (الشكل رقم 123) وكما ترى على هذاالمخطط يمر التيار عبر لفات الملف الواصل بين المجمع ــ والقاعدة دائما بنفس الاتجاه ، فلنطبق هذا الشرط ، على المخطط الذي رسمته انت (الشكل رقم 123) ــ افترض مثلا : أن التيار يمر في الملف L_1 من المجمع ، الى القطب السالب لمنبع التغذية ، باتجاه حركة عقارب الساعة فعندئذ يجب أن يكون اتجاه التيار في الملف L_2 ، عند مروره من القطب السالب لمنبع التغذية ، الى قاعدة الترانزستور ، عبر لفات الملف ، بنفس الاتجاه السابق .



م ــ أما اذا كانت القاعدة مؤرضة ، ونحن نرسل جهد التغذية الخلفية ، الى الباعث ، فعندها بدون اي شك ، يجب تغيير اتجاهات كليهما .

ع ــ ان هذا امر بديهي . واذا عدنا الى المخطط المبين على الشكل رقم 125 ، وهو يحتوي على دارة الطنين L_1 C_1 في دارة الباعث ، فنجد أن ملف التغذية الخلفية L_2 ، الموصول في دارة المجمع ،يجب أن يوجه بالاتجاه المعاكس لاتجاه الملف L_1 .



شكل رقم 125- المخطط الاوسع انتشارا ، للمذبذب ذي دارة طنين تتصل بالباعث وتتصل دارة الطنين هذه ، اتصالا تحريضا ، مع مجمع الترانزستور وذلك بواسطة ملف التغذية الخلفية L_2

الترانزستور يشرب كافة أنواع العصير :

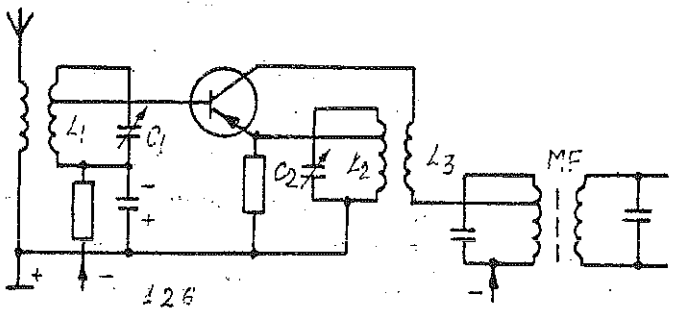
م ــ اعتقد انه باستطاعتي أن ارسم ، حوالي عشر مخططات ، لمختلف انواع المذبذبات ، ولكنك تحدثني ، عن المذبذبات ، فقط من اجل الوصول الى موضوع تبديل التردد ، وبنفس الوقت ، أشعر وكأنني اسير في طريق مسدود ، فكيف أصمم مذبذب محلي ، ومازج ، لتغيير التردد بواسطة الترانزستورات . وما هي الا ثلاثيات نصف ناقلة ...؟ أفلا توجد امكانية لصنع سداسيات وسباعيات وثمانيات من أنصاف الموصلات لتعمل كالصمامات السداسية والسباعية والثمانية ...؟

ع ــ حتى الان لم يصنع من انصاف الموصلات (النواقل)، ما يقابل تلك الصمامات وقدتكون هناك امكانية ، لصنع ترانزستور ذي قطبي : تحكم بحيث يخضع التيار العام ، بآن واحد ، لتأثير كل من جهد القاعدة ، والحقل الكهربائي ، الناتج عن القطب الرابع الجديد ، على افتراض ان هذا الحقل ،

سيعمل على حرف الالكترونات ، عن خط انتشارها المستقيم ، ولكن حتى وقتنا هذا ، لايزال بالامكان ، وبشكل رائع ، الاكتفاء بالترانزستور الثلاثي . الاندري ، أن بأجهزة الاستقبال الاولى، من طراز السوبر هيترودين ، كانت قد صممت، في وقت لم تكن معروفة فيه ، سوى الصمامات الالكترونية ، الثلاثية الاقطاب .

م ــ ارجوك أن تقول لي ، بسرعة ياصديقي ، ودون أي تأخير ، كيف انك بواسطة ترانزستور واحد فقط ، تستطيع أن تولد ذبذبات محلية ، وتمزجها مع الاشارة العالية التردد ، الواردة من الهوائي . حتى تحصل بنتيجة المزج ، على مركبة التردد المتوسط ...؟

ع ــ ان هذا بغاية السهولة ، انظر ياصديقي المبتدىء، لنأخذ مذبذبا كالمذبذب الذي أوردنا مخططه ، على الشكل رقم 125 ، ونوصل بالنقطة B ، دارة طنين مولفة على التردد الوارد من الهوائي ، ونوصل بعد ذلك في النقطة P . الملف الابتدائي لمحول التردد المتوسط ،وعندها سنحصل على المذبذب ، المبين في الشكل رقم 126 ، واذا كانت دارة طنين



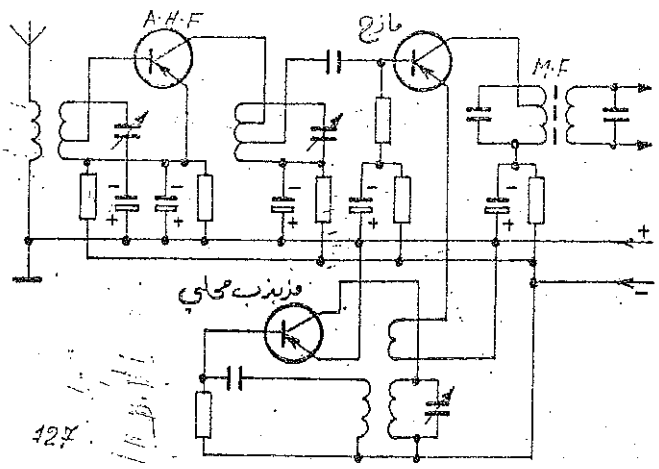
شكل رقم 126 دارة مغير (مبدل) تردد يتم الحصول عليها مباشرة من دارة المذبذب المبينة على الشكل رقم 125

المذبذب المحلي C_2 L_2 ، مولفة على تردد ، يختلف عن تردد الاشارة المستقبلة ، بمقدار التردد المتوسط ، فان تبديل التردد ، يتم بدون اية صعوبات ..

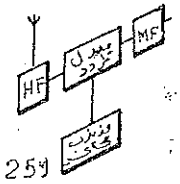
م ــ فعلا ، انك تدخل الاشارة ، الى دارة القاعدة ، وتحدث ذبذبات محلية ، بين الباعث والمجمع . وطبعا ، انك

تستفيد هنا ، من عدم خطية (عدم استقامة) منحنيات خواص الترانزستور ، الذي تطبق عليه ، بنفس الوقت ، جهد انحياز مناسب ، كي يقوم بكشف مزيج الذبذبات . ان اتباع مثل هذه الطريقة ، لاستثمار الترانزستور المسكين ، وتحميله عبئا كبيرا من المهام، يجعلنا نعود الى اسوأ فترات عهد الرق والعبودية .

ع — ان الترانزستور لايشعر ، بأن أوضاعه أسوأ بكثير ، مماكانت عليه من قبل ، . ولكن اذا أردت أن تفصل وظيفة المذبذب المحلي ، عن وظيفة المازج، (وهذا افضل بكثير، في حال التعامل مع الموجات القصيرة) فبامكانك اللجوء ، الى الدارة ذات المذبذب المحلي المستقل (الشكل رقم 127)



شكل رقم 127 دارة مبدل للتردد ، ذات مذبذب محلي مستقل



م — ان هذا بديع جدا ، والان ، يمكنني أن انوه بمنتهى الغبطة والسرور ،انه لم تبقى لدي على خارطة بلاد الترانزستورات الرائعة ، اية نقطة مجهولة .

المناقشة الرابعة عشر :
العربات والقطارات

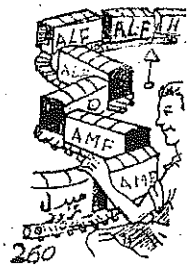
في هذه المناقشة الاخيرة ، تنتهي الرحلة التي يقوم بها صديقانا،في بلاد الترانزستور البديعة الا يكون الحديث في محله الان اذا تطرقنا لموضوع ، القطارات ...؟

ان هذا اللقاء الاخير ، يسمح للعارف والمبتدىء ، أن يستخدما ، المعلومات التي تم الحصول عليها ، لشرح المخطط الكامل ، لجهاز الراديو الترانزستوري ! واعتمادا على ما تم استيعابه منقبل ، من معلومات ومفاهيم ، يقوم صديقانا بالقاء نظرة على الافاق الرائعة،لاستخدام الترانزستور في المستقبل .

محتويات المناقشـــة :

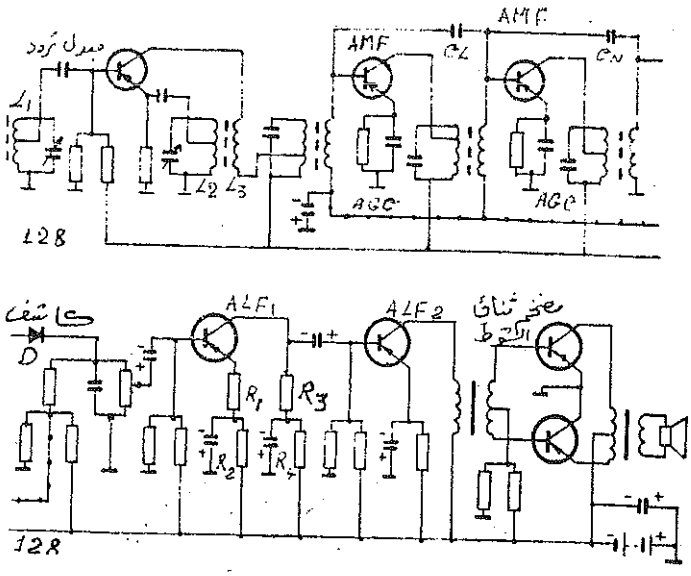
المخطط الكامل لجهاز الراديو ، هوائي الفريت حالات الاستخدام المختلفـــة ، للترانزستور ، مبـــدل التيـــــار ، ترانزستورات المستقبل .

وسيلة تسلية للصغار :
ووسيلة تهدئة للكبار :



م — لا تعجب ياصديقي العارف ، اذا رايتني الان ، أتسلى بلعبة القطار الكهربائي ، لقد اشتريته لابن اخـــــى الصغير . وانني الان ، اختبر صحة عمل نظام التحكم الالكتروني عـــن بعـــد .

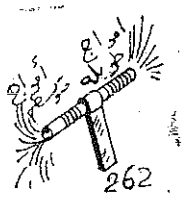
ع — نعم .. هذا بالضبط مايقوله الاباء ، الذين يهدون أولادهم قطارات كهربائية ، ولا يملكون الشجاعة ، علـــى الاعتراف ، أن هذه القطارات ، تسليهم هم انفسهم أيضا ، وانت بقطارك هذا ، سوف تسبب الضياع لابن أخيك ، فكم هناك من اختلاف في أنواع عربات القطارات ، اذ نجد هناعربات سياحية ، من مختلف الدرجات ، عربات للنوم ، عربة مطعم ، عربات البرادات وعربات الماء والوقود ... الخ ... لماذا هذا كلـــه ..؟



الشكل رقم 128 - مخطط نموذجي لجهاز (استقبال) راديو ترانزستوري ، صغير الحجم ، مؤلف من المراحل التي تمت دراستها سابقا ، لم تذكر على المخطط ، قيم المقاومات والمكثفات ، لان هذه القيم ، تتوقف على أنواع الترانزستورات المستخدمة.

م — ان هذا يسمح بتركيب عدد لا متناه من القطارات المختلفة .

ع — وبالمثل ، يمكن استخدام دارات المراحل الترانزستورية ، التي سبق أن درسناها من قبل ، لتصميم عدد لا متناه ، من أجهزة الراديو المختلفة . ومن غير المعقول طبعا أن نستعرض كافة مخططات الاجهزة ، التي يمكن تصميمها واذا وجدت لديك رغبة ، فاننا سنستعرض مخططا كاملا ، واحدا ، يعتبر مثالا لبقية المخططات . ويتألف من العربات .. — أقصد المراحل التالية : مبدل التردد الذي أوردنا مخططه على الرسم رقم 126 ، مرحلتي تضخيم التردد المتوسط مماثلين للمرحلة التي أوردنا مخططها على الشكل رقم 125 ، ولكن المحولات هنا ، تتضمن تفريعات في ملفاتها الابتدائية ،من أجل تخفيض التخامد المنقول ، الى دارة الطنين ، من الترانزستور السابق ، مرحلة الكاشف ، وهي تشبه المرحلة التي أوردناها على الشكل رقم 119 ، مرحلتين لتضخيم التردد المنخفض، ترتبطان بمقاومة ومكثف ، كما في الشكل رقم 90 ومرحلة



خرج ، دفع وجذب ، كالمرحلة التي أوردناها في الشكل رقم 101 أرجو ياصديقي ان تستعرض هذا المخطط (الشكل رقم 128) بانتباه ، اذ أن معظم أجهزة الراديو النقالة ، كالاجهزة التي عكرت صفوك على الشاطىء ، تصمم بمخططات مماثلة ، تختلف فقط ، في بعض التفاصيل ، هل ترى في المخطط أي شيء يثير اهتمامك ..؟

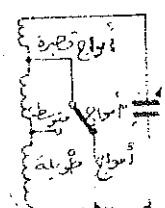
الهوائيات الصغيرة الحجم :

م — لقد لفت انتباهي شيء لم أراه في هذا المخطط وهو الهوائي ...!

ع — لا وجود للهوائي هنا ، ويقوم مقامه نفس ملف الدخل L_1 الذي يكون ملفوفا على قضيب طويل ، من الفريت ، يكثف بداخله طاقة الموجات الكهرطيسية .

م — من الواضح ، أن قطر هذا الملف ، يجب أن يكون كبيرا ، لدرجة ملموسة ، كي يجمع كمية كافية من الطاقة ، على غرار الهوائي الاطاري .

ع — كلا .. لا حاجة للقطر الكبير ، لان الفريت ، هو عبارة عن مادة خزفية مغنطيسية ، تتميز بنافذية عالية ، ويمكن القول أن الفريت ، يحتوي داخل احشائه ، كافة خطوط الحقل المغناطيسي ، الموجود بجواره ، بشكل مكثف . وبفضل ذلك ، يستطيع ملف صغير ، لايتجاوز قطره سنتمترا واحدا ، أن يلتقط من الموجات الكهرطيسية ، طاقة مساوية للطاقة التي يلتقطها هوائي اطاري كبير . ويتميز الفريت أيضا ، بخاصة الاتجاهات . التي تضطرنا أن نوجه جهاز الراديو النقال ، بكامله ، بالاتجاه الذي يعطي أقوى استقبال وأقل تشويش ويحسن ذلك من انتقائية جهاز الراديو .



انتبه ياصديقي ...! بدلا من ملف واحد L_1 ، وكذلك بدلا من ملفي المذبذب المحلي L_2 ، L_3 المستخدمة هنا ، تستخدم عادة ، عدة ملفات ، مع مفتاح ناخب ، وكل ملف من

هذه الملفات ، يقابل مجالا معينا ، من مجالات الامواج اللاسلكية . ولذلك نرى ، أن الاجهزة المخصصة للموجات الطويلة والمتوسطة ، تحتوي على ملفين اثنين ، واذا كان من الضروري استقبال الامواج القصيرة أيضا، فلا بد من استخدام ملف ثالث ، يوصل مع هوائي نصف تلسكوبي، بشكل ماسورة معدنية غير كبيرة . لان الهوائي الفريتي لايعطي نتاجا جيدة على الموجات القصيرة . وهل توجد لديك بعد ، أية نقاط غير واضحة ...؟

م — لا والله ، لم تبق هناك أية نقاط غير واضحة ، والاحظ من المخطط أن جهود الانحياز لكافة قواعد الترانزستورات ، يتم الحصول عليها بواسطة مقسمات جهود،

ع — ولتسهيل عملية ضبط الجهاز ، اذا اردت تصميمه بنفسك ، قد يكون من الافيد ، جعل مقسمات الجهود ، الموجودة به ، قابلة للضبط ، وذلك باستخدام مقاومة متغيرة ، بدلا من احدى المقاومات في كل مقسم ، ومن المهم للغاية ، اختيار نقاط العمل بشكل سليم .

م — اعتقد أن ترانزستوري الدفع والجذب ، في مضخم الاستطاعة النهائي ، يجب أن يحصلا على جهد الانحياز اللازم للعمل ، كمكبر من الصنف B، وذلك للتخفيف من استهلاك البطارية .

ع — طبعا ...! وهل يمكن ، كاختبار لمعلوماتك ، أن أسألك السؤال التالي : ؟

ما هو الدور الذي تلعبه المقاومات R_1 ، R_2 ، R_3 و R_4 هنا ..؟

م — ان المقاومة R_1 ، الذي لايستخدم معها على التوازي أي مكثف ، هي عبارة عن عنصر تغذية خلفية للتيار ، فهي تقلل من تشويه الاشارة ، وترفع مقاومة دخل المرحلة وعدا عن ذلك ، فان تأثيرها ، يضاف الى تأثير المقاومة R_2 ، التي تساعد على تثبيت نقطة عمل الترانزستور ، عند تغيير

درجة الحرارة . أما فيمايتعلق بالمقاومة R_3 ، فانها عبارة عن المقاومة الكلاسيكية ، التي تستخم للربط بين مرحلتي مضخم الترددات المنخفضة ، وأخيرا فان المقاومة R_4 ، مع المكثف المتصل بها ، يستخدمان لفك ارتباط دارة المجمع ، مع المراحل الاخرى ، من أجل تفادي احتمال ظهور تغذية خلفية طفيلية ، عن طريق دارة التغذية العامة .

عمرا طويلا أيها الترانزستور :

ع — برافو ... برافو أيها المبتدىء . انني سعيد جدا لانني لم أضع وقتي هدرا ، عندماشرحت لك عمل الترانزستورات واستخداماتها ، في المضخمات وأجهزة الاستقبال .

م — ولا أظن ، ان هذه هي الاجهزة الوحيدة ، التي يستخدم فيها ذلك الكائن ذي الارجل الثلاث .

ع — يمكنك أن تتصور ياصديقي العزيز ، ذلك الحماس الذي استقبلنا به نحن فينو اللاسلكي ، هذا الثلاثي النصف ناقل ، ذي الخواص الرائعة ، من حيث الحجم والوزن الصغيرين جدا ، والاستهلاك القليل للطاقة (اذا ما قارنته مع الصمام الذي يتطلب تيارا للتسخين) ، بالاضافة الى عمره المديد للغاية . فبعد عشر سنوات من ظهور أول ترانزستور ، ودخوله في العمل ، أكد بعض الاختصاصيين الجديين ، بأن الترانزستور يمكن أن يعمل كأقصى حد مئة الف ساعة . والظريف هنا أن العشر سنوات المذكورة تشمل على سبع وثمانين الفا وستمائة وثمان وأربعين ساعة فقط . وعند حساب هذا العدد ، أخذت بعين الاعتبار السنوات الكبيسة أيضا . وعلى الرغم من ذلك ، تبين أن العمر المقدر للترانزستور ، صحيح الى حد ما وفي الواقع يمكن أن يكون أكثر من ذلك .

م — من المعروف ، ان الالات الحاسبة الالكترونية ، تعتبر أكبر طالب للترانزستورات . حيث يوجد في البعض منها ، حوالي عشرات الالاف من الترانزستورات .

ع ــ هل تعلم ماهي الحسنات الذي يقدمها الترانزستور، في هذه الحالة ، للالات الحاسبة من حيث تخفيض الحجـــم والوزن ، وعدم تسخين الجو المحيط عمليا ...؟

م ــ لقد قرات في احدى المجلات العلمية ، أن صغر حجم الترانزستور ، يسمح بتركيب الاجهزة السمعية ، التي هى عبارة عن مضخمات للصوت صغيرة جدا ، يستعملها ضعاف السمع ، على نهايات النظارات .

ع ــ هذا صحيح ، ويمكنك أن تتصور كيف يقيم علماء الاقمار الصناعية ، المزايا المذكورة للترانزستور ، تقييما عاليا، خاصة وانهم يأخذون بعين الاعتبار ، وبدقة فائقة ، كل غرام من الوزن وكل سنتمتر مكعب من الحجم وكل ميللي واط يستهلك من الطاقة .

م ــ مختصر القول ــ ان الترانزستورات ، تستطيع أن تحل محل الصمامات الالكترونية ، في مختلف المجالات ، وتعطى بنفس الوقت مزايا هامـــة .

ع ــ انك تستعجل كثيرا في استنتاجك هذا ، فحتـــى الان ، لاتزال توجد بعض المجالات ، التي لا يمكن أن يستغنى فيها ، عن الصمامات الالكترونية ، واذكر على سبيل المثال ، اجهزة الارسال الكبيرة الاستطاعة . وبالمقابل ، لقد ظهرت بعض المسائل الفنية ، التي لا يمكن حلها ، الا بواسطـــة الترانزستورات .. الا يبرهن لك هـــذا أن الصمامـــات والترانزستورات ، يمكن أن تتعايش سلميا فيمابينها ، وتتواجد معا في جهاز واحد ، حيث توكل لكل منها ، المهمة التي تتناسب مع امكانياته وخصائصه ...

وبدون شك ، ستتاح لنا الفرصة فيمابعد ، للتحدث عن استخدام الترانزستورات ، كوسائل وصل وفصل ، (أو كمفاتيح الكترونية) ، وكمذبذبات متعددة الاوضاع ، عديمة الاستقرار ، أو أحادية أو ثنائية الاستقرار ، وهناك أيضا، أنواع أخرى للعربات التي لم تسمع بها بعد . ولكنها تستخدم، في تركيب مختلف أنواع القطارات الالكترونية ، التي تختلف

وظيفتها ، عن وظيفة استقبال محطـــات الاذاعـــة والان ، سنستعرض معك ، مثالا صغيرا على ذلك ، وهو مبدل التيار المستمر ، الذي يمكن تصميمه ، بواسطة الترانزستورات ، بصورة أبسط بكثير من مثيله الصمامي .

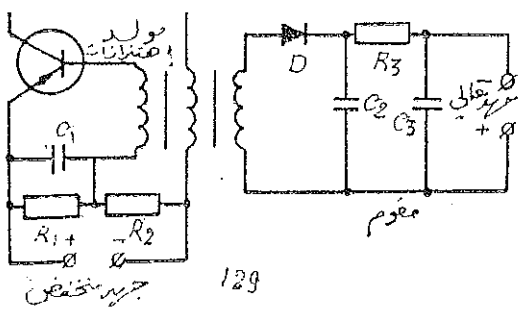
مبدل التيار العديم الضجيج :

م ـــ ما هذا الذي تسميه انت ، بمبدل التيار المستمر . . . ؟

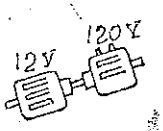
ع ـــ هوالوسيلة التي تسمح ، برفع جهد منبع التيار المستمر . وكان هذا يتم سابقا ، بواسطة محرك يعمل مثلا ، على بطارية جهدها اثني عشر فولط ، ويقوم بتحريك مولد للتيار المستمر ، يعطي جهدا قدره مئة وعشرون فولطا على سبيل المثـــال . . . !

م ـــ يالها من صعوبة وتعقيد ، ويا له من مردود منخفض طبعـــا . . . !

ع ـــ وبواسطة الترانزستور (الشكل رقم 129)،



الشكل رقم 129 مبدل يسمح برفع جهد منبـــع التيار المستمر ، ويستخدم مقسم الجهد R_1 ، R_2 من هذه الدارة لاعطاء جهد الانحياز ، الى قاعدة الترانزستور .



يمكن تحقيق نفس العملية ، بدون ضجيج ، وبدون حركـــة وبفعالية أفضل . ولذلك يحول تيار منبع الجهد ، الى تيـــار متناوب ، وهذا يتم بواسطة الترانزستور ، الذي يعمل بصفة مذبذب مانع ذي تردد منخفض . وأود ان اذكرك هنا ، أن هذا

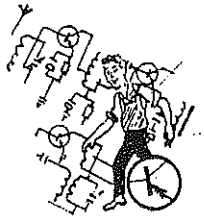
المذبذب ، هو عبارة عن مذبذب ذي حلقتين مرتبطتين .تحريضا بقوة . وهو يعطي ذبذبات ، يختلف شكلها ، اختلافا كبيرا ، عن الموجات الجيبية ، ولكنه يساعد على الحصول على مردود مرتفـــع .

م ـــ اما بقية الدارة ، فاظن انها تعمل على النحو التالي:

يلف الملف الثالث على نفس القلب ولكنه يحتوي عدد من اللفات أكبر بكثير من عدد لفات الملفين الاول والثاني . وبذلك يقوم برفع جهد التيار المتناوب حسب تناسب عدد اللفات ، ثم يقوم هذا التيار بواسطة ديود ، ويتم تنعيمه بواسطة الدارة المكونة من المقاومة R_3 والمكثفين C_2 و C_3 ايضا

ع ـــ انك تبرهن مرة اخرى ياصديقي ، عن تفكيرك الرائع الصفاء والوضوح مما يحدو بي ان اعبر لك عن تقديري .

واعتقد انك استوعبت دروسي ، بشكل جيد ، ولن تواجه في رحلتك المزمعة في الاختبار التجريبي للدارات الترانزستورية. اية صعوبات وبنفس الوقت لابد من القول أن تكنولوجيا انصاف النواقل تتطور باستمرار ،وسوف تحتل مجالات جديدة في المستقبل القريب ، (بما في ذلك مجال صناعة التلفزيون) ، وأن تقدم وتطور التكنولوجيا بدون شك ، سوف يحمل لنا مفاجآت كبيرة ولذلك ارى ، انه من الواجب علي ، أن اقدم لك نصيحة قيمة ، وهي الاتسمح لنفسك ان تتخلف عن هذا التطور بل يجب ان تستمر بمراقبة هذا التطور ومواكبته ، فاقرا الكثير من الكتب ، والمقالات ، العلمية التي تظهر دوريا في المجلات الفنية والعلمية، وتذكر دائما كلمة فرنسيس بيكون الذي قال :



من لا يتجدد سيندمر ، لان عجلة الزمن تدور بلا رحمة، وكل شيء يتغير مع الزمـن .

واخيرا ... آمل ان تستخدم معلوماتك في المجال العملي بدون أي تردد،وجرب شخصيا،عمل الدارات الترانزستورية، وعندها سوف تتعمق في معرفة دقائق الحوادث ، والظواهـــر ومن ثم سوف تدرك جيدا أن .

م ـــ الترانزستور بسيط للغاية اليس كذلك ..؟

ولكن انني ارغب يا صديقي ، لو اننا قمنا بحساب مرحلة من مراحل جهاز الاستقبال الترانزستوري وحبذا لو كانت هذه المرحلة — هي مرحلة التضخيم النهائية.

ع — انك تعني مضخم الاستطاعة — الذي قد يكون ، احادي الشوط او ثنائي الاشواط Posh - Pull دفع وجذب .

م — نعم هذا ما اقصده بالضبط —

ع — حسنا يا صديقي الا ان هذه العملية ، تتطلب وقتا كبيرا ، سيما اذا كانت جعبتك مليئة بالاسئلة والاستفسارات المتلاحقة .

م — كلا لا تخف — بل كن مطمئنا يا عزيزي انني سأقف صامتا .

ع — كلا يا عزيزي اني لا ارغب بحجز حريتك عن الكلام ولكن لا اعدم الوسيلة في تلبية طلبك — توجد لدي مسألة عملية محلولة لحساب المضخم النهائي (مضخم الاستطاعة) احادي الشوط الذي ترغب بحسابها عمليا ، كنت قد شرحتها وحللتها لطلابي في معهد الهندسة الالكترونية مع مقدمة جيدة من الشرح والتوضيح ارجو أن ترضي ذوقك السليم — واذا ظهرت لك بعض الصعوبات في فهمها، فانني انتظر اسألتك، في اللقاء القادم والاخير

م — اشكرك جدا على هذه الهدية ...
والى اللقاء الاخر وليس الاخير ...

الحساب العملي لمضخم الاستطاعة ، أحادي الشوط :

ان حساب مضخم الاستطاعة (النهائي) في المستقبل يعتمد بصورة أساسية على المتطلبات المطلوبة من المضخم نفسه ، المعطيات المقدمة له ، شروط عمله الظروف الجوية ، المخطط المرغوب بتنفيذه ، الترانزستور المستعمل ونظام العمل .

نأخذ هنا بعين الاعتبار ، الفقرات الاكثر اهمية ، من الاسس المبينة اعلاه :

آ ــ انتقاء مخطط مضخم الاستطاعة (النهائي) الترانزستوري ، انتقاء الترانزستور المناسب ، نظام عمله وطريقة وصله .

ــ تعتبر المرحلة النهائية،في المضخمات الصوتية ، الترانزستورية ، عادة مضخم استطاعة ، محمل بمحول . يجب ان يعطي هذا المضخم ، على حمله ، الاستطاعة المطلوبة للاشارة بأقل ما يمكن من استطاعة الاستهلاك المطلوبة من منبع التغذية واقل مستوى من التشويه اللاخطي والترددي . عند تصميم المرحلة النهائية للتضخيم يجب قبل كل شيء حل المواضيع التالية :

ــ هل ستكون هذه المرحلة احادية الشوط أو ثنائيته (دفع وجذب) . . ؟،

يجب الاخذ بعين الاعتبار ، ان المضخم ثنائي الشوط،يعطي على مخرجه استطاعة اكبر بمرتين من تلك التي يعطيها المضخم احادي الشوط ، عامل الهرمونات فيه صغير ، محول الخرج يعمل بدون مغنطة ثابتة ، يقبل بتموجات جهد منبع التغذية ، أكبر بثلاث ــ خمس مرات مما يقبله المحول ذي المغنطة الثابتة . لكنه يتطلب وجود ترانزستورين ومحول خرج ، عدد لفات ملفه البدائي ، ضعف العدد المطلوب في محول خرج المضخم احادي الشوط ، مع وجود نقطة متوسطة به . وكذلك يحتاج الى دارة قالب صفحة في المرحلة السابقة .

ــ وعدا عن ذلك يستخدم في المضخم ثنائي الاشواط ــ دفع وجذب Push - Pull نظام العمل B المعروف باقتصاديته ، حيث تنخفض الاستطاعة المطلوبة من منبع التغذية لدرجة ملموسة .

ــ عند وصل الترانزستورات ، في ذراعي المضخم النهائي ، ثنائي الاشواط بطريقة الباعث المشترك والمجمع المشترك ، يجب انتقاء عاملي التضخيم β في كل من الترانزستورين ، متساويين أو تقريبا متساويين ، بحيث أن لا يتجاوز الفرق بينهما 20% وكذلك يجب أن تكون حدود التردد متساوية بقدر الامكان.

ــ يحوي المضخم احادي الشوط ، على ترانزستور واحد فقط ويستخدم ، فقط في نظام العمل A ، مما يزيد من الاستطاعة المطلوبة من منبع التغذية . لا يتطلب وجود دارة عاكس الصفحة في المرحلة السابقة ، يسمح بتمرير تموجات أقل في جهد

منبع التغذية ، ويملك عامل هرمونات أكبر من سابقة . وحجم محول الخرج يكون اكبر بسبب وجود مغنطة دائمة .

ـــ بعد انتقاء مخطط المرحلة النهائية للتضخيم (مضخم الاستطاعة) ونظـــام عمله ، استنادا للمعلومات المبينة أعلاه ، يجب تحديد قيمة استطاعة الاثـارة التي يجب أن يعطيها المضخم على خرج المرحلة .

فاذا كانت هذه المرحلة احادية الشوط تكون الاستطاعة على خرج الترانزستور

$$P_S = \frac{P_{out}}{\eta_T}$$

أما اذا كانت ثنائية الشوط ، فتكون الاستطاعة على خرج المضخم هي :

$$P_S = \frac{P_{out}}{2\eta_T}$$

حيث هنا η_T ـــ عامل مردود محول الخرج والذي تؤخذ قيمته من جدول كتالوج المحولات ، وتكون عادة :

قيمة η_T = 0,7 ÷ 0,8 عندما تكون الاستطاعة المطلوبة من واط فما دون

= 0,75 ÷ 0,85 = = = = 1 ÷ 10 واط

= 0,93 ÷ 0,84 = = = = 10 ÷ 100 واط

بناء على القيمة المستنتجة للاستطاعة،ينتقى الترانزستور المناسب بواسطـــة الدليل او الكتالوج.أما طريقة وصلهفتختارانطلاقا من الاعتبارات التالية :

1 ـــ عند الوصل بطريقة القاعدة المشتركة ، نحصل على تشويهات لاخطية ، ليس بكبيرة وتغيرات في خواص المرحلة ، عند حدوث تغـــير في درجات الحرارة ، او استبدال الترانزستور . لذلك يكون انتقاء الترانزستورات ، في المضخم ثنائي الاشواط بدلالة عامل التضخيم β ، ليس بالشرط اللازم .

2 ـــ عند الوصل بطريقة الباعث المشترك ، تنخفض القيمة المطلوبـــة لاشارة الدخل ، بمقدار β مرة . بالمقارنة مع الوصل بطريقة القاعدة المشتركة ، ولكـــن يرتفع عامل الهرمونات بتبديل الترانزستور ، بطريقة الوصل هذه ويؤدي الى تغيير قيمة عامل التضخيم وخواص المرحلة ، أكثـــر بكثير ما يحدثه تبديل الترانزستور عند الوصل بطريقة القاعدة المشتركة .

3 ـــ عند الوصل بطريقة المجمع المشترك تتولد نفس المصاعب الموجودة فـــي الفقرة 2 عند استبدال الترانزستورات وتطلب نفس الاستطاعة لاشارة الدخل تقريبا

4 ــ الوصل بطريقة المجمع المشترك ، يعطي عامل هرمونات صغير ، عندما تكون تكون المقاومة الداخلية لمنبع الاشارة صغيرة .

ــ بعد انتقاء طريقة الوصل المناسبة ، يجب تحديد قيمة الجهد المطلوب من منبع التغذية،يجب انينتقي جهد تغذية المرحلة النهائية لمضخم الاستطاعة،كبيرا بقدر الامكان عند ذلك : يسهل صنع المقوم ، يرتفع عامل مردوده ، تنخفض الاستطاعة المطلوبة لاشارة الدخل ، وينخفض عامل مدروجات المرحلة . عند الانتقاء السليم لجهد التغذية اللازم للمرحلة النهائية من مضخم الاستطاعة الترانزستوري المحمل بمحولخرج يجب أن تكون قيمة هذا الجهد ، على مربطي الخرج U_0

$$U_0 = U_{let} (0,3 \div 0,4)$$

حيث هنا U_{let} ــ القيمة اللحظية العظمى للجهد المسموح بتواجده على قطبي خرج الترانزستور .

يشار الى القيمة الاعظمية U_{let} هذه في كتالوجات الترانزستورات ولمختلف طــرق الوصل .

مثال : نحدد قيمة جهد التغذية ، الواجب ايصاله الى مربطي الخرج ، في مرحلة تضخيم نهائية احادية لاشوط ، محملة بمحول ، تعمل على ترانزستور نموذج AC-128 من صنع مصانع فيلبس ، من النوع، P-n-P يملك الثوابت التالية :

$V_{cbo\ max}$		32 v	جهد المجمع القاعدة الاعظمي ــ فولط
V_{ceo}	=	16 v	جهد المجمع الباعث الاعظمي ــ فولط
I_c	=	2 a	التيار المجمع الاعظمي ــ أمبير
T_j	=	90°c	درجة الحرارة القصوى اثناء العمل ــ درجة
h_{fe}	=	55 ÷ 175	عامل التضخيم بالتيار ــ مرة
f_T	=	1,5 M hz	التردد العملي الاعظمي ميغا هرتز
P_{tot}	=	1 v	الاستطاعة العظمى ــ فولط

حسب كتالوج الترانزستورات والديودات العامالصادر عــام 1975 عن دار Mullard : Mullard House Torrington Place, London WC 1 E 7 HO

من جهد المجمع ــ المشع المبين أعلاه يمكن أن نبرهن قيمة جهد التغذية اللازمةوهي:

$$U_{c-b} = 32 \times (0,3 \div 0,4) = 9,6 \div 12,8 \text{ v} ;$$

$$U_{c-e} = 16 \times (0,3 \div 0,4) = 4,8 \div 6,4 \text{ v} ;$$

ـ يجب أن لا يعطي جهد تغذية ، أكثر من تلك النسبة ، لان الزيادة يمكن أوتؤدي الى عطب الترانزستور . يغذي مضخم الاستطاعة أحيانا ، من منبع الجهد العام ، الذي يملك قيمة جهد معينة ، تزيد عن قيمة U_0 المحسوبة أعلاه ، فان كانت هـذه الزيادة ملموسة ، فعندها يجب أن يستبدل الترانزستور ، بترانزستور آخر ، تكـون قيمة الجهد المسموح تطبيقه على مخرجه U_{let} أكبر .

بما أنه في المراحل الاخيرة من التضخيم ، لا بد من استخدام أكبر قسم من الخواص الديناميكية للترانزستور ، فيكون من المهم جدا ، تحقيق ثبات نظام عمل المرحلة . تنتقى دارة ثبات نظام العمل ، استنادا لمجال الحرارة ، الذي سوف تعمل المرحلة ضمنه ، ولنوع الترانزستور وحسب الكتالوج .

ـ بعد انتقاء مخطط المرحلة النهائية ، وطريقة وصل الترانزستور وحساب قيمة الجهد المطبق على مربطي الخرج U_0 ، يجب ايجاد القيمة العظمى لتيـار الخرج $I_{out\ m}$ وذلك بطريقة يشار اليهـا فيما بعد ، طريقة منحنيات خواص الترانزستور:

عند حساب مرحلة المضخم الترانزستوري ، تحسب عادة ، القيمة اللازمة ، لجهد واشارة الدخل .

ـ ننتقل لان الى صلب الموضوع : اجراء الحسابات ، حسب الترتيب النظامي للعمل .

حساب مرحلة مضخم الاستطاعة الترانزستوري،أحادي الشوط العامل بنظام A

ـ يبدأ حساب مرحلة مضخم الاستطاعة الترانزستوري ، أحادي الشوط،العامل في النظام A بتحديد استطاعة الاشارة التي يجب أن يعطيها الترانزستور على مخرجه ، P_s يجب أن تكون هذه الاستطاعة ، أكبر من الاستطاعـة الموجـودة على مخرج محول الحمل ، وذلك بسبب الضياع في هذا المحول ، اي أن عامل مردود محول الحمل η_T أقل من الواحد .

$$\eta_T = \frac{P_{out}}{P_s} \quad \text{اقل من واحد}$$

ـ بعد ذلك تحدد القيمة التقديرية للاستطاعة العظمى P_0 التي تكمن في الترانزستور في حال عدم وجود اشارة .

$$P_0 = \frac{P_s}{0,45}$$

واستنادا الى قيمة استطاعة السكون P_0 ، ينتقي الترانزستور ، الـذي يستطيع تحمل الاستطاعة ، حسب مواصفاته الموجودة في هويته الشخصية . واستنادا

الى المعلومات الواردة سابقا بهذا الموضوع تختار طريقة وصل الترانزستور ، قيمة جهد التغذية اللازمة U_0 ، مخطط وصل جهد الاستقطاب ، مخطط تنظيم الجهد ثم يوضع المخطط التفصيلي للمرحلة المراد حسابها ، وبعد ذلك تجري الحسابات بواسطة المنحنيات البيانية ، الامر الذي تستخدم من أجله ، أسرة منحنيات الخواص الستاتيكية (الاحصائية) للترانزستور ، الخاصة بطريقة الوصل المستخدمة .

ـ لايجاد مكان نقطة السكون ، على خط الحمل ، نحسب قيمة تيار السكون المسموح بها في دارة الخرج حسب المعادلة

$$I_0 = \frac{P_s}{\eta_A U_0}$$

حيث هنا η_A ـ عامل مردود المرحلة في نظام A ويتبع لنوع الترانزستور ، طريقة وصله وجهد التغذية ويساوي عادة (0,485 ÷ 0,495)
عند الوصل بطريقة القاعدة المشتركة و (0,45 ÷ 0,470) عند الوصل بطريقة الباعث المشترك وذلك عندما يكون جهد التغذية بين 5 ÷ 10 فولط.

ـ تحدد نقطة السكون على منحنيات خواص الخرج الستاتيكية وتحدد القيمة العظمى لتيار الاستقطاب في دارة المدخل . حسب الشروط التالية :

باعث مشترك	$I_{in.o} = I_{b.o}$
قاعدة مشتركة	$I_{in.o} = I_{e.o}$
مجمع مشترك	$I_{in.o} = I_{b.o}$

$$I_{in.m} = (0,96 \div 0,98)\, I_{in.o}$$

ـ هذه لشروط تعطي ملاءمة جيدة للعمل

ـ تحسب مقاومة الحمل للتيار المتناوب R_s بالعلامة :

$$R_s = \frac{U_0}{2P_s}$$

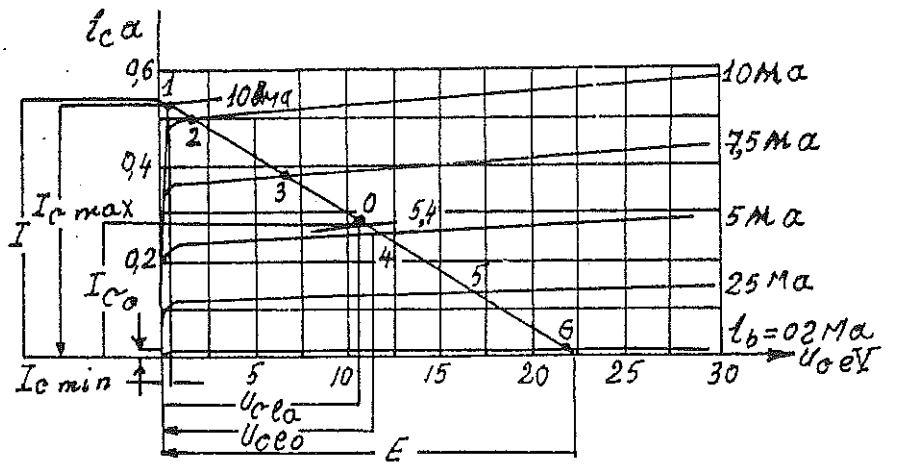
ثم ينشأ خط الحمل ، بالنسبة لقيمة مقاومة الحمل R_s ، التي تم الحصول عليها ، حسب العلاقة أعلاه ، وذلك على كافة منحنيات الخواص الستاتيكية للترانزستور . في هذه الحالة ، تحدد مقاومة الحمل للتيار لمتناوب . بأخذ قطعة من مستقيم الحمل ، بين النقطتين 2 , 6 (لشكل رقم 1 من الملحق) واسقاط هذه النقطة ، على محور الجهد ، وتحديد القيمة التي تشغلها مـى الجهد، ثم اسقاطها على محور التيار، وتحدد القيمة التي تشغلها وبعد ذلك حساب المقاومة حسب العلاقة

$$R_s = \frac{\Delta U_C}{\Delta I_C}$$

ويجب أن تتطابق النتيجة مع العلاقة $R_s = \frac{E}{I}$ تقريبـــا .

تسجل أعلى وضعية وأدنى وضعية لنقطة العمل حيث

$$i_{min} = I_{ino} - I_{in\ max} \quad , \quad i_{max} = I_{ino} + I_{in\ max}$$



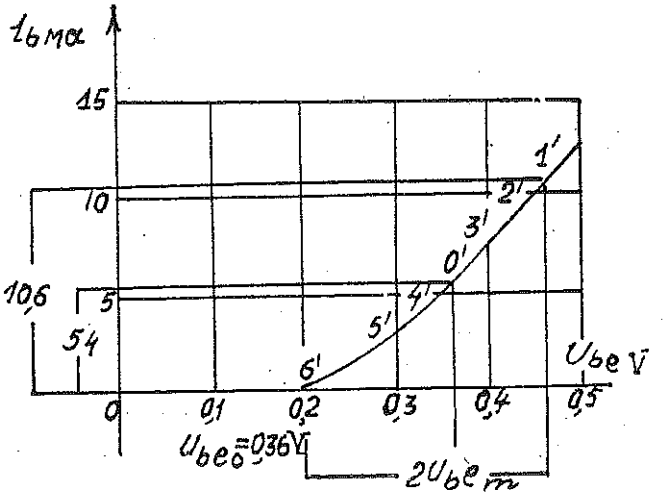
الشكل رقم 1 بين طريقة استخراج مقاومة دخل الترانزستور

تحسب استطاعة الاشارة بالعلاقة :

$$P_s = 0{,}125\ (I_{out\ max} - I_{out\ min})^2\ R_s = \frac{2\,U_{out\ max} - 2\,U_{out\ min}}{8}$$

اذا كانت الاستطاعة قليلة ، يعمد الى تخفيض عامل العمل المفيد η_A وفي حال وجود فائض في الاستطاعة ، ترفع قيمة عامل العمل المفيد .

بعد ذلك تنقل النقاط النهائية لخط الحمل 1 , 6 الى الخط البياني (منحنيات) لخواص دخل الترانزستور بالنسبة لطريقة الوصل المستعملة وتبين المركبة المتناوبة لتيار وجهد اشارة الدخل (الشكل رقم 2) واذا كان ضروريا يمكن ايجاد استطاعة



الشكل رقم 2 بين طريقة استخراج مقاومة دخل الترانزستور .

الدخل حسب العلاقة التاليـــة : $$P_{in} = \frac{2\,I_{in\,m} \times 2\,U_{in\,m}}{8}$$

حيث هنا : $$2\,i_{in\,.\,m} = i_{in\,.\,max} - i_{in\,.\,min}$$
$$2\,U_{in\,.\,m} = U_{in\,.\,max} - U_{in\,.\,min}$$

ومقاومة دخل الترانزستور للتيار المتناوب خلال دور الاشارة . حسب القانون التالي :

$$R_{in} = \frac{2\,U_{in.m}}{2\,I_{in.m}}$$

وعامل تضخيم الاستطاعة الذي يساوي: $$K_p = \frac{P_{out}}{P_{in.s}}$$

بعد ذلك تحسب الاستطاعة العامة التي يجب أن يقدمها الترانزستور في نظام السكون . وهي .

$$P = P_C + P_e = I_{o\,max}\,U_o + I_{in.o}\,U_{in.o}$$

وعندها يحسب أيضا السطح اللازم للتبريد .

بمان مضخم الاستطاعة يحمل عادة بمحول يربط مع الملف البدائي للمجهار أو المكروفون عند ذلك يجب أن يحسب كمحول مع حمل ايجابي ويحسب عامل تحويله بالمعادلة :

$$n = \sqrt{\frac{R_2}{2\pi R}} = \sqrt{\frac{R_2+2}{R_5-2}}$$

ننتقل الان الى مثال عددي لمضخم الاستطاعة :

1 — مضخم استطاعة (نهائي) أحادي لشوط يعمل بنظام A ضمن مجال التردد من 60 Hz ÷ 10000 يملك عامل تشويه بالتردد Mh أقل من 1,5 ديسيبل

2 — يطلب منه أن يعطي في الحمل استطاعة قدرها 0,325 w مـــع عامـــل مدروجات Kh أقل من 6%

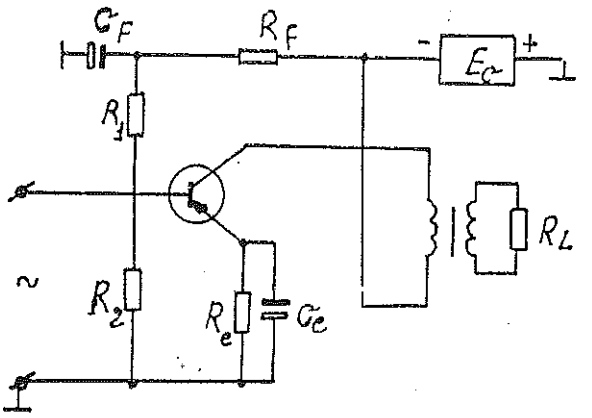
3 — المضخم محمل بحمل تبلغ مقاومته 25 om عبر محول خرج .

4 — المضخم معد للعمل داخل الاماكن السكنية بدرجة حرارة (10°c ÷ 30°c

5 — منبع جهد التغذية المتوفر مدخرات بجهد قدره 5,5 v .

الاجراءات لعملية :

بما أن عامل المدروجسات المسموح بـــه كبير نسبيـــا :
نستعمل طريقة الوصل الباعث المشترك بما أن عامل المدروجات ، المسموح به ، كبير نسبيا وبما أن المرحلة ذات محول خرج ، فان المخطط ذو الباعث المشترك يعمل على تثبيت نقطة السكون ، ولزيادة صقل التموجات المتسربة الى منبع التغذية ، (عمليـــة تصفية جهد التغذية) يدخل في الدارة مرشح اضافي يتكون من C_f R_f المبين على المخطط (شكل رقم 3) .



الشكل رقم 3 مخطط تفصيلي لمضخم استطاعةترانزستوري أحادي الشوط

1 تحدد الاستطاعة التي يجب أن يعطيها الترانزستور مع اعتبار أن عامل مردود محول الخرج يساوي 0,75 وفقا للمعلومات المبنية سابقا . عندها نجد أن

$$P_S = \frac{P_{out}}{\eta_T} = \frac{0,325}{0,75} = 0.433 \text{ w}$$

عندما يكون عامل مردود المرحلة ، العاملة في نظام A ، مساويا 0,45 تقريبا ، فان الاستطاعة المنتقلة الى المحول تساوي 0,45 من الاستطاعة التي ينتهجها الترانزستور

$$P_S = 0,45 \quad P_0 = 0,433 \text{ w}$$

$$P_0 = \frac{0,433}{0,45} = 0,932$$

2 ــ نفترض ان الجهد الضائع في المقاومة الاومية، للملف الاولى من المحول R1 هو:

$$0,1 \quad E_C = 0,1 \times 5,5 = 0,55 \text{ v}$$

وكذلك الجهد الضائع في مقاومة دارة الباعث Re هـــو

$$0,09 \quad E_C = 0,09 \times 5,5 = 0,495 \text{ v}$$

عندها يكون الجهد الاعظمي الذي سيطبق على الترانزستور أو الذي يجب أن يتحمله الترانزستور ، بين القاعدة والمجمع هو :

$$U_{ceo} = 5{,}5 - (0{,}55 + 0{,}495) = 5{,}5 - 1{,}045 = 4{,}455$$

— اقصى جهد يجب أن يتحمله الترانزستور ، بين الباعث والمجمع هو :

$$U_{Ce\ max} = \frac{U_{Ceo}}{0{,}4} = \frac{4{,}455}{0{,}4} = 11{,}14$$

من المعطيات المبينة أعلاه ، والمستنتجة بنتيجة حساب القدرة والجهد ، نجد أن الترانزستور المناسب لتنفيذ عملية التضخيم المطلوبة ، بأنسب الشروط العملية والاقتصادية ، هو ترانزستور الجرمانيوم رقم A C – 128 نموذج P-n-P الذي يملك الخواص والوابت التالية :

$P_{max} = 1$ w — الاستطاعة الاعظمية المنتشرة في الترانزستور

$V_{Ce} = 16$ u — الجهد الاعظمي الممكن تطبيقه بين المجمع والباعث

$\beta_{min} = 50$ — أصغر قيمة لعامل التضخيم

$I_C = 0{,}3$ m A — القيمة الاعظمية للتيار العكسي عندما يكون جهد القاعدة الباعث $V_{be} = 10$ v ودرجة حرارة الوسط المحيط 90°c درجة .

$f_{min} = 200$ Hz — الحد الادنى للتردد هو :

من الضروري أولا معرفة تيار السكون في دارة المجمع الذي يقابل :

$$I_{co} = \frac{P_s}{\eta_A U_{Ceo}} = \frac{0{,}433}{0{,}40 \times 4{,}455} = 0{,}243 \text{ a}$$

نضع الان نقطة السكون O على أسرة منحنيات خواص خرج الترانزستور حسب لاحداثيات ، $U_{eeo} = 4$ v وتيار المجمع في حالة السكون $I_{co} = 0{,}233$ — وبالنسبة لمقاومة دارة الحمل ، للتيار المتناوب التي تساوي

تقريبا : $$R_{cs} = \frac{U_0^2}{2 P_s} = \frac{(4{,}455)^2}{2 \times 0{,}435} = \frac{19{,}8}{0{,}833} = 24 \text{ om}$$

ونمرر مقاومة الحمل هذه عبر النقاط 0,233 من التيار والنقطة R_{CS} التي تساوي

تقريبا : $$R_{CS} = \frac{E}{I} = \frac{9}{0{,}45} = 24 \text{ om}$$

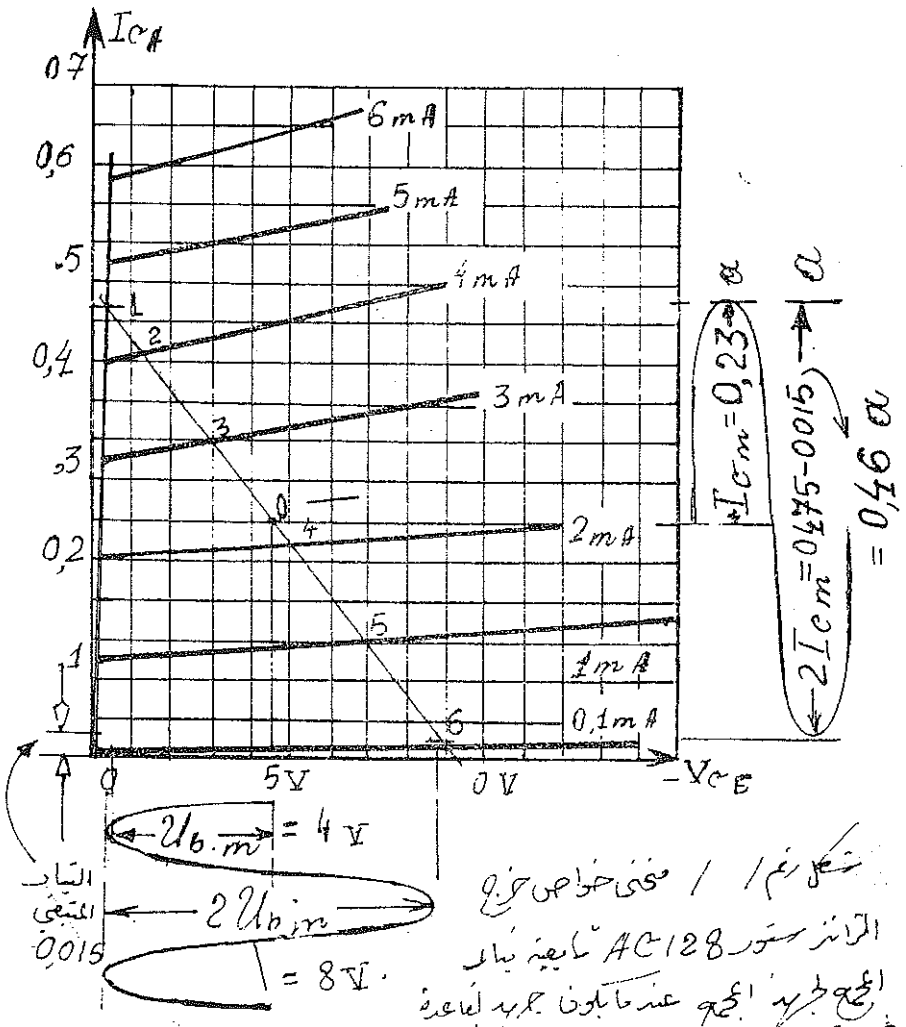
واذا فرضنا أن أصغر جهد مستمر يبقى على المجمع مرور الاشارة هو 0,4 v وأن التيار

المتبقي هو 0,01 نثبت هذه النقاط على منحى الخواص ونمررمستقيم الحمل خلالها . وبعدها تتعين لدينا لنقطة 1 والنقطة 5 على مستقيم الحمل وعندها تحدد استطاعة الاشارة التي يعطيها الترانزستور بالعلاقة

$$Ps = 0{,}125 \left(I_{c\,max} - I_{c\,min} \right)^2 R =$$

$$0{,}326 \left(0{,}45 - 0{,}01 \right)^2 \quad 20 = 0{,}1936 \times 20 = 0{,}39 \text{ w}$$

ان قيمة الاستطاعة هذ مكافية حيث نحن بحاجة الى 0,325 تيار الاستقطاب على القاعدة الذي يطابق نقطة السكون المحسوبة أعلاه بالنسبة لاسوء حالة في التضخيم



الشكل رقم 4 بين استخراج مقاومة الحمل في المضخم موضوع البحث

اي ادنى قيمة لعامل التضخيم الذي يملكه الترانزستور A C 128 والذي يساوي B = 50 عندها يكون تيار الاستقطاب هـو :

$$I_{bo} = \frac{I_{co}}{B_{min}} = \frac{0,233}{50} = 2,6 \text{ me}$$

ان تيار انحياز القاعدة ، الموافق لنقطة العمل ، التي تم الحصول عليها ، في تيار المجمع ، بالنسبة للترانزستور A C - 128 ، الذي يملك عامل تضخيم من 50 ÷ 175 مرة ، (ـــ القيمة الوسطى لعامل التضخيم هذا 100 مرة تقريبا) ، يساو :

$$I_{bo} = \frac{0,243}{100} = 2,43 \text{ ma}$$

ان مطالي المركبة المتناوبة لتيار القاعدة (تيار الدخل) الذي يجب أن تعطيـــه المرحلة السابقة للمرحة موضوع البحث بين النهاية العظمى والنهاية الصغرى يساويان:

$$2\ I_{bm} = I_{b\,max} - I_{h\,min} = 4,6 \text{ ma}$$

ان هاتان النتيجتان، مطابتان تماما، للقيم التي يمكن الحصول عليها بواسطة المنحنيات البيانية ، لخواص دخل الترانزستور A C 128 وذلك بانشاء مستقيم ، يوازي محور تيار القاعدة ، من النقطة 0,216 m a (على محور تيار المجمع) حتى يتقاطع مـــع منحني تيار القاعدة . ثم نسقط عامود من نقطة تقاطع المستقيم السابق مع منحنـــى تيار القاعدة ، على محور تيار القاعدة فنراه يتاطع معه في النطـــة 2,43 ميللي أمبير (تيار السكون للقاعدة) .

ـــ نكرر العملية نفسها بالنسبة للنقطة 0,473 أمبير (القيمة العظيمة لتيـــار المجمع) فنحصل على قيمة 4,736 ميللي أمبير (القيمة العظمى لتيار القاعدة

ـــ نكرر العملية ثانية بالنسبة للنقطة 0,013 أمبير (القيمة الدنيا لتيار المجمع) فنحصل على قيمة قدرها 0,165 من تيار القاعدة ومنه

$$I_{b\,max} = 4,730 \text{ ma}$$

$$I_{b\,min} = 0,130 \text{ ma}$$

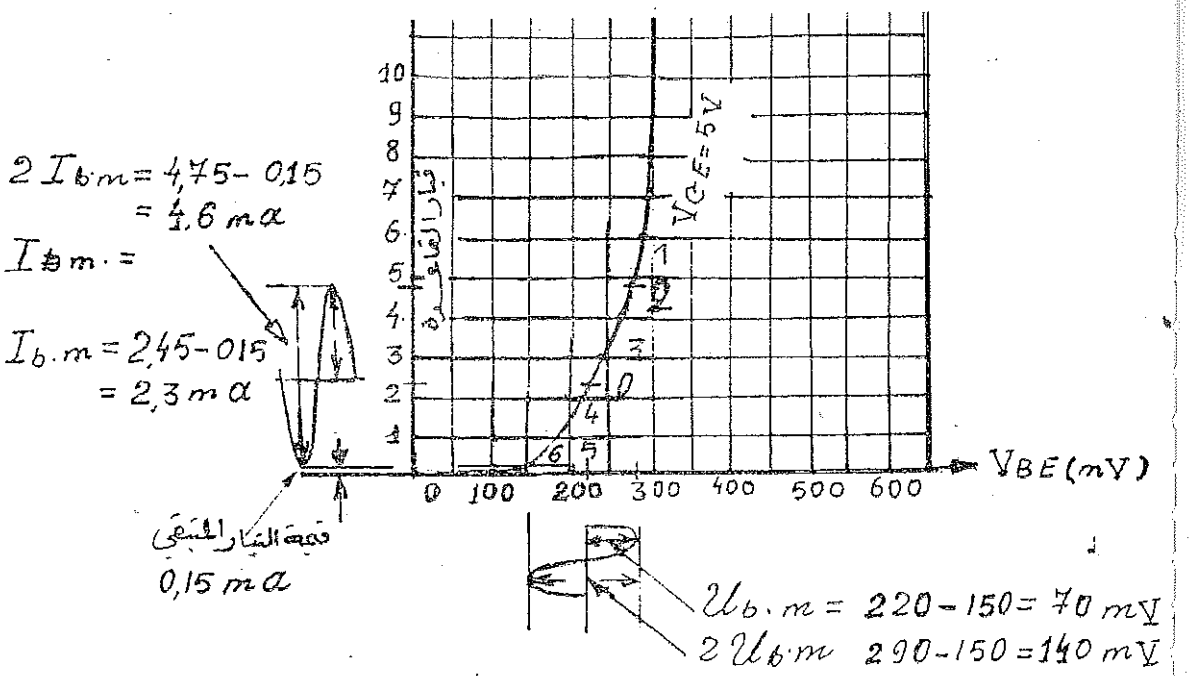
نفس النتائج التي تم الحصول عليها بالطريقة الحسابية .

$$2\ I_{bm} = I_{b\,max} - I_{h\,min} = 4,6 \text{ ma}$$

الان ، باستخدام المنحنيات وبالطريقة السابقة نجد القيمة العظمى لجهد القاعدة

$$U_{be\ max} = 290 \text{ m v}$$

$U_{be\ min}$= 150 m v أما القيمة الدنيا لجهد القاعدة ، فلا تنخفض عن 150 m v والسبب بذلك يعود الى ازدياد قيمة مقاومة القاعدة للتيار الصغير . ونقصانها عند ازدياد التيار ، حيث ان قيمة جهد القاعدة لاتتعدى الـــ 400 m v ميللي فولط ، حتى عندما يزداد تيارها عن العشرة ميللي امبـــير



الشكل رقم 5 بين طريقة استخراج جهد واستطاعة وتيار دخل المضخم ومقاومة دخله ايضا .

التي سبق ووجدناها 30 om أوم ، الا انه من الواضح ، أن مقاومة دخل الترانزستور هذه تبدو كبيرة لذايجب أن تنخفض قيمة المقاومة R s ايضا وتؤخذ ما يزيد عن ضعف مقاومة دخل الترانزستور ، ومنه $R_s = 30 \times 2 = 60$ ونأخذ أية مقاومة ستنذر ، قريبة من هذه القيمة ، وهي 66 om أما المقاومة R_l فتحسب بقانون ، قد يكون من الصعب فهمه هنا ، الا انه يؤدي الى النتيجة التالية :

$$R_l = 330 \text{ om} = R_l = 5 R_s$$

بقصد الزيادة في الايضاح . نبين قيم التيارات والجهود والموافقة لنقاط تقاطع المنحنيات مع خط الحمل (خواص خرج الترانزستور) النقاط 1 , 2 , 3 , 4 , 5 , 6 والنقـــاط 1/ - 2/ , 3/ , 4/ , 5/ , 6/

هناك عنصر قيم وهام ، لعمل الترانزستور ، وهو المبرد ، الذي يجب ان يبرد الحرارة المنتشرة في الترانزستور ، بسبب مرور التيار من خلاله ، ووجود المقاومة بين وصلاته ، الا ان عملية حساب عنصر التبريد هذا ، تؤول الى ، معرفة ناقليته للحرارة ، كمية الحرارة المنتشرة على الترانزستور ، وحساب السطح اللازم من المعدن المناسب لامتصاص هذه الحرارة ونشرها وتبديدها في الوسط المحيط . تصنع المساحة المحسوبة على شكل غطاء معدني أو فراش مروحي تحيط بالترانزستور أوصفيحةمعدنيةتصنع على شكل ماسك تثبت الترانزستور في وضعية مناسبة . ويعود انتقاء الشكل الى راي

ومن هنا نرى أن مطالي المركبة المتناوبة لجهد القاعدة :

$$2\ U_{in} = 2\ U_{be\ m} = U_{be\ max} - U_{be\ win} = 290 - 150 = 140\ m\ v$$

ومطالي المركبة المتباون للتيار $Ubom = 70\ m\ v$

$$2\ I_{in} = 2\ I_{be\ m} = I_{be\ max} - I_{be\ min} = 4{,}75 - 0{,}15 = 4{,}6\ m\ a$$

ـــ من جهد وتيار دخل الترانزستور نبرهن مقاومة دخله للتيار المتناوب والتي تساوي

$$R_{in.ce} = \frac{2U_{in}}{2I_{in}} = \frac{2U_{be\ m}}{2I_{be\ m}} = \frac{140}{4{,}6} = 30\ om$$

أما استطاعة دخل الترانزستور فهي :

$$P_{in} = \frac{2\ U_{be\ m}\ 2\ I_{be\ m}}{8} = \frac{0{,}140 \div 0{,}0046}{8} = 0{,}08\ m\ w$$

أما عامل التضخيم بالاستطاعة فيمكن تحديده كنسبة استطاعة الخرج الـــى استطاعة الدخل

$$K_p = \frac{P_s}{P_{ins}} = \frac{485}{0{,}08} = 6000$$

ومتوسط عامل التضخيم بالجهد

$$K_v = \frac{U_{cem}}{U_{bem}} = \frac{R_s \times I_o}{U_{bem}} = \frac{0{,}23 \times 24}{0{,}07} = \frac{5{,}29}{0{,}07} = 75$$

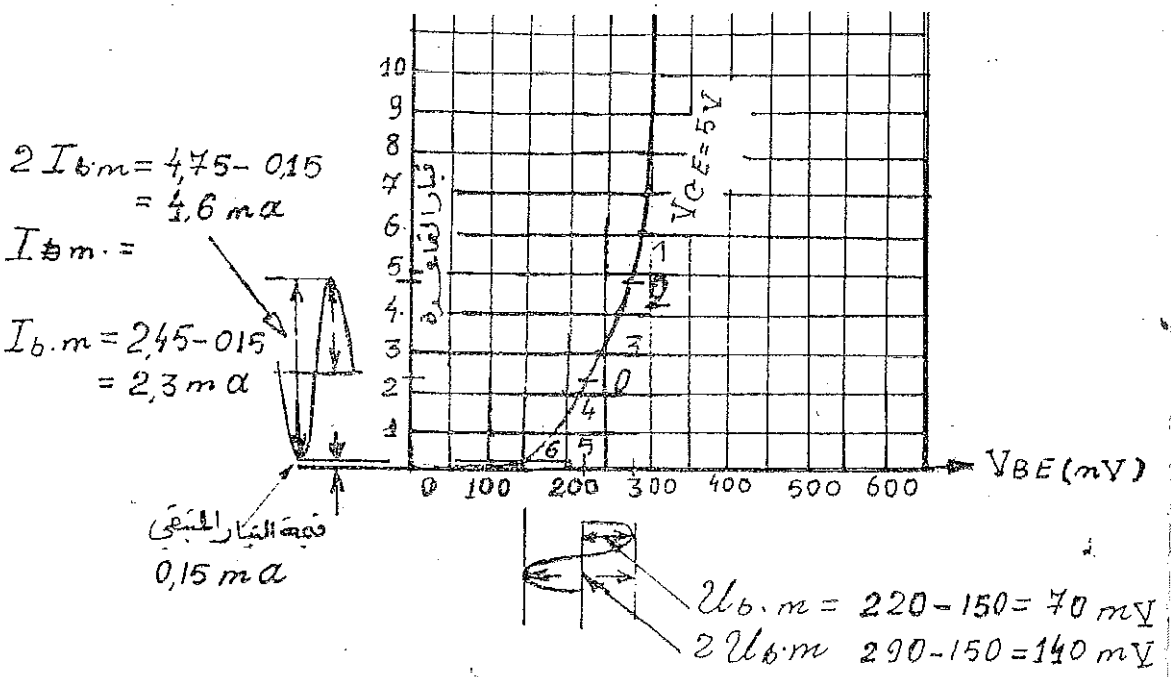
ـــ هناك بعض القيم التي يجب حسابها وأخذها بعين الاعتبار ، الا انها من الصفر بمكان يجعل من الممكن التغاضي عنها حاليا . وهي عامل المدروجات (هرمونات التردد)، والظواهر التي تطرأ ، عند تبديل الترانزستور أو عند حدوث بعض التغيرات ، فـــي مقاومة خرج المرحلة السابقة ، والتي تغير مقاومة دخل ، للمرحلة الحالية تحسب الان قيمة المقاومة الموجودة في دارة الباعث ، Re .

كنا حسبنا سابقا ، ان الجهد الهابط في دارة الباعث $= 0{,}09\ E = 0{,}09\ \ 5{,}5 = 0495\ v$

وبما أن تيار المشع ، هو نفسه تيار المجمع ، الذي وجدنا قيمة سابقا، في حالة السكون تساوي 0,243 a . فان قيمة المقاومة Re يجب أن تستنتج كالتالي .

$$Re = \frac{E_e}{I_{co}} = \frac{0{,}495}{0{,}243} = 2{,}0\ om$$

أما المقاومة Rs ، التي تعتبر قيمتها اصطلاحية ويجب أن تساوي ، من 5 ÷ 15 أمال مقاومة دخل الترانزستور . نأخذ كحد وسط سبعة أمثال مقاومة دخل الترانزستور



الشكل رقم 5 بين طريقة استخراج جهد واستطاعة وتيار دخل المضخم ومقاومة دخله ايضا .

التي سبق ووجدناها 30 om اوم ، الا انه من الواضح ، أن مقاومة دخل الترانزستور هذه تبدو كبيرة لذايجب أن تنخفض قيمة المقاومة R s ايضا وتؤخذ ما يزيد عن ضعف مقاومة دخل الترانزستور ، ومنه $R_S = 30 \times 2 = 60$ ونأخذ أية مقاومة ستنذر ، قريبة من هذه القيمة ، وهي 66 om أما المقاومة R_1 فتحسب بقانون ، قد يكون من الصعب فهمه هنا ، الا انه يؤدي الى النتيجة التالية :

$$R_1 = 330 \text{ om} = R_1 = 5 R_S$$

بقصد الزيادة في الايضاح . نبين قيم التيارات والجهود والموافقة لنقاط تقاطع المنحنيات مع خط الحمل (خواص خرج الترانزستور) النقاط 1 , 2 , 3 , 4 , 5 , 6 والنقـــاط 1′ - 2′ , 3′ , 4′ , 5′ , 6′

هناك عنصر قيم وهام ، لعمل الترانزستور ، وهو المبرد ، الذي يجب أن يبرد الحرارة المنتشرة في الترانزستور ، بسبب مرور التيار من خلاله ، ووجود المقاومة بين وصلاته ، الا ان عملية حساب عنصر التبريد هذا ، تؤول الى ، معرفة ناقليته للحرارة ، كمية الحرارة المنتشرة على الترانزستور ، وحساب السطح اللازم من المعدن المناسب لامتصاص هذه الحرارة ونشرها وتبديدها في الوسط المحيط . تصنع المساحة المحسوبة على شكل غطاء معدني أو فراش مروحي تحيط بالترانزستور أوصفيحةمعدنيةتصنع على شكل ماسك تثبت الترانزستور في وضعية مناسبة . ويعود انتقاء الشكل الى رأي

جدول توضيحي يبين قيم الجهود والتيارات في نقاط المنحنيات مع خط الحمل .

رقم النقطة	1	2	3	4	5	6	
تيار المجمع (na) i_c	460	410	300	215	120	15	
تيار القاعدة (na) i_b	4,75	4,00	3,0	2	1	0,15	
جهد القاعدة المشع (my) U_{be}	0,29	0,27	0245	0,22	015	0	
الجهد الكامل على القاعدة							

المصمم . وكثيرا مايتم التنفيذ بصورة تقريبية ، دون اللجوء الى العمليات الحسابية لدقيقـــة .

العنصر الهام جدا في المرحلة ، هو محول لخرج حيث يجب حساب ، نسبـــة تحويله ، ومقاومة ملفه الابتدائي ، والثانوي بقصد تحقيق توافق ، بين مقاومة الملف الابتدائي ومقاومة خرج المرحلة Rcs من جهة ، ومقاومة الملف الثانوي ومقاومة المكرفون أو السماعة Rd من جهة ثانية . وهنا يجب انتقاء المكرفون أو السماعة ، المرغوب باستخدامها ، قبل البدىء بعملية الحساب .

ـــ نختار ، على سبيل المثال : المكرفون AD 2070/225 نظرا لملاءمتهللعمل وامتلاكه ثوابت وخواص جيدة هي :

الاستطاعـــة العظمى	0,5 w
المقاومة العامـــة	25 om
تردد الاستجابة	360 Hz
تردد الاستعاد	250 - 9000 Hz
القطر العـــام	64 m . m

وعلى أساس المعطيات أعلاه يمكن حساب لمحول الخرج :

آ ــ نسبة التحويل n تحسب بالقانون

$$n = \sqrt{\frac{Rd}{\eta_T \cdot R_{CS}}} = \sqrt{\frac{25}{0,7 \cdot 23}} = \frac{5}{1,2} = 1,2$$

ب ــ مقاومة الملف الابتدائي r_1 تحسب بالقانون

$$r_1 = \frac{C}{1 + c} R_S \ (1 - \eta_T) = \frac{0,6}{1 + 0,6} \ 23 \ (- 0,75) = 2,25 \ \text{om}$$

حيث C ــ هنا ــ عامل مساعد يساوي 0,6

$$r_2 = \frac{1}{1 + C} \ Rd \ (\frac{1 - \eta_T}{\eta_T}) = \frac{1}{1+0,6} \ 25 \ (\frac{1 - 0,75}{0,75}) = 5 \ \text{om}$$

ج ــ عامل التحريض الذاتي للملف الابتدائي يحسب بالقانون

$$L_1 = \frac{0,159 \ (R_S - r_I \ )}{f_L \times 0,5} = \frac{0,159 \ (23 - 2,25 \ )}{0,5 \times 250} = 0,024 = 24 \ \text{m h}$$

حيث هنا f_L هي الحد الادنى للتردد العملي للمضخم = 250 Hz

يحسب مكثف التثبيت والتصفية C_F بطريقة مماثلة وتبلغ قيمته $C_F = 3300$ M F مكروفارار

وبهذا يكون لديك حساب عملي ، لمضخم الاستطاعة النهائي ، في جهاز الاستقبال الترانزستوري ، ــ حقا انه يحوي على العديد من العمليات الحسابية ، ولكنها جميعها ليست ذات صعوبة تذكر ،فاذا ماراجعتها بتمعن وهدوء سوف تفهمها وستجد بها المتعة واللذة ــ متعة الفرحان بنجاحه .

م ــ هذا صحيح .، ولكن ما هو الدليل أو البرهان ،الذي يؤكد لنا أن عملياتنا الحسابية الطويلة المعقدة التي أجريناها سابقا ،. صحيحة بدقة كافة .

ع ــ أهل نسيت ياصديقي ، القول المأثور **التجربة أكبر برهان . . .؟**

م ــ صحيح ان أجدادنا لم يأتوا بشيء عبث ، وما الاقوال المأثورة هذه ، الا دليل هداية وارشاد ، ويجب الاستعانة بها . . ولكن ، اليس هناك من طريق ، اقصر واسهل مــن التجربــة .

ع ــ انابرأيي ، أن التجارب ، فيها متعة ، لمحبي الاطلاع امثالك ياصديقي ، ولكن

اذا رأيت أنه ليس لديك متسع من الوقت ، للقيام بالتجارب كاملة ، فيمكنك ، انتقاء بعضا منها ، وتطبيقها ، سيما اذا كانت شاملة تحوي كل منها عدد من العناصر التـــى تم حسابها أعلاه .

وهناك طريقة ثانية ، لاتتطلب أية محساريف ، وذلك بأن نقوم بمقارنة النتائج ، التى حصلنا عليها حسابيا ، مع القيم التي يمكن أن تستخرج من المنحنيات البيانية التي تمثل خواص الترانزستور وحساب القيم التي استخرجناها من منحنيات الخواص بالطرق الحسابية المشابهة لما مر معنا . وكفى الله المؤمنين شر القتال .

م ــ حسنا ... سوف أسعى جاهدا ، للحصول على تلك القطع ، التي سميتها لي ، في المرحلة النهائية ، وسأريك انني استوعبت ، كل ماشرحته لي ، ولم يضـــــع تعبك هـــدرا ... !

ع ــ ان هذا يبعث السرور في نفسي أو يشعرني بأنني قمت بخدمة لابناء بلدي ، تعتبر لبنة في بناء التطور الصناعي.وأخيرا،أود أن أوصيك، بالمحافظة على تلك الاوراق، الحاوية على المخططات والرسومات والاشكال والمسائل والحلول التي بحثناها معا ، علها تفيدك في المستقبل ، أو تفيد اصدقاؤك من محبي الاطلاع هواة اللاسلكي

وبهذا نكون قد وصلنا الى نهاية بحثنا ، واستميحك عذرا ، عن اي تصرف خاطىء أكون قد قمت به تجاهك

النهاية والاهداء :

م ــ عفوا ياصديقي ، انك لم تقم الا بالعمل الخير النبيل ، الذي انقذني من ظلمة الجهل في علم الالكترونيات وأقدم لك جزيل شكري وامتناني آملا أن نلتقي في أبحاث مقبلة. تحمل الكثير من الفوائد العلميـــة . ولكنني قبل أن نفترق أريد أن أفاجئك بنبأ قد يكون سارا بالنسبة لك أتسمح لي يا صديقي : ..؟

ع ــ تفضل تفضل ..! بكل سرور .. ولا تدعني أفكر طويلا بمفاجئتك هذه

م ــ انني سمعت عمي **أبو شريف** ، ذات مرة يقول ...! آفة العلم النسيان ..! أعجبني جدا هذا القول المأثور ..! ورسخ في ذهني ، وخوفا على تلك المعلومات التى درسناها معا ، من أن تأتي عليها آفة النسيان ..! سجلتها جميعها في كتاب مخطوط سأرجع اليه عند الحاجة ، بل سأطلع عليه كل من يرغب من أصدقائي ، وكل من يحدوه حب المعرفة والاطلاع ، على العلوم الالكترونية الحديثة .

ع ــ انك أحسنت صنعا ، بعملك هذا ، وقمت بخدمة لاتقدر ، لي ولاصدقائك وزملائك ، وانني لاشكرك من أعماق قلبي ، وأدين لك بهذا العمل الجليل ولكن ... ! قل لي من فضلك ، من هو عمك **أبو شريف** ..؟ الذي حفظت عنه ، ذلك القول المأثور ، والذي كان دافعك للقيام بجمع وتسجيل،كافة المناقشات والابحاث التي قمنا بدراستها.

م ــ آه يا ... ياصديقي .. ان عمي **أبو شريف رحمه الله** .. كـــان مجاهدا شجاعا ، كريما ، أمضى قسما من سني حياته ، **مناضلا ضد الاستعمار الفرنسي** ، الـى أن تحرر هذا القطر من ربق الاستعمار ، بفضل جهاده وجهاد وتضحيات اخوانـه المناضلين ، من أبناء هذا القطر ، وكان يتلهف دوما ، لان يرى وطنه العربي الكبير ، وقد ارتقى في معارج العلم والتطور ، الا انه ، وافته المنية ، قبل أن يرى تلك المنجزات التى تحققت على أيدي الرعيل الصاعد من المناضلين الشرفاء .

ع ــ انك شوقتني لمعرفة الكثير عن حياة هذا الرجل ، وامثاله ...! ولكن قل لي ...! اليس له أبناء واحفاد ؟

م ــ نعم ياعزيزي .. له ولدان وثلاثة أحفاد ، وأن أسماء ابنائه واحفاده ، تنم عما كان يتصف به ذلك الرجل من سمو الاخلاق والتضحية المخلصة في سبيل الوطن .

ع ــ طبعا .. ان أحد أبنائه يدعى **شريفـا** .. اليس كذلك ...؟

م ــ نعم الولد الاكبر **شريف** والثاني **رفيق** وأحفاده هم **جهاد ونضال وكفاح** وهم جميعا يواصلون السير على نفس الطريق ، التي شقها لهم ، في العمل الدؤوب ، مـع كافة رفاقهم من الشباب ، جيل البناء والتقدم ، للصعود بهذا الوطن ، الى المكـان الحضاري ، اللائق به .

ع اذن اسمح لي ياصديقي ، بعد أن أثرت الحماس في نفسي ، اسمح لي ، أن أقدم كتابنا هذا هدية الى أحفاد ذلك المناضل الشهم المرحوم **أبو شريف** ، وكافة رفاقهم من الشباب الصاعد ، على طريق التقدم والرقي في مضمار العلوم والتكنولوجيا المعاصرة هدية متواضعة ، علها تكون ، باعث عزم واندفاع ، للتعمق في اسرار الطبيعة ، والصعود عبر أجوائها ــ واعدا اياهم ، بالمزيد المزيد ، من مثل هذه الدراسات العلمية التي تعمل على دعم وتخليد ، الرسالة الحضارية لامتنا العربية .

العـــارف

الفهرس :

الموضوع :	رقم الصفحة
مقدمة القائم بالترجمة والاعدادوالتعديل والاضافة	1
مقدمة المؤلف	3
شخصيات الحوار :	5
المناقشة الاولى : حياة الذرة .	6
أنصاف النواقل ، محاسن الترانزستور وطريقة استعماله ، تأثير الحرارة على الترانزستور ، حدود مجالات عمل الترانزستور بالتردد وبالاستطاعة ، الجزيء؛الذرة، البروتونات والنايترونات ، الالكترونات ، توزيع الالكترونات على المدارات ، التأين ، العدد الاتحادي ، الشبكة البلورية .	
المناقشة الثانية : المسرات	29
المقاومة الخاصة « النوعية » المقاومات الضوئية ، والعناصر الضوئية المزيج أو الشوائب ، المعطيات الفجوات ، أنصاف النواقل من النموذج P-n والحاجز الكموني (فرق الكمون) الجهد المباشر ، الجهد العكسي ، جهد الانهيار ، الديودات ، تقويم التيار بواسطة النصف ناقل .	
المناقشة الثالثة : نهارا سعيدا ياترانزستور ...!	48
— الترانزستور من البنية n-P-n و P-n-P تيار السكون تيار القاعدة، الاثر الترانزستوري ، تضخيم التيار مقارنة الترانزستور بالصمام الالكتروني ، مقاومة الدخل والخرج ، تضخيم الجهد ، تغذية الترانزستور .	
المناقشة الرابعة : الحوادث الفيزيائية في الترانزستور	64
حركة الشحنات الالكترونية ، الحوامل الاساسية ، مبدأ عمل الترانزستور نموذج P-n-P الوصل بين الاجزاء المعدنية رموز وتسميات المرابط ، الرموز الاصطلاحية للترانزستور ، شرح مختصر عن المفاهيم الا ساسية للترانزستور .	
المناقشه الخامسة : قليلا من التكنيك الفني ،	78
التنظيف بطريقة الانصهار الحقلي (الموضعي) ، التسخين الناتج عن الترددات العالية، امداد كثير البلورات ، قطع كثير البللورت طريقة الحواجز ، الترانزستورات المنصهرة، مشكلة ترانزستورات الاستطاعة ، طريقة النفوذ (زمن القفز) سعة الحواجز P-n أنصاف النواقل الترانزستورية، والرباعية الترانزستورات السطحية النفطية — طريقة النفوذ المزدوج الطريقة ذات النسب المختلفة من الشوائب من النموذج P-n-P الترانزستورات الهضبية ترانزستور M E S A ميزا الترانزستور الحقلي .	

المناقشة السادسة : 101

دارات كهربائية لاستخراج الخواص ، خوص التابعين $Ic = f (Ub)$, $Ib = f (Ub)$ عامل التضخيم للجهد وعامل التضخيم بالتيار ، مقاومة الدخل ، العلاقة التي تربط بين عامل تضخيم الجهد والمقاومة الداخلية وتضخيم التيار والاستطاعة الاشباع، مجموعة منحنات الخواص، التشابه مع الصمام الخماسي الاستطاعة الحدية، مقاومة الخرج ، تحديد البارامترات بدلالة منحنيات الخواص .

المناقشة السابعة : 120

لخواص الستاتيكية والديناميكية للترانزستور رسم خط الحمل ، نقطة العمل تضخيم التيار ، الجهد والاستطاعة القيمة العظمى للمركبة المتناوبة للجهد أو التيار منطقة الاشباع ، اختيار مقاومة الحمل الناقلية المتبادلة الديناميكية ، تطبيق جهد الانحياز . 29

المناقشة الثامنة : 136

الضرب على الاسفين بالاسفين . ميزات الدارة ذات التغذية الخلفية ، التغذية الخلفية للتيار والجهد الدارات الصمامية والترانزستورية ، تأثير التغذية الخلفية على مقاومة الدخل ومقاومة الخرج تشويهات الصفحة (أو الطور) التي يسببها الترانزستور ، التغذية الخلفية الداخلية ، ظهور التشويه عند ارتفاع درجة الحرارة ، والعمل على تخفيفه ، بواسطة التغذية واستخدام المقاومات الحرارية . (الثيرموستات) . 48

المناقشة التاسعة : 155

الباعث المشترك ، القاعدة المشتركة ، المجمع المشترك، الدارات الصمامية ذات المهبط المشترك ، الشبكة المشتركة ، المصعد المشترك الدارات الترانزستورية ذات الباعث المشترك والقاعدة المشتركة، المجمع المشترك الكسب بالتيار ، والكسب بالجهد في كل من طرق التوصيل الثلاث ، مقاومات الدخل والخرج ، في كل من طرق التوصيل الانفة الذكر ، لوائح توضيحية لخواص طرق التوصيل هذه . 64

المناقشة العاشرة : جميع طرق الوصل : 181

الدارات الاساسية في حالة الترانزستورات من النموذج n-P-n الخواص الايجابية والسلبية لدارات الربط ، ضبط شدة الصوت ، طريقة الربط بمقاومة ومكثف، سعة مكثف الربط ، طريقة الربط المباشر ، مضخم التيار المستمر ، الدارة ذات التناظر الاضافي ، الدارة ذات الترانزستورين المتتاليين « المترادفة » . 78

171 الكتابين المتبادلين بين المعارف والمبتدىء : مواضيع التوافق

منابع القدرة وانظمة تحميلها ، القوة المحركة الكهربائية والمقاومة الداخلية الجهد على مربط مولد الجهد ومولد التيار، والشرط الافضل لارسال القدرة . التوافق بين المقاومات ، استخدام المحول ، عامل التحويل الافضل .

200 المناقشة الحادية عشر : الاقتصاد والاستطاعة

انتقاء نقطة العمل ، المخطط الاقتصادي ذي نقطة العمل المنزلقة،مضخم الدفع والجذب من الصنف B .قلب الصفحة بواسطة المحول قالب الصفحة ، التابع المشع ذو الترانزستور ، مضخم الدفع والجذب ذو التناظر الاضافي ، المخطط العملي للمرحلة النهائية .

215 المناقشة الثانية عشر : مجال الترددات العالية

التردد الحدي ، الربط بين المراحل بواسطة دارة طنين ، التخامد ، مراحل التردد المتوسط والتردد العالي ،سعة الوصلة بين المجمع — والقاعدة طريقة ابطال أثر هذه السعة ، الضبط الاتوماتيكي للكسب ، تغيرات السعات الداخلية والمقاومات الداخلية للترانزستور ، دارات الضبط الاتوماتيكي للكسب ذات المضخم .

228 المناقشة الثالثة عشر : من التردد العالي الى المتوسط ثم الى والمنخفض

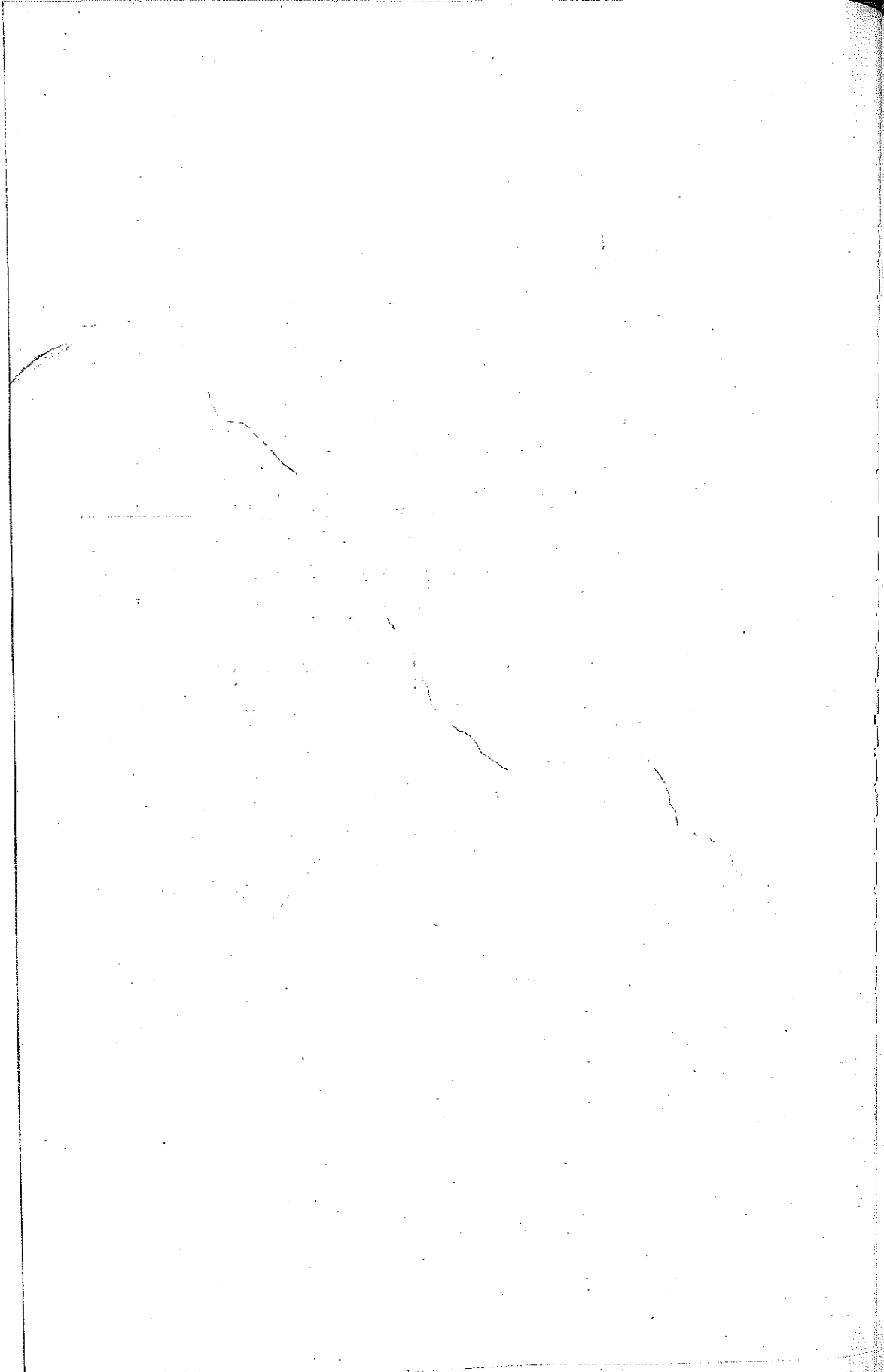
الكشف بواسطةالديودات،مخطط عملي للكشف المبني على الترانزستورات الكاشف معيد التوليد ، مخططات المذبذبات ، تغيير التردد مع مذبذب محلي مستقل ، وبواسطة ترانزستور واحد .

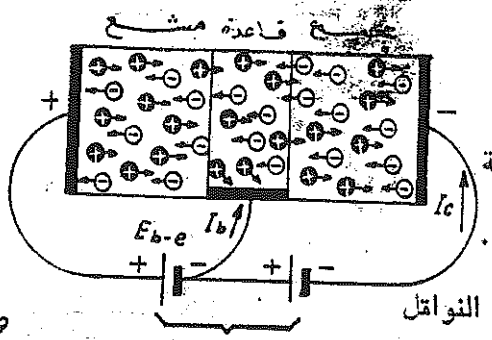
238 المناقشة الرابعة عشر : المربات والقطار

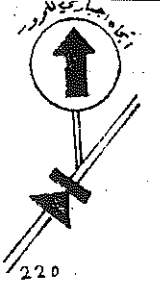
المخطط الكامل لجهاز الراديو ، هوائي الفريت ، حالات الاستخدام المختلفة للترانزستور ، مبدل التيار ، ترانزستورات المستقبل .

247 — الحساب العملي لمضخم الاستطاعة الترانزستوري احادي الشوط .

262 النهاية والاهداء :

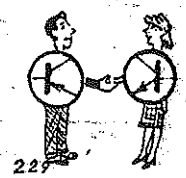


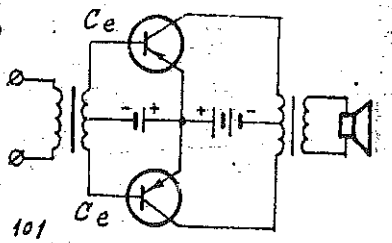




29

- من الترانزستور .
- اسلوب جديد في شرح الافكار العلمية
- يجعل من السهل جدا ...؟ فهم ..
- بنية الذرة ، تركيب مادة انصاف النواقل
- الشبكة الكريستالية « البلورية »
- تكنولوجيا انصاف النواقل .
- طريقة عمل الترانزستور والديود .
- تكنولوجيا الدارات الالكترونية .
- تكنولوجيا الاجهزة الالكترونية .
- طريقة حساب مراحل الاجهزة الترانزستورية .
- واخيرا تجميع الاجهزة اللاسلكية الترانزستورية .
- كل ذلك بطريقة حوارية ... مفيدة تستدعي الاستزادة من الدراسة والمطالعة .
- سيصدر قريبا ...؟ .كتاب الطرق الفنية في صناعة واستعمال الهوائيات اللاسلكية الراديوية





حقوق الطبع والنشر محفوظة :
للقائم بالاعداد

مطابع مؤسسة الوحدة
١٩٧٨

ثمن النسخة ١٢ ل.س