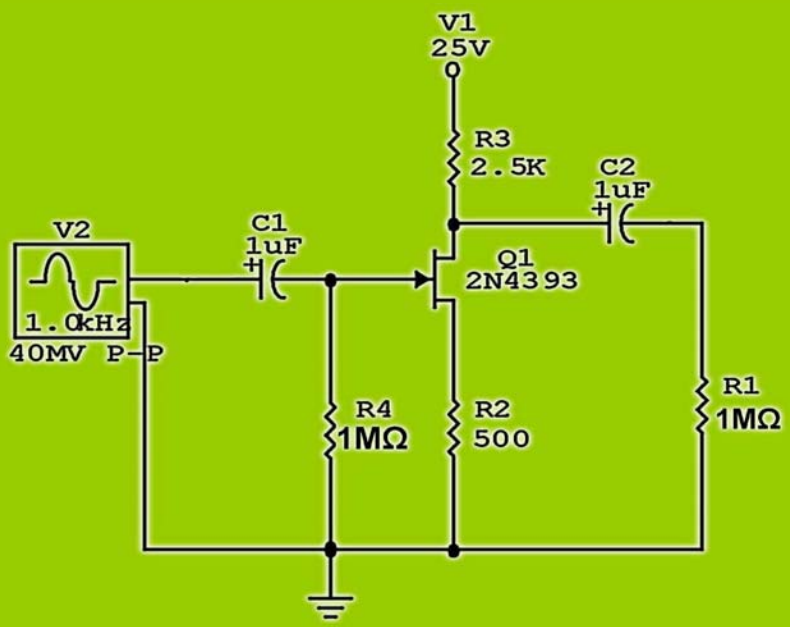
الجمهورية اليمنية
وزارة التعليم الفني والتدريب المهني
قطاع المناهج والتعليم المستمر
الإدارة العامة للمناهج والوسائل التعليمية

سلسلة الوحدات التدريبية المتكاملة

لمجموعة مهن: الإلكترونيات

اسم الوحدة: بنـــاء دارات الترانزستـــــور FET



الرقم الرمزي: 2044 ـ 822

جميع الحقوق محفوظة لوزارة التعليم الفني والتدريب المهني
الطبعة الأولى ـ 1428هـ / 2007م

الجمهورية اليمنية
وزارة التعليم الفني والتدريب المهني
قطاع المناهج والتعليم المستمر
الإدارة العامة للمناهج والوسائل التعليمية

سلسلة الوحدات التدريبية المتكاملة

لمجموعة مهن: الإلكترونيات

اسم الوحدة: **بنـــاء دارات الترانزستـــور** FET

إعداد

م/ محمد محمد الهندي

مراجعة

م/ عبد الحكيم علي الشميري منهجياً
م/ صالح أحمد العزير فنيـــاً
م/ محمد سلام السلامي فنيـــاً
أ/ عبد الجليل سعيد راجح لغـــوياً

الرقم الرمزي: 2044 ـ 822

جميع الحقوق محفوظة لوزارة التعليم الفني والتدريب المهني
الطبعة الأولى ـ 1428هـ / 2007م

المحتويات

الموضـــوع	رقم الصفحة
مقدمة الوحدة	5
أهداف الوحدة التدريبية	7
الجزء الأول: المعلومات الفنية النظرية:	9
1- ترانزستورات تأثير المجال	11
1-1 ترانزستور تأثير المجال الوصلي	12
1-2- ترانزستور تأثير المجال الأكسيد معدني شبه الموصل	22
2- قواعد الأمن والسلامة المهنية.	31
الجزء الثاني: تمارين التدريب العملي:	33
1- بناء دارة مقطع إشارة باستخدام ترانزستور تأثير المجال الوصلي	35
2- بناء دارة مكبر إشارة باستخدام ترانزستور تأثير المجال الوصلي	38
3- بناء دارة محدد للتيار باستخدام ترانزستور تأثير المجال الوصلي	40
4- بناء دارة مازج باستخدام ترانزستور تأثير المجال الوصلي	42
5- بناء دارة منظم جهد باستخدام ترانزستور MOSFET	45
الجزء الثالث: تمارين الممارسة العملية:	47
1- بناء دارة مقطع إشارة باستخدام ترانزستور تأثير المجال الوصلي	49
2- بناء دارة مكبر إشارة باستخدام ترانزستور تأثير المجال الوصلي	50
3- بناء دارة محدد للتيار باستخدام ترانزستور تأثير المجال الوصلي	51
4- بناء دارة مازج باستخدام ترانزستور تأثير المجال الوصلي	52
5- بناء دارة منظم جهد باستخدام ترانزستور MOSFET	53
الجزء الرابع: تقويم الوحدة التدريبية:	55
- الاختبار النظري	57
- الاختبار العملي	60
مسرد المصطلحات الفنية	65
قائمة المراجع والمصادر	67

بسم الله الرحمن الرحيم

مُقدِّمة:

إن الربط بين التعليم والعمل والتربية والحياة غدا نهجاً واضحاً تتبعه وتعمل على تحقيقه وزارة التعليم الفني والتدريب المهني في تحديث مناهج وبرامج التعليم والتدريب وتطويرها بهدف الاستثمار الأمثل للعنصر البشري وذلك من خلال إعداده وتأهيله علمياً ومهنياً وفق نمط الوحدات التدريبية المتكاملة الذي تتضافر فيه وتتكامل كافة الأبعاد المعرفية والأدائية والاتجاهية في التعليم والتدريب لما يتميز به هذا النمط من المرونة والتكامل في مكوناته وقدرته على استيعاب ما يستجد مستقبلاً من مفاهيم وتقنيات بصورة تمكن المتدرب من السيطرة على هذه المفاهيم والتقنيات والتحكم فيها والاستخدام الأمثل لتطبيقاتها وتمثل اتجاهاتها الإيجابية.

لذلك كله قام قطاع المناهج والتعليم المستمر بوزارة التعليم الفني والتدريب المهني بإعداد وإنتاج وحدات تدريبية متكاملة للتخصصات المختلفة في مختلف المجالات.

وقد أعدت هذه الوحدة ضمن سلسلة الوحدات التدريبية المتكاملة لمجموعة مهن الإلكترونيات حسب المعايير المنهجية والعلمية والشروط الفنية المتبعة في إعداد كافة مكونات الوحدة التدريبية (الأهداف – المادة التعليمية – فعاليات التدريب – التسهيلات والتجهيزات – التقويم) بصورة تيسر للمتدرب الاستيعاب الأمثل لمحتوياتها النظرية وتنفيذ مهاراتها الأدائية وتمثل اتجاهاتها الإيجابية.

نأمل من أبنائنا المتدربين أن يستفيدوا الاستفادة القصوى علمياً ومهنياً من هذه الوحدة في دراستهم وفي حياتهم العملية.

والله الموفق،،،

أهـداف الوحـدة التدريبيـــة

بعد ممارسة أنشطة وفعاليات هذه الوحدة يتوقع من المتدرب أن يكون قادراً على أن:

الأهـداف الخاصـــة	الأهـداف السلوكيـــة
1- يبنـي دارة مقطـع إشـارة باسـتخدام ترانزستورJFET	1-1 يتعرف أنواع ترانزستورات تأثير المجال
	2-1 يتعرف التركيب البلوري لترانزيستور JFET ورموزه
	3-1 يتعرف آلية عمل ترانزستور تأثير المجال ذي الوصلةJFET
	4-1 يتعرف مواصفات الترانزستور JFET
	5-1 يتعرف آلية عمل دارة مقطع إشارة باستخدام ترانزستورJFET
	6-1 يراعي قواعد الأمن والسلامة المهنية
	7-1 يفحص عناصر دارة مقطع إشارة باستخدام ترانزستورJFET
	8-1 يبني دارة مقطع إشارة باستخدام ترانزستورJFET
	9-1 يقيس متغيرات الدارة (جهود – إشارات)
	10-1 يسجل نتائج القياس
2- يبنـي دارة مكبـر إشـارة باسـتخدام ترانزستورJFET	1-2 يتعرف دارة مكبر إشارة باستخدام JFET وآلية عملها
	2-2 يراعي قواعد الأمن والسلامة المهنية
	3-2 يفحص عناصر دارة مكبر إشارة باستخدام JFET
	4-2 يبني دارة مكبر إشارة باستخدام JFET
	5-2 يقيس متغيرات الدارة (جهود – إشارات)
	6-2 يسجل نتائج القياس
3- يبنـي دارة محـدد التيـار باسـتخدام ترانزستورJFET	1-3 يتعرف دارة محدد التيار باستخدام ترانزستورJFET وآلية عملها
	2-3 يراعي قواعد الأمن والسلامة المهنية
	3-3 يفحص عناصر دارة محدد التيار باستخدام ترانزستورJFET
	4-3 يبني دارة محدد التيار باستخدام ترانزستورJFET
	5-3 يقيس متغيرات الدارة(جهود – إشارات)
	6-3 يسجل نتائج القياس

الأهـداف الخاصـــة		الأهـداف السلوكيـــة
4- يبني دارة فولتميتر بـسيط باسـتخدام ترانزستورJFET	1-4	يتعرف دارة فولتميتر بسيط باستخدام ترانزستورJFET وآلية عملها
	2-4	يراعي قواعد الأمن والسلامة المهنية
	3-4	يفحص عناصر دارة فولتميتر بسيط باستخدام ترانزستورJFET
	4-4	يبني دارة فولتميتر بسيط باستخدام ترانزستورJFET
	5-4	يقيس متغيرات الدارة (جهود – إشارات)
	6-4	يسجل نتائج القياس
5- يبنـي دارة مـنظم جهـد باسـتخدام ترانزسـتور MOSFET	1-5	يتعرف ترانزستور تأثير المجال MOSFET ورموزه
	2-5	يتعرف التركيب البلوري لترانزستور تأثير المجال MOSFET
	3-5	يتعرف آلية عمل ترانزستور تأثير المجال MOSFET
	4-5	يتعرف مواصفات ترانزستور تأثير المجال MOSFET
	5-5	يتعرف دارة منظم جهد باستخدام ترانزستورMOSFET وآلية عملها
	6-5	يراعي قواعد الأمن والسلامة المهنية
	7-5	يفحص عناصر دارة منظم جهد باستخدام ترانزستور MOSFET
	8-5	يبني دارة منظم جهد باستخدام ترانزستور MOSFET
	9-5	يقيس متغيرات الدارة (جهود – إشارات)
	10-5	يسجل النتائج.

الجزء الأول

المعلـومـــات الفنيـــة النظـــريـة

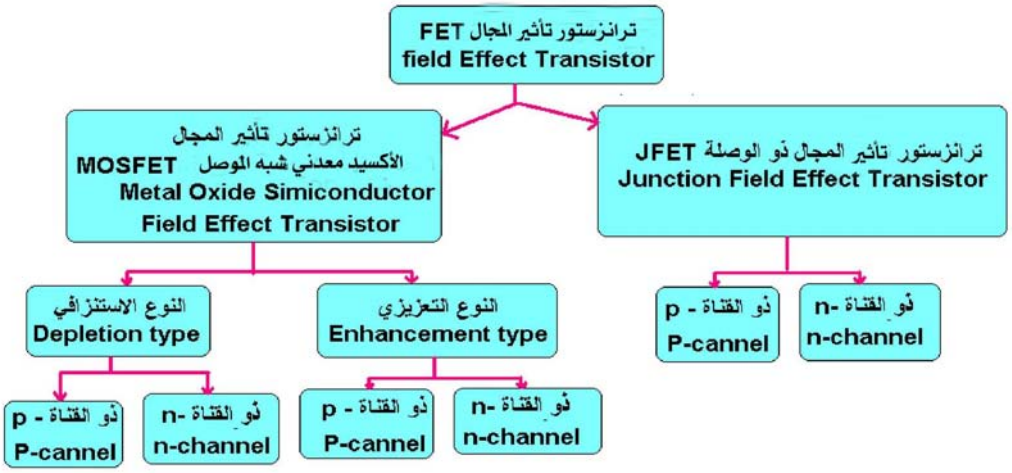
1- ترانزستورات تأثير المجال FET:

ترانزستورات تأثير المجالFET عبارة عن ترانزستورات أحادية القطبيةUnipolar transistor وذلك تمييزاً عن الترانزستور ثنائي القطبية Bipolar transistor، حيث تعتمد فقط على نوع واحد من حاملات الشحنة سواء الإلكترونات أو الفجوات، وكلمة FET هي اختصار للعبارة الإنجليزية Field Effect Transistor، ومن اسمها نستدل على أن التوصيل يتم عن طريق قناة channel حيث التحكم بها عن طريق التيار المار الذي يتحكم في تغير المجال الكهربائي electric field ناجم عن جهد مطبق على القطب المسمى بالبوابةgate.

وتنقسم ترانزستورات تأثير المجالFET إلى نوعين رئيسيين هما :

أ- ترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET.Junction Field Effect Transistor.

ب- ترانزستور تأثير المجال الأكسيد معدني شبه الموصل MOSFET: Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor.



شكل(1)

أنواع ترانزستورات تأثير المجال FET

1-1 ترانزســـــتور تأثيـــــر المجـــــال الوصلي JFET :

Junction Field Effect Transistor

وتنقسم إلى قسمين هما :

أ- ترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET ذو القناة (N)، وفي هذا النوع تكون حاملات الشحنة هي الإلكترونات.

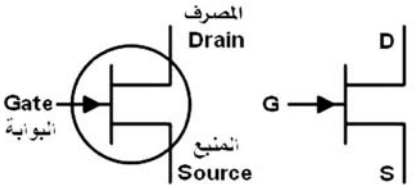
ب- ترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET ذو القناة (P)، وفي هذا النوع تكون حاملات الشحنة هي الفجوات.

ويبين الشكل (2) رموزاً مختلفة لترانزستور تأثيـــر المجـــال الوصـــلي، أحـــدها يمـــثل الترانزستور ذا القناة لموجبة، والآخر يمثل الترانزستور ذا القناة السالبة.

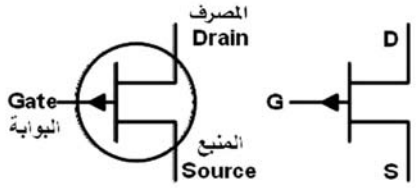
1-1-1 التـــركيب الـــبلوري لترانزســـتور تأثيـــر المجال الوصلي JFET :

أولا : التركيب البلوري لترانزستور تأثير المجال الوصليJFET ذو القناة N:

يتكون ترانزستور تأثير المجال الوصليJFET من لوح شبه موصل من النوع (n)، طعم جانبيه بـبعض الـشوائب مـن مـادة شـبه موصـلة مـن الـــنوع (p) للحـــصول علـــى منطقتـــين مـــن الـــنوع (P)، ويـــسمى هـــذا الترانزســـتور بترانزستور تأثير المجال ذو القناة (N). يوضح شكل (3) التركيب البلوري لترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET ذي القناة (N).



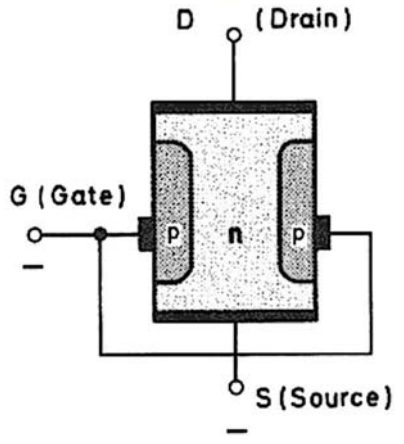
أ- رمز ترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET ذو قناة N



ب – رمز ترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET ذو قناة P

شكل (2)

رمزان لترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET



شكل (3)

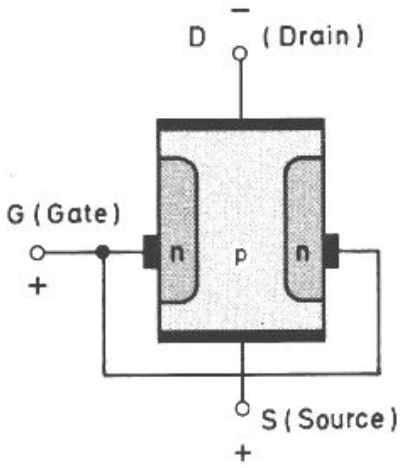
التركيب البلوري لترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET ذي القناة N

ثانيا : التركيب البلوري لترانزستور تأثير المجال الوصلي (JFET) ذي القناة (P):

يتكون ترانزستور تأثير المجال الوصلي من لوح شبه موصل من النوع (P)، طعم جانبيه ببعض الشوائب من مادة شبه موصلة من النوع (N) للحصول على منطقتين من النوع (N)، ويسمى هذا الترانزستور بترانزستور تأثير المجال ذي القناة (P) شكل (4) الذي يوضح التركيب البلوري لترنستور تأثير المجال الوصلي JFET ذي القناة (P).

ولترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET ثلاثة أطراف هي:-

- **المنبع Source:** وهو طرف اللوح الذي يعمل على إدخال الحاملات لأغلبية الشحنات وهي الإلكترونات في حالة القناة السالبة والفجوات في حالة القناة الموجبة مكونة بذلك تيار المنبع I_S ، ويكون هذا المنبع موجبا بالنسبة إلى البوابة.
- **المصرف Drain(D):** هو طرف اللوح الذي تخرج من خلاله حاملات الشحنة الغالبية مكونة بذلك تيار المصرف (Drain current) الذي يرمز له بالرمز (I_D) ، ويكون المصرف موجبا بالنسبة إلى المنبع.
- **البوابة Gate (G):** هي عبارة عن المنطقة الجانبية للوح، وتكون البوابة من مادة معاكسة لنوع مادة اللوح، وتتميز بتركيز عال للشوائب،بحيث تكون وصلة بوابة المنبع في حالة انحياز عكسي. لذا يكون تيار البوابة صغيراً، ويرمز له (I_G) ، ويمكن بواسطة جهد البوابة التحكم بعرض القناة.



شكل (4)
التركيب البلوري لترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET ذي القناة P

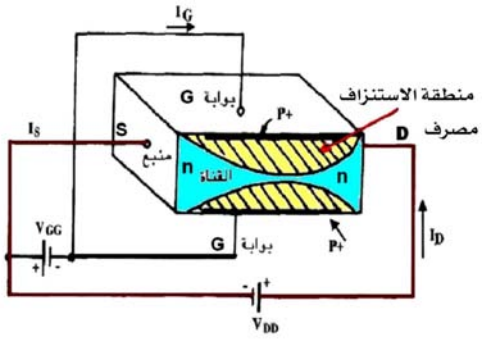
2-1-1 آلية عمل ترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET :

أولا : آلية عمل ترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET ذي القناة N

بواسطة جهد البوابة شكل (5) يمكن التحكم بعرض القناة، إذ أن زيادة الجهد بين البوابة والمنبع تزيد الانحياز العكسي بينهما،مما يوسع عرض منطقتي الاستنزاف على جانبي القناة فتضيق، وعكس ذلك صحيح، وبهذه الطريقة يمكن التحكم بعرض القناة ومن ثم التحكم بمقاومتها التي تتحكم بدورها بتيار المصرف.

ومن شكل (5) أيضا نلاحظ :

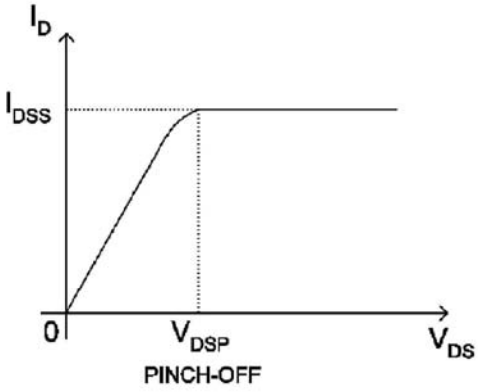
- عند تطبيق جهد (V_{DD}) (الجهد المطبق على المصرف) بين المصرف و المنبع فإن المصرف يكون أكثر إيجابية من المنبع، في هذه الحالة فإن الجهد (V_{DS}) بين المصرف والمنبع يساوي جهد المصدر (V_{DD}) (لاحظ أن طرف البوابة موصل بالأرضي).
- الإلكترونات سوف تعبر خلال القناة من المنبع إلى المصرف، ويسمى التيار المار بتيار المصرف (I_D).
- عندما تزيد قيمة (V_{DS}) فإن التيار يزيد خطيا حيث تسلك قناة (N) سلوك مقاومة أومية. ومع زيادة (V_{DS}) فإن انحياز وصلة (PN) بين البوابة والمنبع تزداد أيضا، (وتسمى منطقة الانحياز العكسي بمنطقة الاستنزاف)، أي أن الموصلية للقناة تقل.



شكل (5)

آلية عمل ترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET ذي القناة N

- عندما يصل الجهد إلى قيمة جهد الغلق (V_{DSO}) (وهي قيمة الجهد بين المصرف والمنبع عند ثبات التيار I_{DS}) فإن أية زيادة للجهد (V_{DS}) لا تؤدي إلى زيادة أي تيار إضافي، أي أن التيار (I_D) عند هذه القيمة يظل ثابتاً مع زيادة الجهد (V_{DS}) وجهد بوابة المنبع يساوي الصفر ($V_{GS} = 0$)، شكل (6).
- ملاحظة: حتى يعمل ترانزستور تأثير المجال الوصلي بشكل طبيعي يجب أن تبقى وصلة (PN) بين البوابة والمنبع في حالة انحياز عكسي حتى يكون التيار عند البوابة دائما مساوياً تقريبا للصفر.

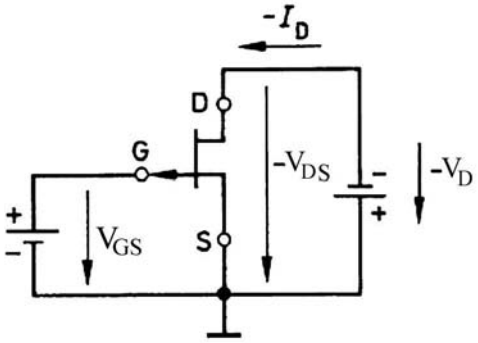


شكل (6)
المنطقة الأومية

ثانيا : آلية عمل ترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET ذي القناة P:

يعمل ترانزستور تأثير المجال الوصلي ذو القناة (P) بنفس الآلية التي يعمل بها ترانزستور تأثير المجال الوصلي ذي القناة (N) والفرق كما هو مبين بالدارة، شكل (7) حيث:

- يتم تطبيق جهد سالب بين المنبع والمصرف.
- حوامل التيار هي الفجوات.
- اتجاه الأسهم ينعكس مقارنة بترانزستور JFET ذي القناة (N).
- يطبق جهد موجب على البوابة (G).



شكل (7)
دارة ترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET ذي القناة P

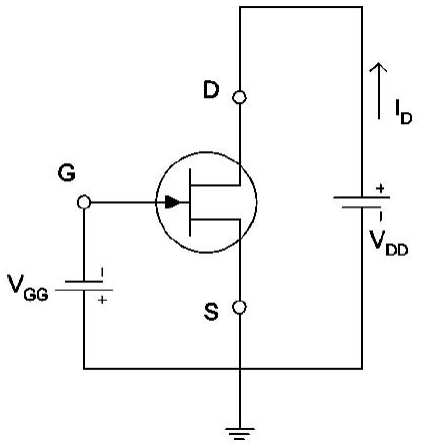
3-1-1 منحنيات الخواص لترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET:

أ- منحنى خواص تيار المصرف JFET مع جهد (المنبع –البوابة) $(I_D - V_{GS})$ **لترانزستور ذو القناة N:**

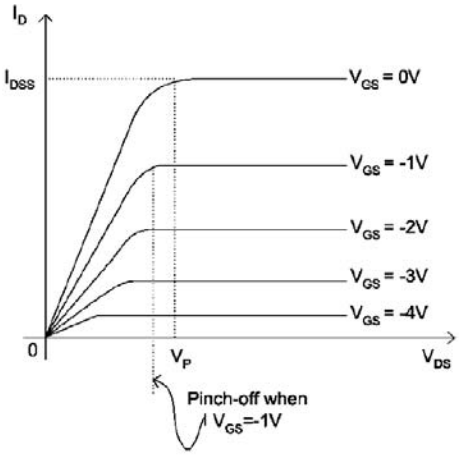
شكل (8) يبين دارة تتكون من ترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET ذي قناة سالبة متصل بطريقة المنبع المشترك، ويكون المنبع هنا مشتركا بين الدخل والخرج.

وتعمل الدارة شكل (8) كما يلي:

- تطبيق جهد مقداره (V_{GG}) بين البوابة والمنبع للدارة، وبحيث يتم زيادة قيمة (V_{GG}) بالاتجاه السالب فإننا نحصل على منحنى الخواص للتيار (I_D) مع الجهد (V_{DS}) كما هو مبين بالشكل (9).
- كلما كانت (V_{GS}) أكثر سالبية (قيم أقل من الصفر) فإن جهد الغلق (Punch-off) يبدأ عند قيم أقل للجهد (V_{DS}) كما هو مبين بمنحنى خواص المصرف $(V_{GS} - V_{DS})$ شكل (9).



شكل (8)
دارة مكبر المنبع المشترك

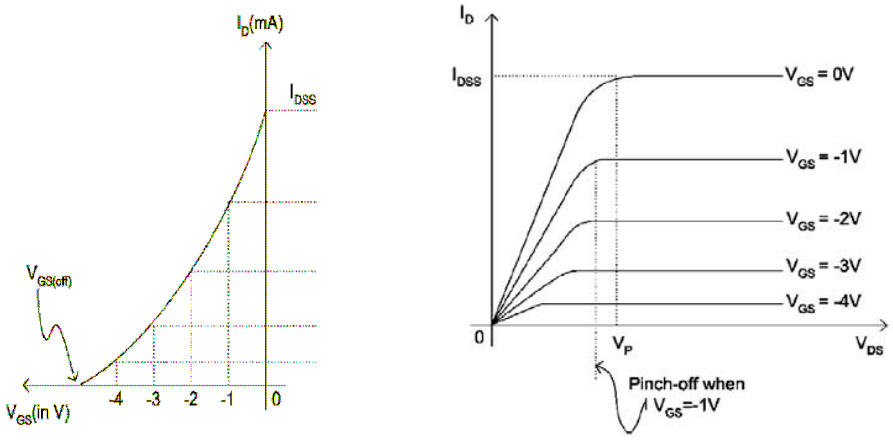


شكل (9)
منحنى خواص المصرف

- عندما يكون $(V_{GS} = 0)$ تتصرف القناة كمقاومة شبه موصلة فيزداد التيار بزيادة الجهد بشكل خطي ويؤدي ذلك إلى زيادة التيار كلما ازداد هبوط الجهد على امتداد القناة مما يجعل المناطق قرب الوصلة سالبة بالنسبة إلى طرف المنبع، ولأن البوابة موجبة ومتصلة بطرف المنبع، فذلك يجعل وصلة البوابة تنحاز عكسيا فتتسع منطقة الاستنزاف وتضيق القناة (تزيد مقاومتها) لذلك يقل التيار (I_D). إلا أنه عندما يزداد (V_{DS}) يزداد التيار، وهكذا يقع التيار تحت تأثيرين متضادين يعملان على إبطاء زيادة التيار، ويظل التيار ثابتاً تقريباً ويطلق على هذه الظاهرة تأثير الانقباض (Pinch Effect)، ويسمى الجهد الذي يحدث هذه الظاهرة جهد الانقباض (Pinch voltage) ويرمز له بـ (V_P) كما في الشكل (9). وهذه الظاهرة هي التي تعطي للترانزستور خواصه ومن المهم أن نلاحظ أنه عند جهد القطع فإن التيار يستمر في المرور خلال القناة كما هو موضح بمنحنى خواص تيار المصرف والجهد بين المصرف والمنبع $(I_D - V_{GS})$، أي أن التيار (I_D) يبقى قيمة ثابتة عندما يكون التيار الأعظمي (I_{DSS})، ويسمى بتيار التشبع (saturation current) لترانزستور تأثير المجال JFET.

ب- منحنى الخواص الانتقالية:

- عندما يبدأ تيار المصرف (I_D) المتحكم به عن طريق تغيير الجهد (V_{GS}) من الصفر إلى $(V_{GS(off)})$ فإن القيمة العظمى للتيار تحدث عندما يكون الجهد (V_{GS}) عند الصفر، ويصل التيار إلى قيمته الدنيا (صفر أمبير تقريباً) عندما يصل الجهد (V_{GS}) إلى نقطة القطع (cut-off) ويرمز بالرمز $(V_{GS(off)})$، الجهد (V_{GS}) يتحكم بتيار الخرج (I_D)، كما هو مبين بمنحنى الخواص الانتقالية شكل (10-ب) المصرف عند نقطة جهد القطع (pinch-off)، كما يمكن منحنى الخواص الانتقالية من منحنى شكل (10-أ).



(ب) (أ)

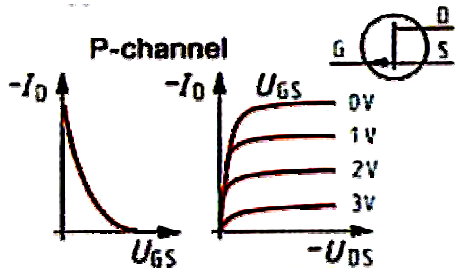
شكل (10)

منحنى الخواص الانتقالية لترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET

ج- منحنيات الخواص لترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET ذي القناة P :

لـه نفس خـواص ترانزسـتور تأثيـر المجـال الوصلي JFET ذي القناة (N)، والفرق بينهما كما هو موضح بالشكل (11) حيث:

- يتم تطبيق جهد سالب بين المنبع والمصرف.
- اتجـاه الأسـهم يـنعكس مقارنـة بترانزسـتور JFET ذي القناة N.
- يطبق جهد موجب على البوابة.



شكل (11)

منحنيات خواص ترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET ذي القناة P

4-1-1 مواصفات ترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET:

جدول (1) يبين مواصفات ترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET من حيث التيارات والكسب والتردد الأعظمي والأطراف.

جدول (1)

مواصفات ترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET

الترانزستور Transistor	النوع Type	جهد المصرف- المنبع الأعظمي Max. Vds	تيار المصرف الأعظمي Max. Id	القدرة العظمى Max. Diss.	الربح (الكسب) **Gain**	التردد الأعظمي Max. Freq.	الضجيج Noise Figure	شكل الغلاف Case
2N4416	N-CH J-FET	30V	15mA	300mW	18dB @ 100MHz	450MHz	2dB @ 100MHz	TO-72
2N4416A	N-CH J-FET	35V	15mA	300mW	18dB @ 100MHz	400MHz	2dB @ 100MHz	TO-72
2SK161	N-CH J-FET	18V	10mA	200mW	18dB @ 100MHz	WIN*Tra nsceiver*	2,5dB @ 100MHz	MINI

5-1-1 مميزات الترانزستورات JFET :

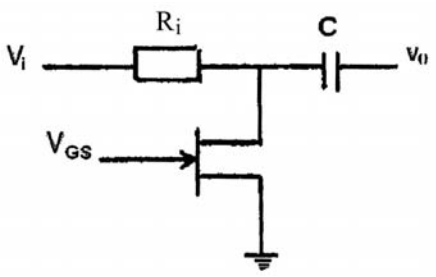
- تيار القاعدة فيها صغير جداً (يكاد يكون معدوماً).
- ممانعة الدخل العالية الناتجة (والتي تزيد عن عشرات الميجا أوم تعد ضرورية في الكثير من التطبيقات، وفي الغالب فإنها تجعل تصميم الدارات سهلا وممتعا).
- وفي التطبيقات التي تتطلب مفاتيح تمثيلية (analog switches) ومكبرات ذات ممانعة دخل فائقة العلو فلا نظير لترانزستورات JFET.
- يمكن بسهولة استخدامه منفرداً أو مع ترانزستور (BJT) لتشكيل الدارات المتكاملة.
- الاستقرار الحراري حيث لا يعتمد التيار على حاملات الشحنة الأقلية التي تتأثر بتغير درجة الحرارة.
- سهولة تصنيعه واحتلاله مساحة أقل في الدارات المتكاملة.
- صلاحيته للترددات العالية أكثر من الترانزستور ثنائي القطبية، له كفاءة (efficiency) أكبر من كفاءة الترانزستور ثنائي القطبية.

6-1-1 آلية عمل دارة مقطع إشارة باستخدام ترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET:

- عند تطبيق إشارة الدخل التي لها تردد جيبي فترته (Ti) على الدارة شكل (12) فإن الخرج يظل مساوياً للصفر Vo = 0 حتى يتم تطبيق نبضة على البوابة.

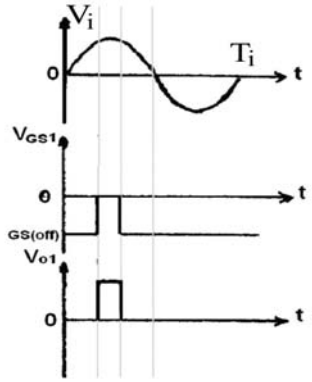
- وعند تطبيق نبضة على البوابة أي يكون (V_{GS}) عبارة عن نبضة واحدة) خلال فترة موجة الدخل، عند ذلك فإن الخرج (V_{O1}) يكون عبارة عن نبضة واحدة باستقطاب موجب شكل (13).
- أما عند تطبيق نبضتين (أي يكون (V_{GS}) عبارة عن نبضتين) خلال فترة موجة الدخل، فإن الخرج (V_{O2}) يكون له نبضتان، إحداهما موجبة الاستقطاب والثانية سالبة الاستقطاب شكل (14).
- أي أنه يتم التحكم بعدد النبضات في الخرج عن طريق الجهد (V_{GS}).
- وبتكرار دورات (V_i) و (V_{GS}) تكون علاقة ترددهما هي ($T_i = 2\,T_{GS}$) إذا كان (V_{GS}) خلال فترة الموجة يعمل أكثر من فترتين فإن الخرج يكون له أكثر من خرج للاستقطاب الواحد وتكون علاقة ترددهما هي:($T_i \geq nT_{GS}$) حيث ($n>2$)

من هذا الشرح نرى أنه في حالة إشارات الموجات الترددية، للحصول على عينات (samples)، لها نفس الاستقطاب يجب أن يكون ($T_i \geq nT_{GS}$).



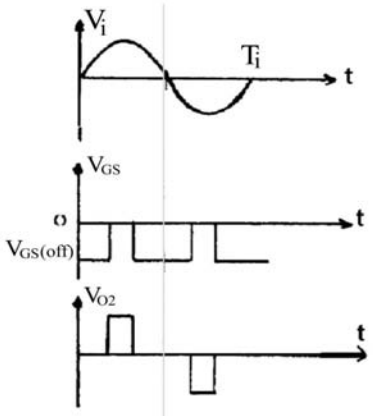
شكل (12)

دارة مقطع إشارة باستخدام ترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET



شكل (13)

إشارة الخرج عند (V_{GS}) عبارة عن نبضة



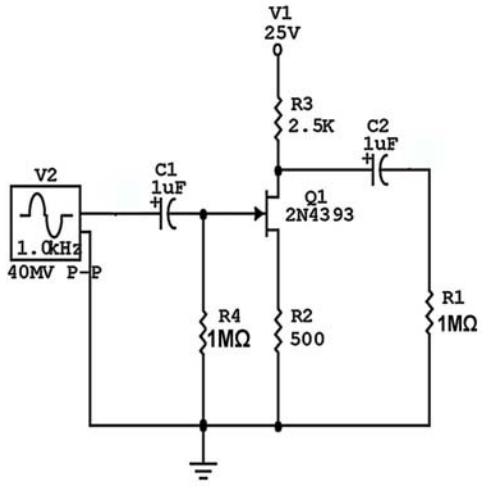
شكل (14)

إشارة الخرج عند (V_{GS}) عبارة عن نبضتين

7-1-1 آلية عمل دارة مكبر إشارة باستخدام ترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET :

شكل (15) يبين دارة مكبر إشارة باستخدام ترانزستور تأثير المجال الوصلي حيث تعمل الدارة كما يلي:

- تدخل الإشارة عبر المكثف (C1) والذي يمنع التيار المستمر من الدخول ويسمح للإشارة المترددة بالدخول.
- عند دخول الإشارة عبر البوابة فإن ترانزستور تأثير المجال الوصلي يعمل، حيث يتم تكبير الإشارة مثل ترانزستور ثنائي القطبية.
- تخرج الإشارة عبر المكثف (C2) والذي يمنع التيار المستمر ويمرر الإشارة المكبرة بالخروج.
- تقوم المقاومتان (R3) ,(R2) بتأمين الانحياز للدارة، وتمثل المقاومة (R3) حمل الدارة.
- المقاومة (R1) عبارة عن حمل للدارة ويتم أخذ إشارة الخرج عبرها.
- مقاومة (R4) عبارة عن مقاومة عزل بين بوابة الترانزستور والأرضي.



شكل (15)
دارة مكبر إشارة باستخدام JFET

8-1-1 آلية عمل دارة محدد التيار باستخدام ترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET :

يمكن استخدام ترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET لحماية الأحمال Load من التيارات المتزايدة.

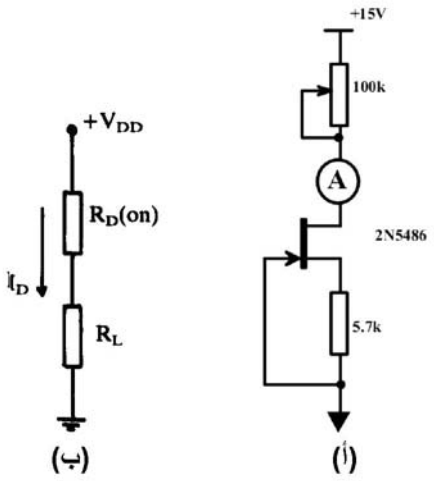
- شكل (16- أ) يبين دارة محدد التيار باستخدام ترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET.
- بفرض أن JFET يعمل كتحويلة switch عندئذ يمكن تمثيله بمقاومة الوصل Rd الصغيرة القيمة، شكل (16- ب).
- يكون الجهد على الحمل هو:

$$V_L = V_{DD} - V_{DS}$$

$$I_D R_L = V_{DD} - I_D R_D$$

- بما أن VDS في حدود الملي فولت بحيث يمكن إهماله بالنسبة لجهد الانحياز VDD، وبذلك يكون أعلى تيار يمر بالحمل $I_L = I_D = \frac{V_{DD}}{R_L}$.
- عند حدوث قصر للحمل (المقاومة 5.7K) فإن تيار ترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET يزداد مما يدفعه للعمل في المنطقة النشطة، وبذلك تكون قيمة التيار عند الحد (I_{DSS}) أعلى قيمة للتيار حيث $V_{GS} = 0$ كما هو مبين بمنحنى خواص المصرف شكل (17).
- أي أن : $I_L = I_D = \frac{V_{DD}}{R_L} \rightarrow I_{DSS}$

مما يمنع الزيادة الفائضة للتيار في دارة الحمل، وفي هذه الحالة يعمل ترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET كمصدر تيار ثابت.

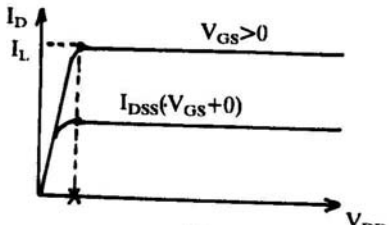


أ- دارة محدد التيار

ب – تمثيل JFET بمقاومة

شكل (16)

آلية عمل دارة محدد التيار باستخدام ترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET

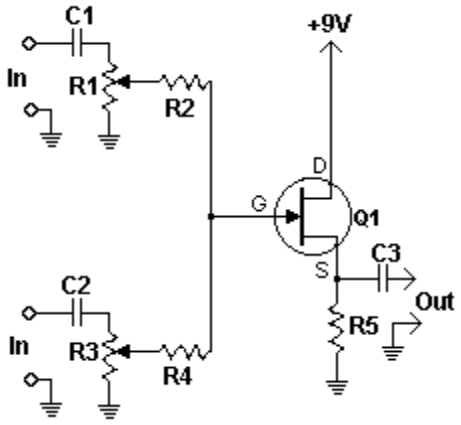


شكل (17)

منحنى خواص المصرف لدارة محدد التيار باستخدام ترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET

9-1-1 آلـــــية عمـــــل دارة مـــــازج باســتخدام ترانزســتور تأثيــر المجــال الوصلي JFET :

الدارة شكل (18) عبارة عن دارة خلط بسيطة تقوم بخلط إشارتين حيث يتم دخول الإشارات عبر المكثفين C_1, C2 الـذيـن يقـومـان بمـنع مـركبات التـيار المـستمر، ويقـوم ترانزسـتور تأثيـر المجـال بخلـط الإشـارتين وخروج الإشارة المخلوطة عبر المكثف C_3. وتتكون الدارة من المكونات الآتية:



شكل (18)

دارة مازج باستخدام ترانزستور FET Mixer

- مقاومتان متغيرتـان R1, R3 تعملان على خفض جهد الإشـارة فـي حالـة الإشـارة ذات الجهد العالـي، ويـتم ضـبطها للحـصول علـى إشارة واضحة عند الدخل.
- مقاومتان ثابتتان R2, R4 لتأميـــن انحياز ترانزستور تأثير المجال.
- مقاومة R5 (6.8K 1/4 W).
- مكثفات C1, C2, C3 (1uF) تعـملان على منع مركبات التيار المستمر.
- ترانزســـتور تأثيـــر المجـــال الوصـــلي Q1(2N3819) يقوم بخلط الإشارتين.

2-1- ترانزستور تأثير المجال الأكيد معدني شبه الموصل:

Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (MOSFET)

يطلـق أيـضا علـى هـذا الترانزسـتور اسـم ترانزسـتور تأثيـر المجـال ذي الـبوابة المعـزولة Insulated Gate Field Effect Transistor، ويرمز له بالرمزIGFET، وقد يكون ذا قناة سالبة أو موجبة.

ويمكن تمييز نوعين من هذا الترانزستور هما:

- النوع التعزيزي أو المحسن Enhancement type.
- الاستنزافي أو إلا فراغي Depletion type.

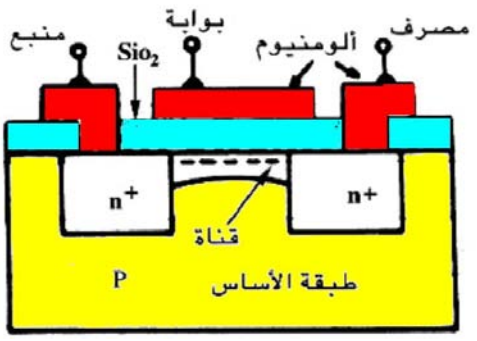
1-2-1 التركيب البلوري لترانزستور تأثير المجال الأكسيد معدني شبه الموصل MOSFET :

أ- النوع التعزيزي:

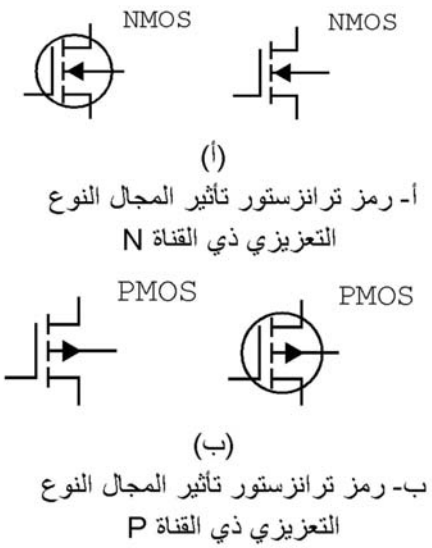
Enhancement type

شكل (19) يبين ترانزستور MOSFET بقناة سالبة وطبقة أساس موجبة، تكون نسبة التطعيم فيها منخفضة بينما توجد بها قطعتان سالبتان بنسبة تطعيم عالية (n+)، وهما بمثابة منبع ومصرف و بينهما مسافة قليلة تقدر ببضعة مايكرونات. بعد وضع هاتين القطعتين في طبقة الأساس يغطى السطح بطبقة رقيقة عازلة من ثاني أكسيد السيلكون (Sio_2)، ثم توصل وصلتان معدنيتان بالمنبع والمصرف وتغطى الطبقة العازلة فوق القناة بطبقة موصلة لتقوم بعمل البوابة. ويوجد نوع آخر من هذا الترانزستور بقناة موجبة.

يبين شكل (20) رموزاً لترانزستور تأثير المجال الأكسيد معدني النوع التعزيزي. حيث يمثل الرمز الأول ترانزستور أكسيد معدني معززاً ذا قناة سالبة، بينما يمثل الرمز الثاني ترانزستور أكسيد معدني معززاً ذا قناة موجبة.



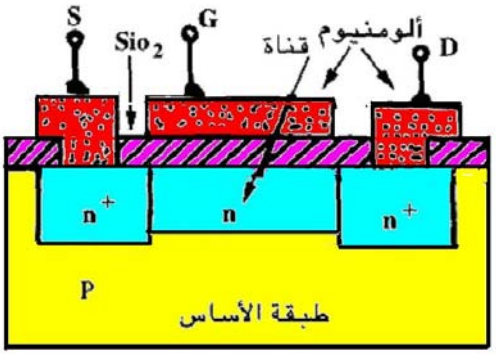
شكل (19)
التركيب البلوري لترانزستور MOSFET النوع التعزيزي



شكل (20)
رموز ترانزستور MOSFET النوع التعزيزي

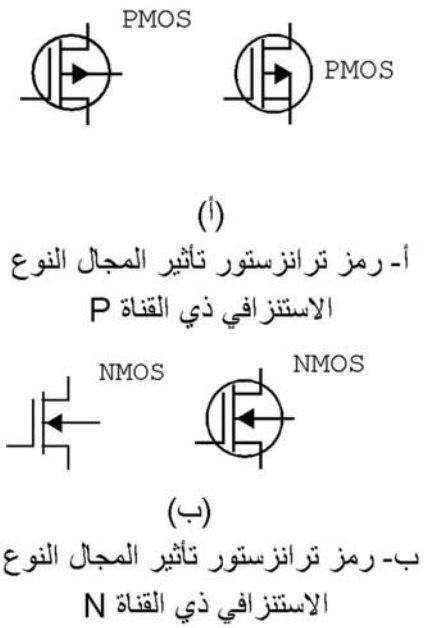
ب-النوع الاستنزافي Depletion type

يتـركب الترانزسـتور MOSFET الـنوع الاستنزافي شكل (21) من طبقة أساس من المادة (P) يطعم فيها النوع (n) والتي تشكل طرفي المنبع والمصرف، ويتم نشر طبقة سالبة بين المنبع والمصرف لتشكيل القناة، ويوصل جهد سالب بالبوابة فتتولد شحنات موجبة تؤدي إلى استنزاف حاملات الشحنة السالبة (الإلكترونات) في الطبقة السالبة المشكلة للقناة، فيقل تيار المصرف كلما زادت الفولتية السالبة على البوابة، أما إذا وصلت فولتية موجبة بالبوابة بدلا عن الفولتية السالبة فإن ذلك يؤدي إلى زيادة الإلكترونات في القناة فتزداد موصليتها، وبذلك يعمل الترانزستور عمل ترانزستور تعزيزي ذي قناة سالبة.



شكل (21)
التركيب البلوري لترانزستور MOSFET النوع الاستنزافي

يبين شكل (22) رموزاً لترانزستور تأثير المجال نوع الأكسيد المعدني النوع الاستنزافي. حيث يمثل الرمز الأول ترانزستور أكسيد معدني استنزافياً ذا قناة موجبة، بينما يمثل الرمز الثاني ترانزستور أكسيد معدني استنزافياً ذا قناة سالبة.



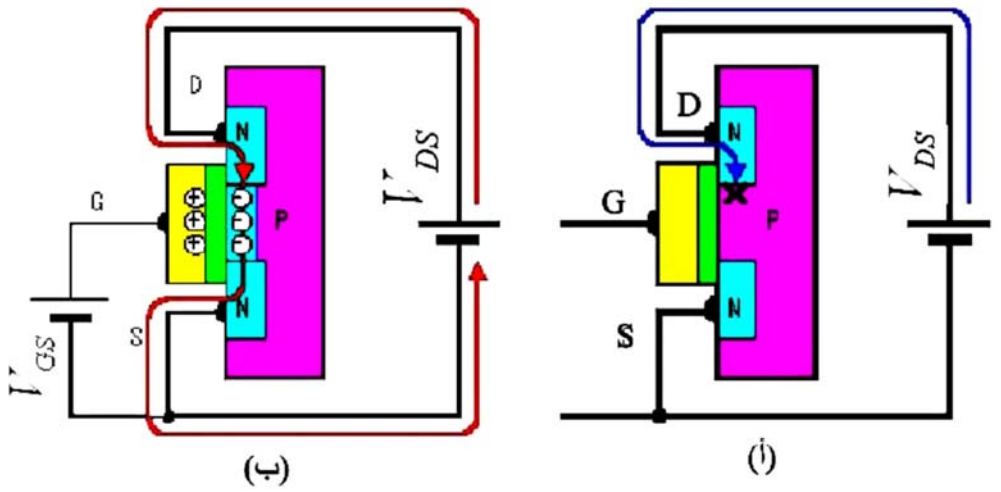
شكل (22)
رموز ترانزستور MOSFET النوع الاستنزافي

2-2-1 آلية عمل ترانزستور تأثير المجال الأكسيد معدني شبه الموصل MOSFET:

أ- النوع التعزيزي The Enhancement ذو القناة N:

تكون المقاومة بين المنبع والمصرف عالية في هذا النوع عندما لا توجد فولتية على البوابة (V_{GS}) ، وتتكون سعة بين البوابة والقناة اللتين تعزل بينهما طبقة الأكسيد.شكل (23- أ)، فإذا وصلت طبقة الأساس بأرضي الترانزستور وطبقت فولتية موجبة على البوابة يتولد مجال كهربائي خلال الطبقة العازلة يؤدي إلى تولد شحنات سالبة تتناسب طرديا مع قيمة الفولتية على البوابة، وينتج من ذلك زيادة عدد الإلكترونات حاملة الشحنة في طبقة الأساس فتزداد ناقلية المادة بين المنبع والمصرف، مما يؤدي إلى تشكيل قناة بينهما وقد سمي هذا النوع التعزيزي لأن الفولتية الموجبة على البوابة تعزز التيار.

أي أنه عند تطبيق فرق جهد بين المصرف والمنبع (V_{GS}) .كما هو مبين في الشكل (23- ب). فإن قيمة التيار (I_D) المار خلال القناة التأثيرية تعتمد على قيمة الجهد (V_{GS}) وعلى ناقلية القناة التأثيرية.وعند ثبات قيمة الجهد (V_{GS}) فإن قيمة التيار (I_D) تزيد قيمة جهد البوابة وهو ما يعني تحسن قيمة التيار باستخدام جهد البوابة الموجب.



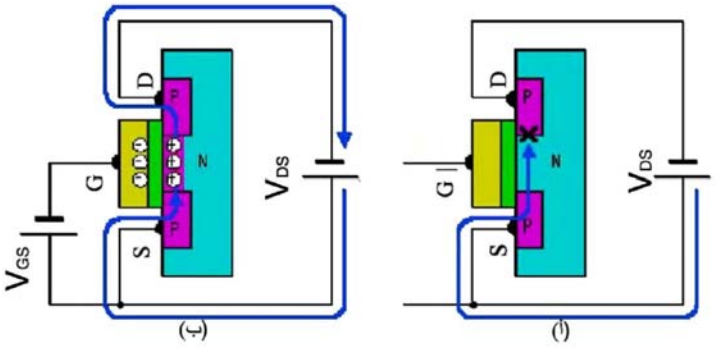
أ- عند عدم تطبيق جهد (V_{GS})

ب- عند تطبيق جهد (V_{GS})

شكل (23)

آلية عمل الترانزستور MOSFET النوع التعزيزي ذو القناة N

أما في حالة استخدام ترانزستور من النوع التعزيزي ذي القناة (p). فإن التحسين في قيمة التيار يكون عند تطبيق جهد سالب على البوابة. شكل (24).



أ- عند عدم تطبيق جهد (V_{GS})

ب- عند تطبيق جهد (V_{GS})

شكل (24)

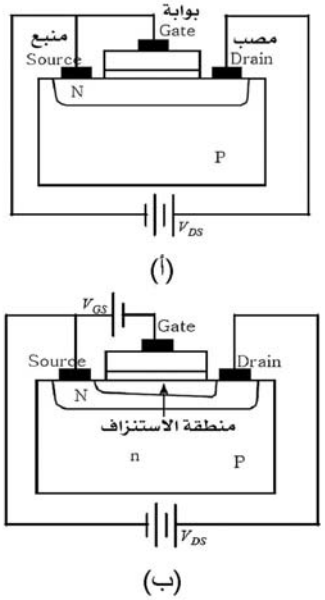
آلية عمل الترانزستور MOSFET النوع التعزيزي ذي القناة P

ب- النوع الاستنزافي :

The Depletion MOSFET

في حالة عدم تطبيق أي جهد بين البوابة والمنبع $(V_{GS}=0)$ تمر الإلكترونات بين المنبع و المصرف مكونة تيار المصرف (I_D) شكل (25- أ).

بتطبيق جهد سالب على البوابة (V_{GS}) يحدث استنزاف للإلكترونات الموجودة بالقناة (N) وذلك نتيجة لحقن الشحنات الموجبة(الفجوات) خلال القناة والتي تتحد مع الإلكترونات الموجودة بالقناة و نتيجة لتطبيق الجهد السالب على البوابة يتم استنزاف وإفراغ القناة من الإلكترونات وهذا هو سبب تسمية هذا النوع بالنوع الاستنزافي أو الإفراغي شكل (25- ب).



أ- عند عدم تطبيق جهد (V_{GS})

ب- عند تطبيق جهد (V_{GS})

شكل (25)

التركيب البلوري لترانزستور MOSFET النوع الاستنزافي

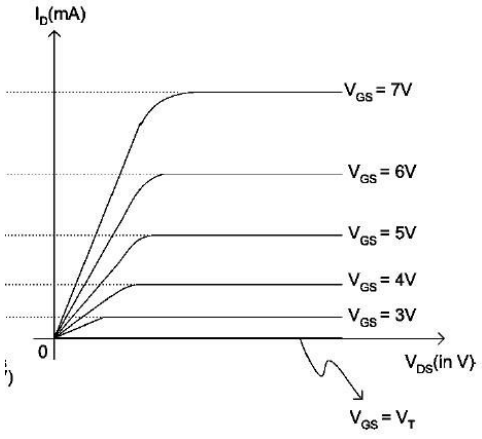
1-2-3- منحنيات الخواص لترانزستور تأثير المجال الأكسيد معدني شبه الموصل:

أ- منحنيات الخواص لترانزستور تأثير المجال الأكسيد معدني شبه الموصل النوع التعزيزي:

Enhancement MOSFET Characteristics

- منحنى خواص المصرف :

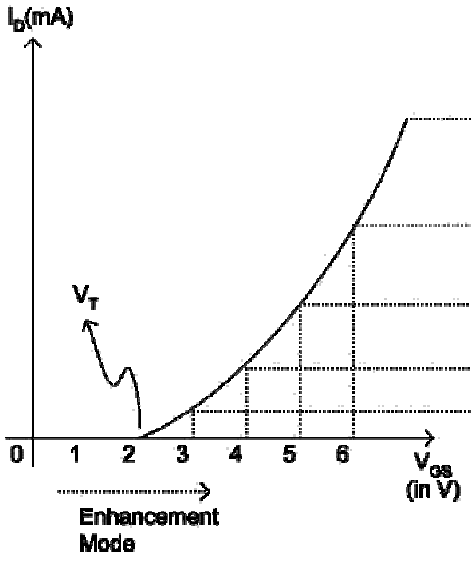
يوضح شكل (26) منحنيات خواص المصرف أو الخرج للنوع التعزيزي لترانزستور MOSFET. ونلاحظ منه أنه كلما زادت قيمة الجهد (V_{GS}) فإن قيمة التيار (I_D) تثبت تقريبا عند قيم أقل للجهد (V_{GS}).



شكل (26)
منحنى خواص المصرف

- منحنى خواص التحويل (منحنى الخواص الانتقالية):

يبين شكل (27) منحنى خواص التحويل، ومنه نلاحظ أن قيمة التيار (I_D) تكون صغيرة جدا إذا كانت قيمة جهد البوابة أقل من قيمة الجهد الفاصل. ولكن بعد الجهد الفاصل يزداد التيار بقيم كبيرة ولذلك يمكن استخدام هذا النوع من الترانزستور كمفتاح، حيث لا يمرر تياراً كهربائياً بقيم ملحوظة إلا إذا وصل الجهد إلى قيمة الجهد الفاصل $(V_{GS} = V_T)$.

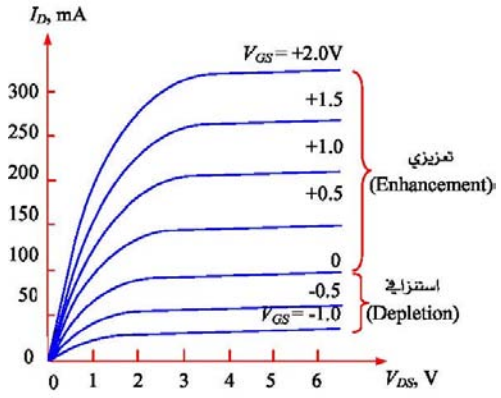


شكل (27)
منحنى خواص التحويل (منحنى الخواص الانتقالية)

ب- منحنيات الخواص لترانزستور تأثير المجال الأكسيد معدني شبه الموصل النوع الاستنزافي:

Depletion MOSFET Characteristics

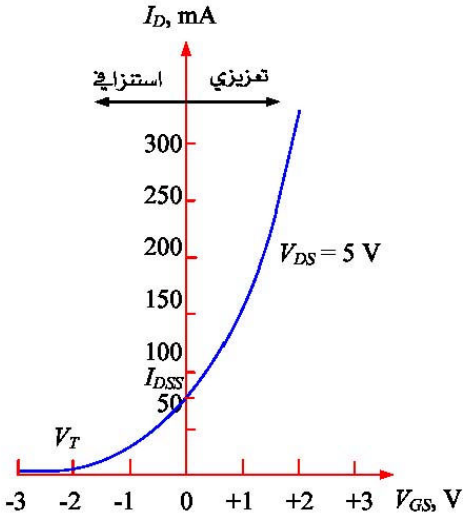
يبين شكل (28) منحنيات خواص الخرج لترانزستور MOSFET للنوع الاستنزافي ذي القناة (N).



شكل (28)
منحنى خواص الخرج

يبين شكل (29) منحنى التحويل لترانزستور MOSFET للنوع الاستنزافي ذي القناة N. ونلاحظ من هذه المنحنيات أنه كلما ازداد الجهد الموجب المطبق على البوابة أصبحت القناة أقل ناقلية، وبالتالي يقل (يستنزف) تيار المصرف.

أما إذا طبقنا جهداً موجبا على البوابة فإن طبقة تأثيرية من الإلكترونات تتشكل في القناة السالبة أصلا مما يزيد من ناقليتها وبالتالي يزداد (يتحسن) تيار المصرف.



شكل (29)
منحنى التحويل للنوع الاستنزافي لترانزستور MOSFET

4-2-1 مواصفات الترانزستور MOSFET :

يبين جدول (2) مواصفات الترانزستور MOSFET من حيث التيارات والكسب والتردد الأعظمي والأطراف.

جدول (2)

مواصفات الترانزستور MOSFET

الترانزستور Transistor	النوع Type	أقصى جهد Max. Vds	تيار المصرف الأعظمي Max. Id	القدرة العظمى Max. Diss.	الربح (الكسب) Gain	التردد الأعظمي Max. Freq.	الضجيج Noise Figure	شكل الغلاف Case
3SK263	N-CH Dual Gate MOSFET	15V	30mA	200mW	21dB@ 200MHz	WIN *Transceiver*	1,1dB@ 200MHz	SOT-143
3SK264	N-CH Dual Gate MOSFET	15V	30mA	200mW	23dB@ 200MHz	WIN *Transceiver*	1,1dB@ 200MHz	SOT-143
BF543	N-CH MOS-FET	20V	30mA	200mW	22dB@ 200MHz	300MHz	1dB @ 200MHz	SOT-23
BF966S	N-CH Dual Gate MOSFET	20V	30mA	200mW	25dB@ 200MHz	2GHz	1dB@ 200MHz	TO-50

5-2-1 مميزات الترانزستور MOSFET :

وتمتاز ترانزستورات تأثير المجال نوع الأكسيد المعدني (MOSFET) بما يأتي:

أ. البوابة معزولة عن المنبع والمصرف، لذا يعد تيار الدخل صفرا.

ب. مقاومة الدخل لها عالية جدا.

ج. تصنيعها أسهل من الترانزستور ثنائي الوصلة.

د. المساحة التي تحتلها عند صنعتها داخل دارة متكاملة صغيرة جدا.

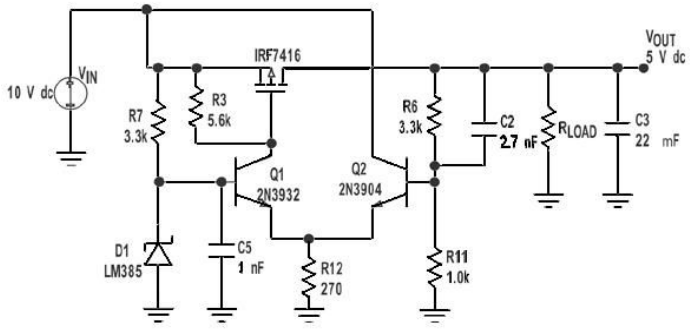
هـ. مقاومة الدخل في النوع الاستنزافي عالية، ولا تتأثر بقطبية الانحياز على البوابة سواء أكان أماميا أم عكسيا، لذا تستخدم في التضخيم دون انحياز ثابت.

و. يستخدم النوع التعزيزي كمفتاح في الدارات المتكاملة لأنه لا يوصل إلا في حالة الانحياز الأمامي.

ز. ولترانزستور MOSFET أهمية تجارية أكثر من ترانزستور تأثير المجال الوصلي حيث إنه يمتاز بصغر حجمه مما يشكل ميزة عند استخدامه في الدوائر المتكاملة (Integrated Circuits). وله مقاومة دخل كبيرة نظراً لوجود الطبقة العازلة المتمثلة في طبقة ثاني أكسيد السيلكون.

7-2-1 آلية عمل دارة منظم جهد باستخدام ترانزستور MOSFET:

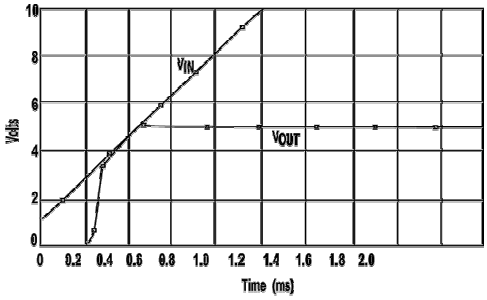
منظم الجهد يستخدم في كثير من التطبيقات وذلك لأن الخرج يظل ثابتا في الدارة شكل(30).



شكل (30)

دارة منظم جهد باستخدام ترانزستور MOSFET

- عند ازدياد جهد الدخل Vi فإن تياراً صغيراً عبر المقاومة R3 يسبب فتح الترانزستور IRF7416 حيث يكون الفقد على الترانزستور حوالي 15mV عندما يكون الدخل من 3.5 – 5 فولت.
- عند زيادة جهد الدخل عن 5 فولت فإن الترانزستور Q2 يفتح معتمداً على مجزئ الجهد المكون من R6/R11.
- ومهما زاد الجهد على الترانزستور IRF7416 فإن التيار يظل ثابتاً، ويعتمد جهد الخرج على دقة ثنائي.
- المقاومة R7 التي تمرر تياراً صغيراً يؤدي إلى فتح الترانزستور Q1 ويكون الخرج هو عبارة عن الجهد على ثنائي زينر مع ثبات التيار.
- المكثفات تمنع مركبات التيار المستمر من المرور إلى الأرض.
- وبذلك فإننا نستنتج أنه عندما يبدأ جهد الدخل بالزيادة عن خمسة فولت فإن جهد الخرج يظل ثابت القيمة عند خمسة فولت $V_{out} = 5volt$ كما هو مبين بمنحنى الخرج شكل (31).



شكل (31)

منحنى خرج باستخدام ترانزستور MOSFET

2- قواعد الأمن و السلامة المهنية:(safety & vocational Rules)

1- ارتداء ملابس العمل والوقاية الشخصية.
2- تنظيم وترتيب مكان العمل.
3- قراءة تعليمات وإرشادات الشركات الصانعة.
4- فصل التغذية الكهربائية قبل توصيل أية تجربة واستدعاء المشرف على التدريب.
5- عند توصيل الدارات الإلكترونية لا تترك العناصر والأسلاك دون تثبيت فقد يؤدى ذلك إلى توليد نبضات شاردة تؤدي إلى إتلاف العناصر الإلكترونية.
6- راجع التوصيلات واتجاه تركيب القطع الإلكترونية قبل استخدامها لأن تغيير الاتجاه يؤدي فورا إلى إتلاف العناصر ويؤدي إلى حرائق أحيانا أو انفجار للقطع الإلكترونية مثل المكثفات والثنائيات والدارات المتكاملة.
7- يجب الحذر عند تداول ترانزستور MOSFET لكي لا تسبب أية شحنة كهربائية لجسم الإنسان عطب الترانزستور، لأن وجود شحنة صغيرة بين بوابة ترانزستور الأكسيد المعدني وأحد طرفيه الآخرين تولد فولتية عالية بسبب مقاومة دخله العالية.
8- أرض كاوي اللحام عند تثبيت الترانزستور للحفاظ عليه من التلف.

الجزء الثاني

تمـــارين التـــدريـب العملـــي

اسم التمرين: بناء دارة مقطع إشارة باستخدام ترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET. **رقـم التمرين: (1)**

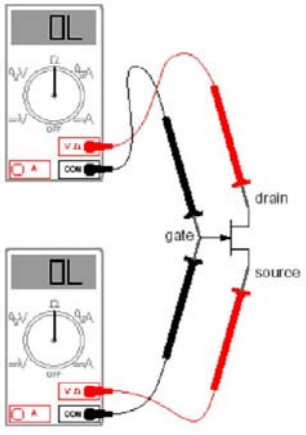
الأهداف التدريبية: يتوقع أن يصبح المتدرب قادراً على أن:

1- يفحص عناصر دارة مقطع إشارة باستخدام ترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET.
2- يبني دارة مقطع إشارة باستخدام ترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET.
3- يقيس متغيرات الدارة (جهود – إشارات).
4- يسجل نتائج القياس.

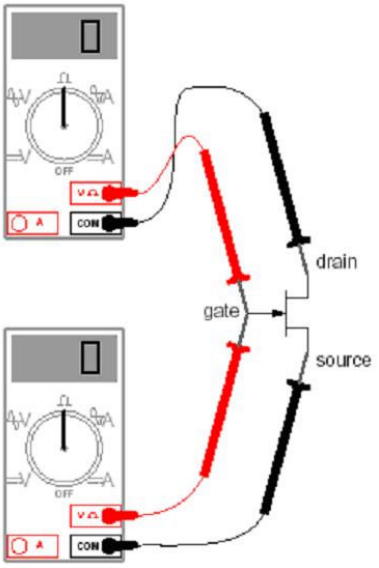
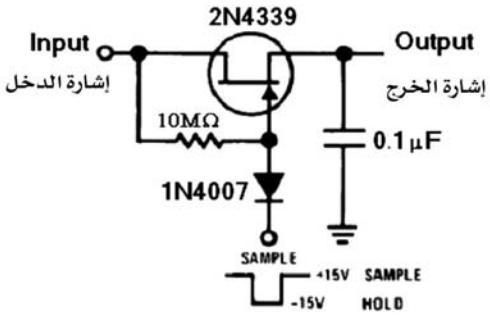
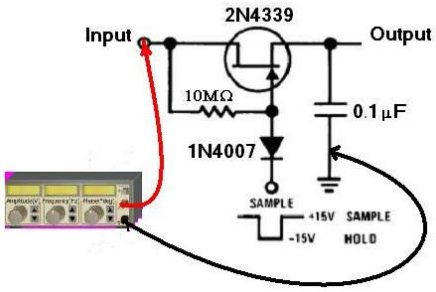
التجهيزات والتسهيلات التدريبية اللازمة:

1- جهاز أفوميتر.
2- أسلاك توصيل.
3- جهاز أوسلوسكوب..
4- جهاز مولد إشارة.
5- مصدر تغذية من 0 إلى 30 فولت AC/DC.
6- ترانزستور 2N4339.
7- مكثف 0.1µF
8- مقاومة 10MΩ
9- ثنائي 1N4007

خطوات تنفيذ التمرين:

الخطوات والنقاط الحاكمة	الرسومات التوضيحية
1- افحص الترانزستور JFET كما يلي : أ- ضع جهاز الأفوميتر على مجال الأوم ثم صل الطرف السالب للأوميتر كما في شكل (32) بالبوابة والطرف الموجب بالمصرف والمنبع فإن جهاز الأفوميتر يشير إلى ما لانهاية (أو مقاومة عالية) ولا يوجد توصيل خلال قناة البوابة.	

شكل (32)
فحص الترانزستور FET

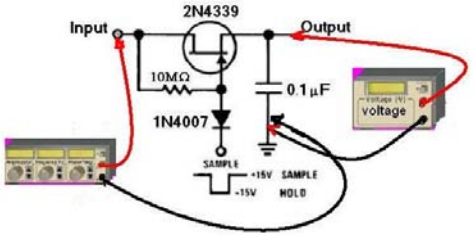
الخطوات والنقاط الحاكمة	الرسومات التوضيحية
ب- صل أجهزة القياس بحيث يوضع مجال القياس على الأوم كما في الشكل (33)، ولاحظ أن المؤشر يشير إلى صفر أوم (أو مقاومة صغيرة) أي أنه يوجد توصيل خلال وصلة البوابة. ج- في حالة القراءات المختلفة استبدل الترانزستور.	
	شكل (33)
2- افحص عناصر الدارة الأخرى باستخدام الأفوميتر. 3- صل دارة مقطع إشارة باستخدام ترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET شكل (34).	
	شكل (34)
4- صل جهاز مولد الإشارة بدارة مقطع الإشارة شكل (35). 5- عاير مولد الإشارة على إشارة جيبية 4Vp-p/1kHz. 6- أدخل إشارة مربعة (العينة) من مولد الإشارة عبر الثنائي 15-/15 فولت.	
	الشكل (35)

الخطوات والنقاط الحاكمة	الرسومات التوضيحية

7- صل جهاز قياس الجهد بالدارة شكل (36).

8- قس جهد إشارة الخرج باستخدام الأفوميتر

$V_o = ...$.



شكل (36)

9- صل جهاز الأوسلوسكوب بالدارة بحيث يتم توصيل القناة الأولىCH1 إلى الدخل والقناة CH2 إلى الخرج شكل (37).

10- ارسم شكل موجة الدخل كما تراها على شاشة الأوسلوسكوب.

11- قس واحسب تردد إشارة الدخل

$f = \frac{1}{T} = ...$.

12- قس واحسب جهد الدخل من القمة إلى القمة

$V_{P-P} = ...$.

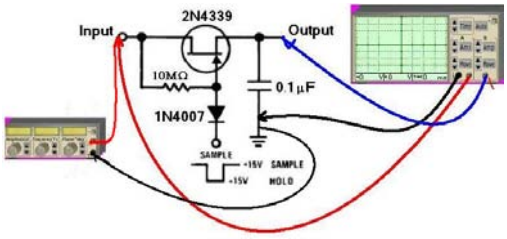
13- ارسم شكل إشارة الخرج كما تراها على شاشة الأوسلوسكوب.

14- قس واحسب تردد إشارة الخرج

$f_o = \frac{1}{T} = ...$.

15- قس واحسب جهد إشارة الخرج من القمة إلى القمة $V_{P-P} = ...$.

16- سجل نتائج القياس في الجدول (3).



شكل (37)

جدول (3)

جدول النتائج

القيم المحسوبة	القيم المقاسة
	جهد الخرج $V_o = ...$
تردد إشارة الدخل $f_i = \frac{1}{T} = ...$	فترة إشارة الدخل $T = ...$
$f_o = \frac{1}{T} = ...$	فترة إشارة الخرج $T = ...$

اسم التمرين: بناء دارة مكبر إشارة باستخدام ترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET. **رقـم التمرين: (2)**

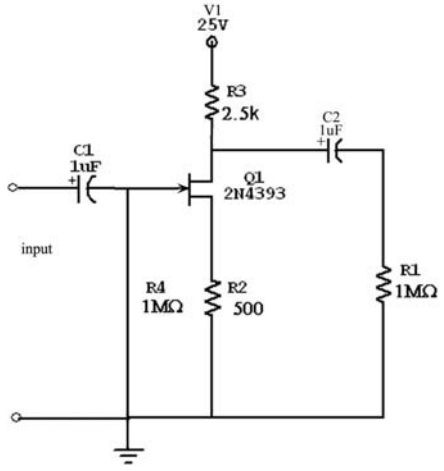
الأهداف التدريبية: يتوقع أن يصبح المتدرب قادراً على أن:

1- يفحص عناصر دارة مكبر إشارة باستخدام JFET .
2- يبني دارة مكبر إشارة باستخدام JFET .
3- يقيس متغيرات الدارة (جهود – إشارات).
4- يسجل نتائج القياس.

التجهيزات والتسهيلات التدريبية اللازمة:

1- جهاز أفوميتر.
2- أسلاك توصيل.
3- جهاز أوسلوسكوب.
4- مصدر تغذية من 0 إلى 30 فولت AC/DC
5- ترانزستور 2N4393
6- مكثف 0.1µF عدد اثنان.
7- مقاومات,500Ω,2.5kΩ,
8- مقاومة 1MΩ عدد اثنان.
9- جهاز مولد إشارة

خطوات تنفيذ التمرين:

الخطوات والنقاط الحاكمة	الرسومات التوضيحية
1- افحص عناصر الدارة باستخدام الأفوميتر. 2- استبدل العناصر التالفة. 3- صل دارة مكبر إشارة باستخدام ترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET كما في الشكل (38) .	

شكل (38)

الخطوات والنقاط الحاكمة	الرسومات التوضيحية

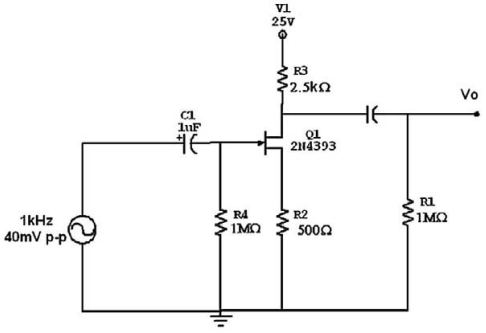
4- صـــل جهـــاز مـــولد الإشـــارة بتردد 1kHz 40mVp-p/ شكل (39).

5- صـــل أجهـــزة قـــياس الجهـــد بالـــدارة شكل (40).

6- قس جهد الدخل والخرج

$V_i = \ldots\ldots\ldots\ldots$

$V_o = \ldots\ldots\ldots\ldots .$



الشكل (39)

7- صـــل جهـــاز الأوسلوســـكوب بالـــدارة شكل (41) .

8- ارسم شكل موجة الدخل كما تراها على شاشة الأوسلوسكوب.

9- قس واحسب تردد إشارة الدخل

$f_i = \frac{1}{T} = \ldots\ldots\ldots\ldots .$

10- قـس جهـد الـدخل مـن القمـة إلـى القمـة

$V_{P-P} = \ldots\ldots\ldots\ldots .$

11- ارسم شكل إشارة الخرج كما تراها على شاشة الأوسلوسكوب.

12- قس واحسب تردد إشارة الخرج

$f_o = \frac{1}{T} = \ldots\ldots\ldots\ldots .$

13- سجل نتائج القياس .

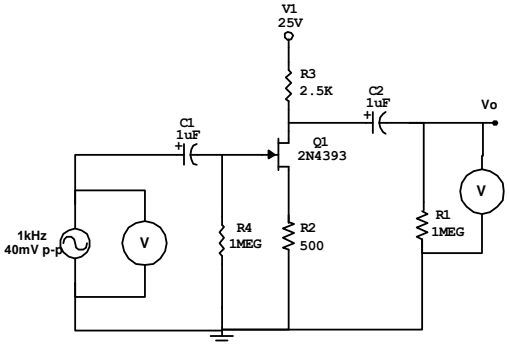
$V_i = \ldots\ldots\ldots\ldots$

$V_o = \ldots\ldots\ldots\ldots$

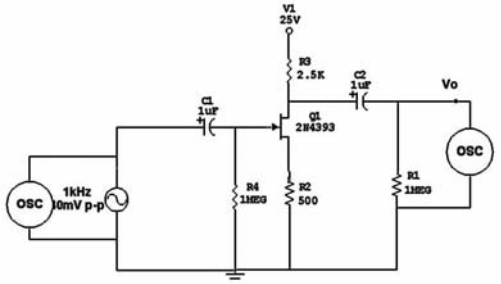
$V_{P-P} = \ldots\ldots\ldots\ldots$

$f_i = \ldots\ldots\ldots\ldots$

$f_o = \ldots\ldots\ldots\ldots$



الشكل (40)



شكل (41)

اسم التمرين: بناء دارة محدد التيار باستخدام ترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET. **رقـم التمرين: (3)**

الأهداف التدريبية: يتوقع أن يصبح المتدرب قادراً على أن:

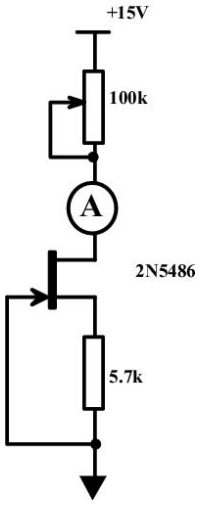
1- يفحص عناصر دارة محدد التيار باستخدام ترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET.
2- يبني دارة محدد التيار باستخدام ترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET .
3- يقيس الجهود للدارة .
4- يسجل نتائج القياس.

التجهيزات والتسهيلات التدريبية اللازمة:

1- جهاز أفوميتر.
2- أسلاك توصيل.
3- ترانزستور 2N5486
4- مقاومة متغيرة 5.7kΩ
5- مقاومة ثابتة،100kΩ
6- مصدر تغذية من 0 إلى 30 فولت AC/DC

خطوات تنفيذ التمرين:

الخطوات والنقاط الحاكمة	الرسومات التوضيحية
1- افحص عناصر الدارة باستخدام الأفوميتر. 2- استبدل العناصر التالفة. 3- صل الدارة كما في الشكل (42).	



الشكل (42)

الخطوات والنقاط الحاكمة	الرسومات التوضيحية

4- غير قيمة المقاومة المتغيرة من 20KΩ إلى القيمة العظمى للمقاومة 100kΩ ،بزيادة 20كيلو أوم في كل مرة.

5- قس التيار عند كل قيمة للمقاومة وسجل قيمة التيار في الجدول (4).

جدول (4)
جدول النتائج

R KΩ	قيمة التيار المار في الدارة
20	
40	
60	
80	
100	

اسم التمرين: بناء دارة مازج باستخدام ترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET. **رقـم التمرين: (4)**

الأهداف التدريبية: يتوقع أن يصبح المتدرب قادراً على أن:

1- يفحص عناصر دارة مازج باستخدام ترانزستور JFET.
2- يبني دارة مازج باستخدام ترانزستور JFET.
3- يقيس جهود الدارة (جهود – إشارات).
4- يسجل نتائج القياس.

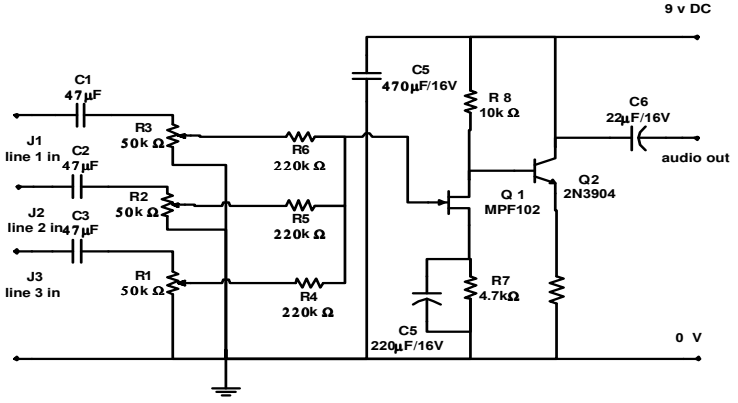
التجهيزات والتسهيلات التدريبية اللازمة:

1- جهاز أفوميتر .
2- أسلاك توصيل.
3- جهاز أوسلوسكوب.
4- مصدر تغذية من 0 إلى 30 فولت AC/DC.
5- ترانزستور Q1 MPF102 نوع FET.
6- ترانزستور Q2 2N3904 أو ما يعادله نوع NPN.
7- مقاومات 50K عدد ثلاث.
8- مقاومات 10KΩ ، 4.7 KΩ
9- مقاومات 220K ohm /1/4W عدد ثلاث.
10- مكثفات C1,C2,C3 47µF/100V غير قطبية وغير كيمائية.
11- مكثف C4 220µF/16V كيمائي.
12- مكثفC5 470µF/16V كيمائي.
13- مكثف C6 22µF/16V كيمائي.

خطوات تنفيذ التمرين:

الخطوات والنقاط الحاكمة	الرسومات التوضيحية

1- افحص عناصر الدارة باستخدام الأفوميتر.
2- استبدل العناصر التالفة.
3- ابن الدارة كما في الشكل (43).



شكل (43)

الخطوات والنقاط الحاكمة	الرسومات التوضيحية

4- صـــل أجهـــزة تولـــيد الإشـــارة بالـــدارة شكل (44).

5- اضبط مولدات الإشارة على :

1- 5Vp-p/1kHz

2- 5Vp-p/20kHz

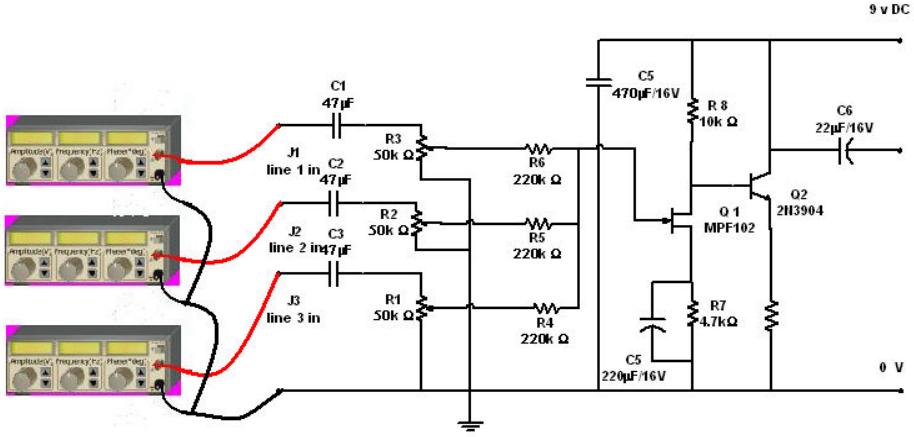
3- 5Vp-p/50kHz

6- صـل جهـاز راسـم الإشـارة بالـدارة لقـياس إشارات الدخل شكل (45).

7- اضـبط المقاومـات المتغيـرة لتحـصل علـى أوضح إشارة في الخرج.

8- ارسم إشارة الدخل على ورق مربعات .

9- احسب تردد وجهد إشارات الدخل .



شكل (44)

الخطوات والنقاط الحاكمة	الرسومات التوضيحية

10- صل جهاز راسم إشارة آخر بنقطة الخرج شكل (45).

11- ارسم إشارة الخرج على ورق مربعات.

12- احسب تردد وجهد إشارة الخرج .

13- سجل نتائج الحساب والقياسات الآتية:

$$V_{i1} = ...$$

$$V_{i2} = ...$$

$$V_{i3} = ...$$

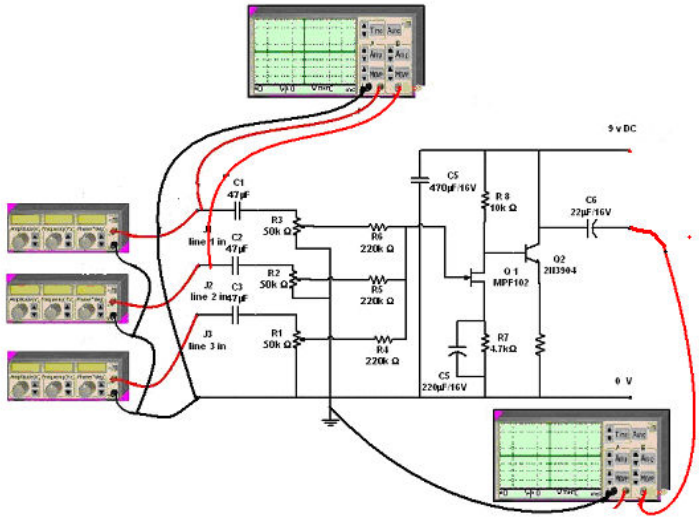
$$f_{i1} = ...$$

$$f_{i2} = ...$$

$$f_{i3} = ...$$

$$V_o = ...$$

$$f_o = ...$$



شكل (45)

اسم التمرين: بناء دارة منظم جهد باستخدام ترانزستورMOSFET. رقـم التمرين: (5)

الأهداف التدريبية: يتوقع أن يصبح المتدرب قادراً على أن:

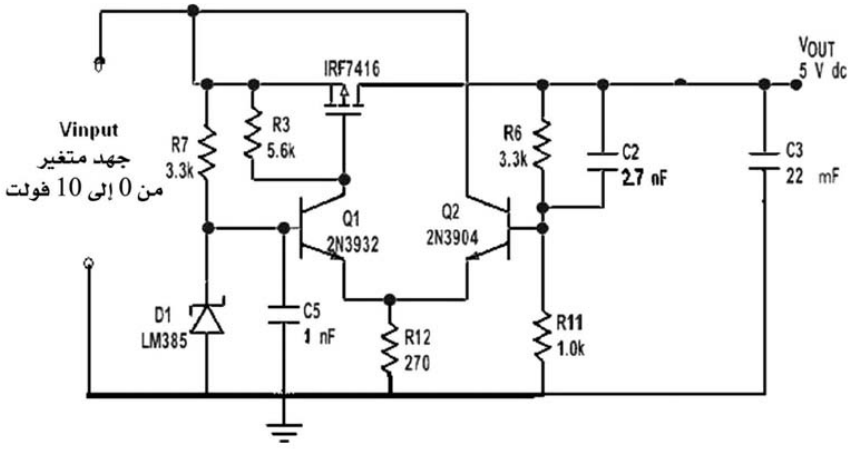
1- يفحص عناصر دارة منظم جهد باستخدام ترانزستور MOS .
2- يبني دارة منظم جهد باستخدام ترانزستور MOS .
3- يقيس متغيرات الدارة (جهود – إشارات).
4- يسجل نتائج القياس.

التجهيزات والتسهيلات التدريبية اللازمة:

1- جهاز أفوميتر.
2- أسلاك توصيل.
3- جهاز أوسلوسكوب.
4- مولد قدرة من 0 إلى 30 فولت AC/DC.
5 ثنائي LM385.
6- ترانزستور تأثير المجال IRF7416.
7- ترانزستور ثنائي الوصلة 2N3932 عدد اثنان.
8- مقاومات ,3.3kΩ عدد اثنتان.
9- مقاومات 5.6kΩ,270Ω,1kΩ
10 مكثفات 2.7nF,1nF,22µF

خطوات تنفيذ التمرين:

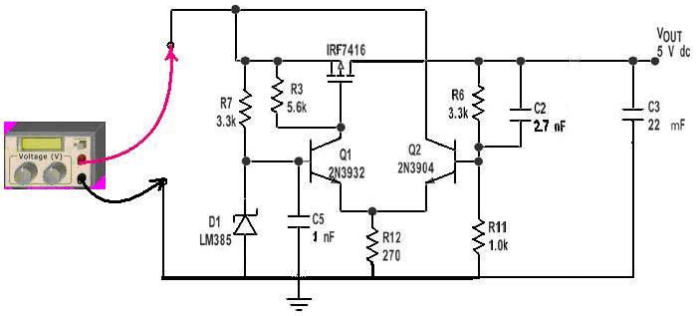
الخطوات والنقاط الحاكمة	الرسومات التوضيحية
1- افحص عناصر الدارة باستخدام الأفوميتر.	
2- استبدل العناصر التالفة.	
3- ابن الدارة كما في الشكل (46).	



شكل (46)

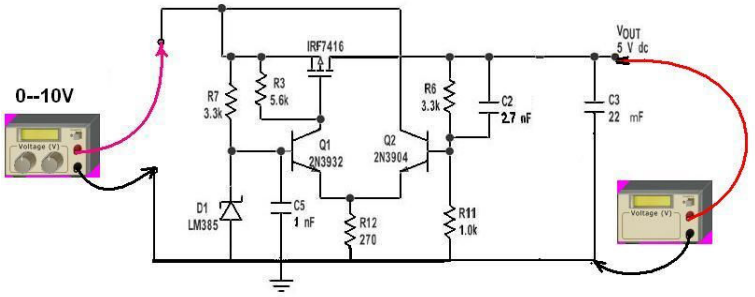
الخطوات والنقاط الحاكمة	الرسومات التوضيحية

4- صل جهاز مولد التغذية بالدارة شكل (47).



الشكل (47)

5- غير قيمة جهد الدخل بالدارة من 0-10فولت
وقس جهد الخرج عند كل قيمة لجهد الدخل
شكل (48)



شكل (48)

6- سجل النتائج في جدول (5).

7- ارسم علاقة جهد الخرج مع تغير جهد الدخل.

جدول(5)

نتائج القياسات

جهد الخرج بالفولت	جهد الدخل المطبق بالفولت
	1
	2
	3
	4
	5
	6
	7
	8
	9
	10

الجزء الثالث

تمـــارين الممارســـة العمليـــة

اسم التمرين: بناء دارة مقطع إشارة باستخدام ترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET. **رقـم التمرين: (1)**

الأهداف التدريبية: يتوقع أن يصبح المتدرب قادراً على أن:

1- يفحص عناصر دارة مقطع إشارة باستخدام ترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET.
2- يبني دارة مقطع إشارة باستخدام ترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET .
3- يقيس متغيرات الدارة (جهود – إشارات).
4- يسجل نتائج القياس.

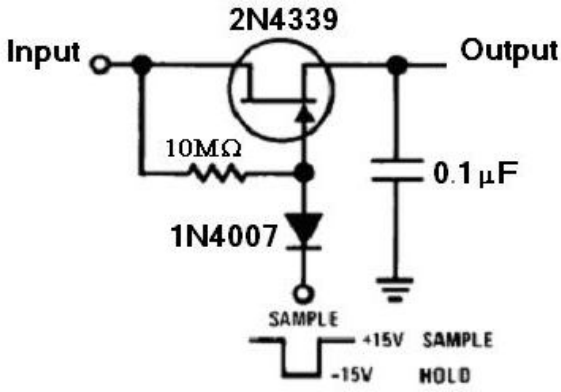
التجهيزات والتسهيلات التدريبية اللازمة:

1- جهاز أفوميتر.
2- أسلاك توصيل.
3- جهاز أوسلوسكوب.
4- مصدر تغذية من 0 إلى 30 فولت AC/DC
5- ترانزستور 2N4339
6- مكثف 0.1µF
7- مقاومة 10MΩ
8- ثنائي 1N4007

الإجراء المطلوب من المتدرب:

1- فحص عناصر دارة مقطع إشارة باستخدام ترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET .
2- بناء دارة مقطع إشارة باستخدام ترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET .
3- قياس متغيرات الدارة (جهود – إشارات).
4- تسجيل نتائج القياس .

الرسم التنفيذي للتمرين:



شكل (49)

اسم التمرين: بناء دارة مكبر إشارة باستخدام ترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET. **رقـم التمرين: (2)**

الأهداف التدريبية: يتوقع أن يصبح المتدرب قادراً على أن:

1- يفحص عناصر دارة مكبر إشارة باستخدام JFET .
2- يبني دارة مكبر إشارة باستخدام JFET .
3- يقيس متغيرات الدارة (جهود – إشارات).
4- يسجل نتائج القياس.

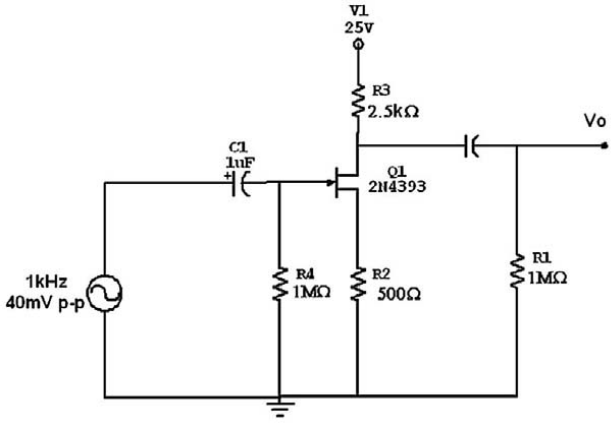
التجهيزات والتسهيلات التدريبية اللازمة:

1- جهاز أفوميتر.
2- أسلاك توصيل.
3- جهاز أوسلوسكوب.
4- مصدر تغذية من 0 إلى 30 فولت AC/DC
5- ترانزستور 2N4393
6- مكثف 0.1µF عدد اثنان
7- مقاومات,500Ω,2.5kΩ,
8- مقاومة 1MΩ عدد اثنتان
9- جهاز مولد إشارة

الإجراء المطلوب من المتدرب:

1- فحص عناصر دارة مكبر إشارة باستخدام JFET .
2- بناء دارة مكبر إشارة باستخدام JFET .
3- قياس متغيرات الدارة (جهود – إشارات).
4- تسجيل نتائج القياس .

الرسم التنفيذي للتمرين:



شكل (50)

اسم التمرين: بناء دارة محدد التيار باستخدام ترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET. **رقـم التمرين: (3)**

الأهداف التدريبية: يتوقع أن يصبح المتدرب قادراً على أن:

1- يفحص عناصر دارة محدد التيار باستخدام ترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET .
2- يبني دارة محدد التيار باستخدام ترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET.
3- يقيس الجهود للدارة .
4- يسجل نتائج القياس.

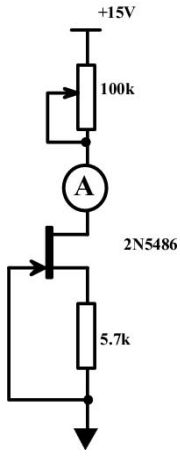
التجهيزات والتسهيلات التدريبية اللازمة:

1- جهاز أفوميتر.
2- أسلاك توصيل .
3- ترانزستور 2N5486
4- مقاومة متغيرة 5.7kΩ
5- مقاومة ثابتة،100kΩ
6- مصدر تغذية من 0 إلى 30 فولت AC/DC

الإجراء المطلوب من المتدرب:

1- فحص عناصر دارة محدد التيار باستخدام ترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET .
2- بناء دارة محدد التيار باستخدام ترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET .
3- قياس الجهود للدارة .
4- تسجيل نتائج القياس .

الرسم التنفيذي للتمرين:



شكل (51)

اسم التمرين: بناء دارة مازج باستخدام ترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET. **رقـم التمرين: (4)**

الأهداف التدريبية: يتوقع أن يصبح المتدرب قادراً على أن:

1- يفحص عناصر دارة مازج باستخدام ترانزستور MOSFET.
2- يبني دارة مازج باستخدام ترانزستور MOSFET.
3- يقيس جهود الدارة (جهود – إشارات).
4- يسجل نتائج القياس.

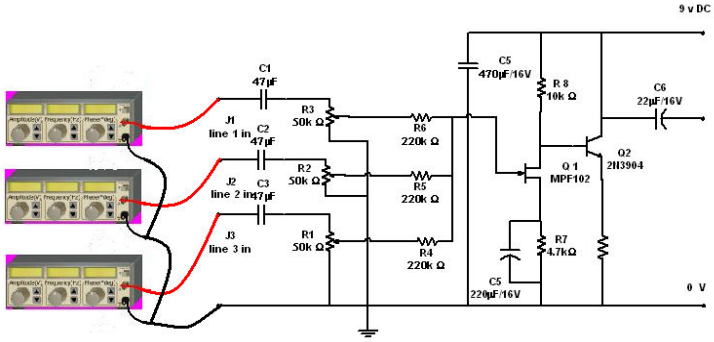
التجهيزات والتسهيلات التدريبية اللازمة:

1- جهاز أفوميتر.
2- أسلاك توصيل.
3- جهاز أوسلوسكوب.
4- مصدر تغذية من 0 إلى 30 فولت AC/DC
5- ترانزستور Q1 MPF102 نوع FET
6- ترانزستور Q2 2N3904 أو ما يعادله نوع NPN
7- مقاومات 50K عدد ثلاث
8- مقاومات 10KΩ ، 4.7 KΩ
9- مقاومات220K ohm/1/4W عدد ثلاث.
10- مكثفات C1,C2,C3 47µF/100V غير قطبية وغير كيمائية.
11- مكثف C4 220µF/16V كيمائي.
12- مكثفC5 470µF/16V كيمائي.
13- مكثف C6 22µF/16V كيمائي.

الإجراء المطلوب من المتدرب:

1- فحص عناصر دارة مازج باستخدام ترانزستور MOSFET.
2- بناء دارة مازج باستخدام ترانزستور MOSFET.
3- قياس جهود الدارة (جهود – إشارات).
4- تسجيل نتائج القياس .

الرسم التنفيذي للتمرين:



شکل (52)

اسم التمرين: بناء دارة منظم جهد باستخدام ترانزستورMOSFET. رقـم التمرين: (5)

الأهداف التدريبية: يتوقع أن يصبح المتدرب قادراً على أن:

1- يفحص عناصر دارة منظم جهد باستخدام ترانزستور MOSFET .
2- يبني دارة منظم جهد باستخدام ترانزستور MOSFET .
3- يقيس متغيرات الدارة (جهود – إشارات).
4- يسجل نتائج القياس.

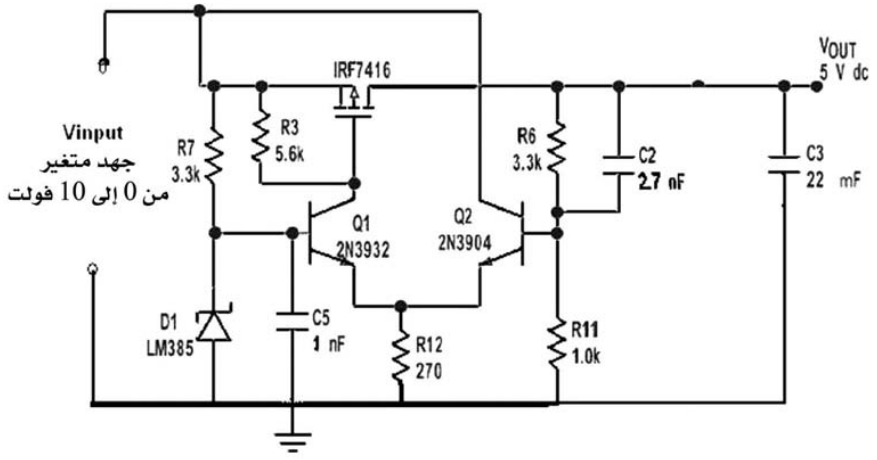
التجهيزات والتسهيلات التدريبية اللازمة:

1- جهاز أفوميتر.
2- أسلاك توصيل .
3- جهاز أوسلوسكوب.
4- مصدر تغذية من 0 إلى 30 فولت AC/DC
5 ثنائي LM385
6- ترانزستور تأثير المجال IRF7416
7- ترانزستور ثنائي الوصلة 2N3932 عدد اثنان.
8- مقاومات ,3.3kΩ عدد اثنتان
9- مقاومات 5.6kΩ,270Ω,1kΩ
10 مكثفات 2.7nF,1nF,22µF

الإجراء المطلوب من المتدرب:

1- فحص عناصر دارة منظم جهد باستخدام ترانزستور MOSFET.
2- بناء دارة منظم جهد باستخدام ترانزستور MOSFET.
3- قياس متغيرات الدارة (جهود – إشارات).
4- تسجيل نتائج القياس .

الرسم التنفيذي للتمرين:



شكل (53)

الجزء الرابع

تقـــويم الوحـــدة التدريبيـــة

الاختبـــار النظـــري

س1- ضع دائرة على الحرف الدال على الإجابة الصحيحة لكل عبارة مما يأتي:

1- ترانزستور تأثير المجال هو عنصر من عناصر أشباه الموصلات يتم التحكم به من خلال تغير:

أ- المجال الكهربائي.

ب- حاملات الشحنة.

جـ الجهد والتيار.

د- الفيض.

2 - عند رسم سهم للدخل في الرمز المنطقي للترانزستور JFET فإن ذلك يدل على أن :

أ- القناة من نوع N.

ب- القناة من نوع P.

ج- الترانزستور أحادى القطبية .

د- الترانزستور ثنائي القطبية.

3- عند زيادة الجهد العكسي في بوابة JFET إلى قيمة عالية فإنه :

أ- لا يمر تيار .

ب- يمر تيار عالي .

ج- ينهار الترانزستور.

د- يثبت تيار المصرف .

4- جهد الاختناق V_p هو الجهد الذي عنده ID :

أ- لا يمر

ب- يزيد

ج- يقل

د- يثبت

س2- أكمل الفراغات الآتية بالكلمة أو العبارة الصحيحة:

أ- المنبع هو طرف اللوح الذي تدخل من خلاله ..... في حالة الترانزستور ذي القناة الموجبة.

ب- المصرف هو طرف اللوح الذي تخرج من خلاله حاملات الشحنة الغالبية مكونة بذلك ..... الذي يرمز له بالرمزID .

ج- ترانزستورات تأثير المجال FET هي عبارة عن ترانزستورات أحادية .....

د- ترانزستورات تأثير المجال FET تعتمد على نوع واحد من حاملات الشحنة إما الإلكترونات أو .....

هـ- ترانزستور تأثير المجال الوصليJFET ذو القناة N ، حاملات الشحنة هي .....

س3- ضع علامة (✓) أمام العبارة الصحيحة ، وعلامة (X) أمام العبارة الخاطئة:

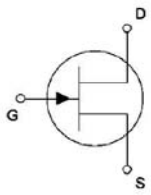
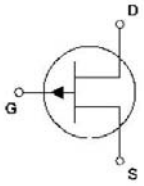
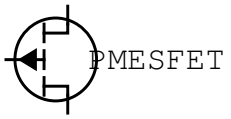
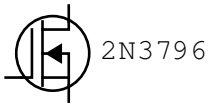
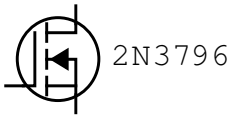
أ- في ترانزستور MOSFET النوع التعزيزي لا توجد قناة بين المصرف والمنبع . ( )

ب- ترانزستور MOSFET النوع الاستنزافي يعمل إذا طبق جهد موجب على البوابة. ( )

ج- V_{GS} هو الجهد بين البوابة بين المصرف والبوابة . ( )

د- I_D هو التيار المار من المنبع إلى المصرف . ( )

س4 ضع رقم رمز الترانزستور الصحيح من المجموعة (ب) أمام المسمى الصحيح له من المجموعة (أ):

المجموعة (أ)	المجموعة (ب)
(.....) ترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET ذو قناة موجبة.	-1 
(.....) ترانزستور تأثير المجال MOSFET النوع الاستنزافي ذو قناة موجبة .	-2 
(.....) ترانزستور تأثير المجال MOSFET النوع التعزيزي ذو قناة موجبة .	-3 
(.....) ترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET ذو قناة سالبة.	-4 
( ) ترانزستور تأثير المجال MOSFET النوع الاستنزافي ذو قناة سالبة .	-5
(.....) ترانزستور تأثير المجال MOSFET النوع التعزيزي ذو قناة سالبة .	-6 
	-7

الاختبـــار العملـــي

اسم الاختبار: بناء دارة مقطع إشارة باستخدام ترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET. **رقـم الاختبار: (1)**

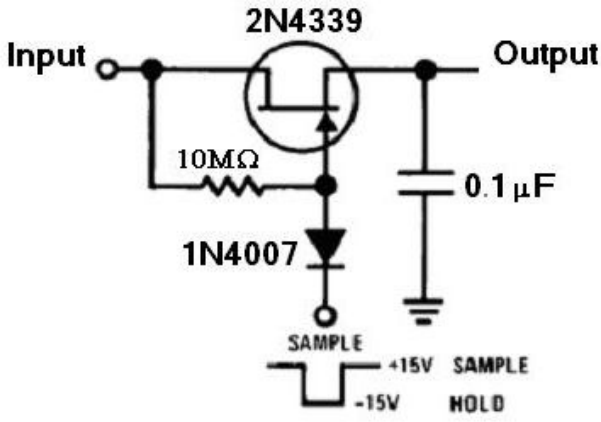
التجهيزات والتسهيلات التدريبية اللازمة:

1- جهاز أفوميتر .
2- أسلاك توصيل.
3- جهاز أوسلوسكوب.
4- مصدر تغذية من 0 إلى 30 فولت AC/DC
5- ترانزستور 2N4339.
6- مكثف 0.1µF
7- مقاومة 10MΩ
8- ثنائي 1N4007

الإجراء المطلوب من المتدرب:

1- يفحص عناصر دارة مقطع إشارة باستخدام ترانزستور JFET.
2- يبني دارة مقطع إشارة باستخدام ترانزستور JFET شكل (54).
3- يقيس متغيرات الدارة (جهود – إشارات).
4- يسجل نتائج القياس.

الرسم التنفيذي للاختبار:



شكل (54)

اسم الاختبار: بناء دارة مكبر إشارة باستخدام تأثير المجال الوصلي JFET. رقـم الاختبار: (2)

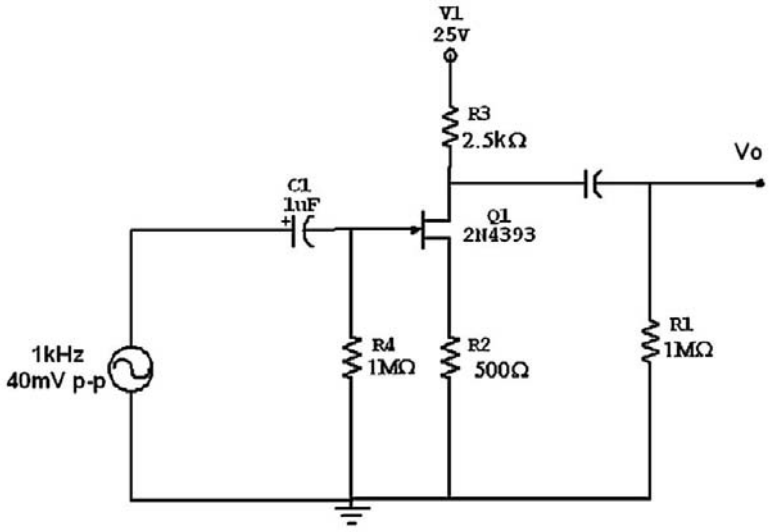
التجهيزات والتسهيلات التدريبية اللازمة:

1- جهاز أفوميتر
2- أسلاك توصيل
3- جهاز أوسلوسكوب
4- مصدر تغذية من 0 إلى 30 فولت AC/DC
5- ترانزستور 2N4393
6- مكثف 0.1µF عدد اثنان
7- مقاومات MΩ,500Ω,2.5kΩ,10 مقاومة 1MΩ عدد اثنتان
8- جهاز مولد إشارة

الإجراء المطلوب من المتدرب:

1- يفحص عناصر دارة مكبر إشارة باستخدام JFET
2- يبني دارة مكبر إشارة باستخدام JFET شكل (55)
3- يقيس متغيرات الدارة (جهود – إشارات)
4- يسجل نتائج القياس

الرسم التنفيذي للاختبار:



شكل (55)

اسم الاختبار: بناء محدد التيار باستخدام ترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET. **رقـم الاختبار: (3)**

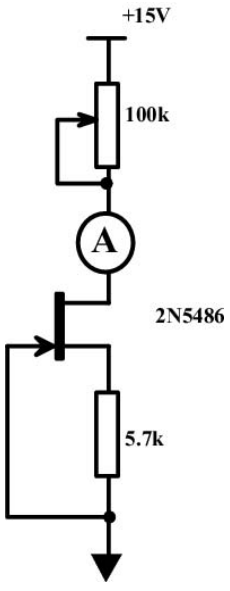
التجهيزات والتسهيلات التدريبية اللازمة:

1- جهاز أفوميتر
2- أسلاك توصيل
3- ترانزستور 2N5486
4- مقاومة متغيرة 5.7kΩ
5- مقاومة ثابتة،100kΩ
6- مصدر تغذية من 0 إلى 30 فولت AC/DC

الإجراء المطلوب من المتدرب:

1- يفحص عناصر دارة محدد التيار باستخدام ترانزستور JFET
2- يبني دارة محدد التيار باستخدام ترانزستور JFET شكل (56).
3- يقيس متغيرات الدارة (جهود – إشارات)
4- يسجل نتائج القياس

الرسم التنفيذي للاختبار:



شكل (56)

اسم الاختبار: بناء دارة مازج باستخدام ترانزستور تأثير المجال الوصلي JFET. **رقـم الاختبار: (4)**

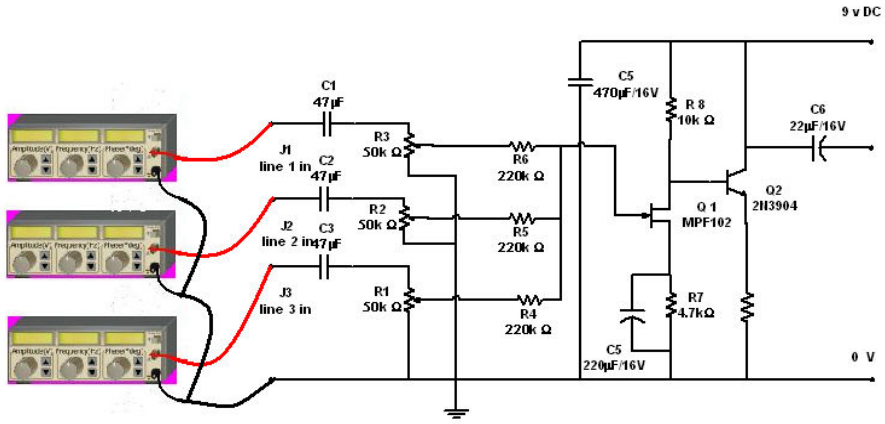
التجهيزات والتسهيلات التدريبية اللازمة:

1- جهاز أفوميتر.
2- أسلاك توصيل.
3- جهاز أوسلوسكوب.
4- مـصدر تغذيـة مـن 0 إلـى 30 فـولت AC/DC
5- ترانزستور Q1 MPF102 نوع FET
6- ترانزستور Q2 2N3904 أو مـا يعادلـه نوع NPN
7- 7- مقاومات 50K عدد ثلاث
8- مقاومات 10KΩ ، 4.7 KΩ
9- مقاومات220K ohm/1/4W عدد ثلاث.
10- مكـثفات C1,C2,C3 47µF/100V غير قطبية وغير كيمائية.
11- مكثف C4 220µF/16V كيمائي.
12- مكثفC5 470µF/16V كيمائي.
13- مكثف C6 22µF/16V كيمائي.

الإجراء المطلوب من المتدرب:

1- يفحص عناصر دارة مازج باستخدام ترانزستور JFET
2- يبني دارة مازج باستخدام ترانزستور JFET شكل (57).
3- يقيس متغيرات الدارة (جهود – إشارات)
4- يسجل نتائج القياس

الرسم التنفيذي للاختبار:



شكل (57)

اسم الاختبار: بناء دارة منظم جهد باستخدام ترانزستور MOSFET. رقـم الاختبار: (5)

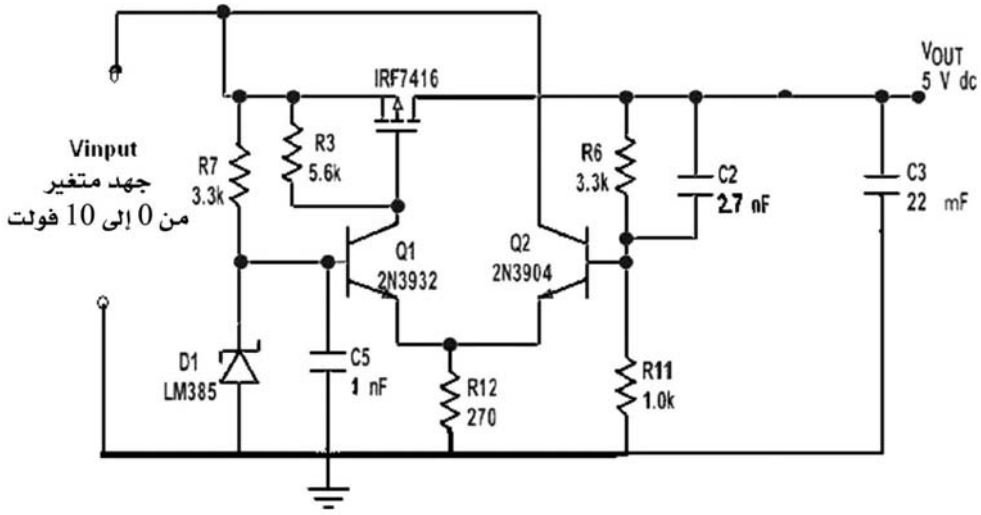
التجهيزات والتسهيلات التدريبية اللازمة:

1- جهاز أفوميتر
2- أسلاك توصيل
3- جهاز أوسلوسكوب
4- مـصدر تغذيـة مـن 0 إلـى 30 فـولت AC/DC
5 ثنائي LM385
6- ترانزستور تأثير المجال IRF7416
7- ترانزستور ثنائي الوصلة 2N3932 عدد اثنان
8- مقاومات ,3.3kΩ عدد اثنتان
9- مقاومات 5.6kΩ,270Ω,1kΩ
10 مكثفات 2.7nF,1nF,22µF

الإجراء المطلوب من المتدرب:

1- يفحص عناصر دارة منظم جهد باستخدام ترانزستور MOSFET
2- يبني دارة منظم جهد باستخدام ترانزستور MOSFET شكل (58).
3- يقيس متغيرات الدارة (جهود – إشارات)
4- يسجل نتائج القياس

الرسم التنفيذي للاختبار:



شكل (58)

مـســرد المصطلحـات الفنيـــة

المصطلحات باللغة العربية	المصطلحات باللغة الإنجليزية
أحادى القطبية	Unipolar
أساس	substrate
النوع التعزيزي	Enhancement type
أنواع ترانزستور تاثير المجال	FET types
أكسيد المعدن شبه الموصل	Metal Oxide Semiconductor
بوابة المعزولة	Insulated Gate
بوابة	Gate
ترانزستور تأثير المجال	field- effect transistors(FETs)
ترانزستور تأثير المجال نوع N	n- channel FET
ترانزستور تأثير المجال نوع P	p- channel FET
ترانزستور ثنائي القطبية	Bipolar transistor
تيار	current
جهد العتبة	Threshold voltage
جهد منطقة قطع	Cutoff voltage
حمل	Load
خالط	Mixer
دارات المتكاملة	Integrated Circuits
عملية	Operation
عينة	Samples
قناة المنتجة	induced channel
قناة	channel
قواعد الأمن والسلامة	safety & vocational Rules
كفاءة	efficiency
مجال كهربائي	electric field
مفاتيح التماثلية	Analog switches

المصطلحات باللغة العربية	المصطلحات باللغة الإنجليزية
منطقة الأومية	ohmic region
مصب	Drain
معامل التكبير	The amplification factor
معاملات JFET	JFET Parameters
مفتاح	switch
مقاوم	Resistor
مقدار جهد القطع	Pinch- off voltage
مقَّطع	Clipper
منحنى خواص المصرف	The Drain Characteristic
منحنى خواص ترانزستور تأثير المجال MOSFET نوع الاستنزاف	Depletion MOSFET Characteristics
منطقة التشبع	saturation region
وصلة	Junction

قائمـــــة المراجـــع والمصـــادر

أولاً: المراجع العربية:

1- **الدوائر الإلكترونية** - د/ زياد القاضي، سلطان قسس، م/ إبراهيم غريب - الطبعة الأولى- دار الفكر للنشر والتوزيع - عمان- الأردن - 1991م.

2- **هندسة النبضات وتشكيل الموجات الرقمية والتناظرية** - مظهر طايل - دار الراتب الجامعية،بيروت – لبنان، 1991م .

3- **فن الإلكترونيات** - باول هورويتز ،وينفليد هيل ، ترجمة م/ عماد مصطفى - مراجعة حيان السيد- الطبعة الأولى - شعاع للنشر والعلوم - 1997م.

4- **أساسيات إلكترونيات القوى** - الخدمات الإنمائية - بيروت وزارة التربية والتعليم - إدارة المناهج- دولة البحرين ،1991.

ثانياً: المراجع الأجنبية:

1- Jacob Mill man ,Christos C. Halkies, INTEGRATED ELECTRONICS ,London, McGraw-HILL BOOK COMPANY , 1971
2- JOHN E. UFFENBECK INTRODUCTION TO ELECTRONICS (Devices AND Circuits),U.S.A Prentice-Hall,Inc,Engllewood,Cliffs,1982
3- www.electronics-lab.com
4- www.hobbyprojects.com
5- www.electronickits.com
6- www.web-ee.com
7- www.hobby-elec.org
8- ww.discovercircuits.com
9- www.arabelect.net
10- www.national.com
11- cdd.gotevot.edu.sa
12- www.nawatt.com
13- users.pandora.be