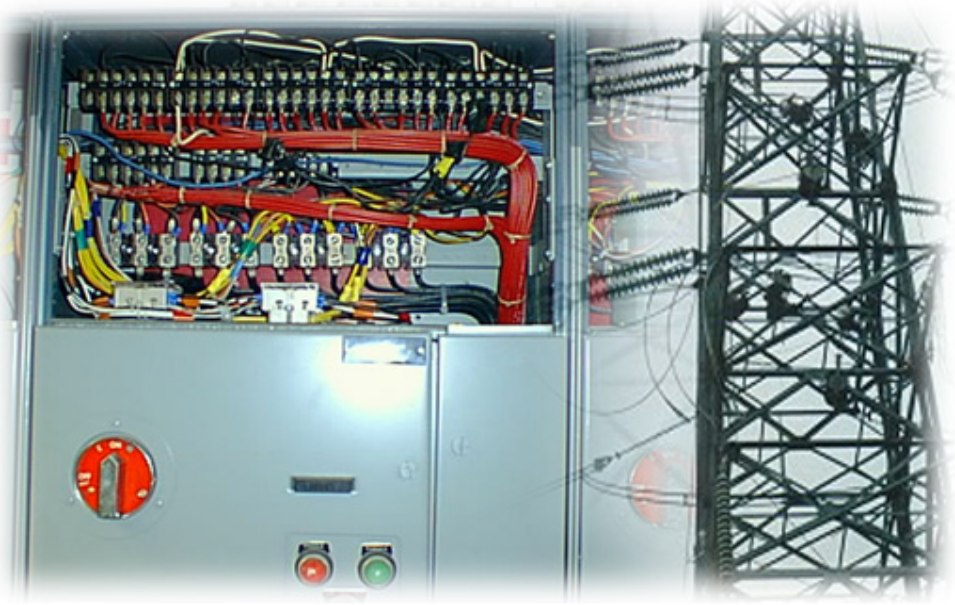
المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

قوى كهربائية

تقنية التوزيع الكهربائي

٢٥١ كهر



جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الحمد لله وحده، والصلاة والسلام على من لا نبي بعده، محمد وعلى آله وصحبه، وبعد:

تسعى المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني لتأهيل الكوادر الوطنية المدربة القادرة على شغل الوظائف التقنية والفنية والمهنية المتوفرة في سوق العمل، ويأتي هذا الاهتمام نتيجة للتوجهات السديدة من لدن قادة هذا الوطن التي تصب في مجملها نحو إيجاد وطن متكامل يعتمد ذاتياً على موارده وعلى قوة شبابه المسلح بالعلم والإيمان من أجل الاستمرار قدماً في دفع عجلة التقدم التنموي، لتصل بعون الله تعالى لمصاف الدول المتقدمة صناعياً.

وقد خطت الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج خطوة إيجابية تتفق مع التجارب الدولية المتقدمة في بناء البرامج التدريبية، وفق أساليب علمية حديثة تحاكي متطلبات سوق العمل بكافة تخصصاته لتلبي متطلباته ، وقد تمثلت هذه الخطوة في مشروع أعداد المعايير المهنية الوطنية الذي يمثل الركيزة الأساسية في بناء البرامج التدريبية، إذ تعتمد المعايير في بنائها على تشكيل لجان تخصصية تمثل سوق العمل والمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني بحيث تتوافق الرؤية العلمية مع الواقع العملي الذي تفرضه متطلبات سوق العمل، لتخرج هذه اللجان في النهاية بنظرة متكاملة لبرنامج تدريبي أكثر التصاقاً بسوق العمل، وأكثر واقعية في تحقيق متطلباته الأساسية.

وتتناول هذه الحقيبة التدريبية " تقنية التوزيع الكهربائي " لمتدربي قسم" قوى كهربائية " للكليات التقنية موضوعات حيوية تتناول كيفية اكتساب المهارات اللازمة لهذا التخصص.

والإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج وهي تضع بين يديك هذه الحقيبة التدريبية تأمل من الله عز وجل أن تسهم بشكل مباشر في تأصيل المهارات الضرورية اللازمة، بأسلوب مبسط يخلو من التعقيد، وبالاستعانة بالتطبيقات والأشكال التي تدعم عملية اكتساب هذه المهارات.

والله نسأل أن يوفق القائمين على أعدادها والمستفيدين منها لما يحبه ويرضاه، إنه سميع مجيب الدعاء.

الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

تمهيد

إن منظومة القوى الكهربية تعتبر أعقد منظومة صنعها الإنسان ، وتتكون من ثلاثة أجزاء رئيسية التوليد وخطوط نقل القدرة الكهربية ومنظومة التوزيع الكهربي. منظومة التوزيع الكهربي هي المنظومة الأكثر تعقيدا في منظومة القوى الكهربية ويقدر نصيب منظومة التوزيع بأكثر من ٥٠٪ من رأس المال الكلي الموضوع لمنظومة القوى الكهربية. ويمكن القول بأن العملاق غير المرئي في منظومة القوى الكهربية هي منظومة التوزيع ، وبقول آخر إن الغرض من إنشاء منظومة القوى الكهربية هي إمداد منظومة التوزيع الكهربي بالقدرة الكهربية اللازمة. وتتكون منظومة التوزيع من ثلاثة أجزاء رئيسية هي محطات التوزيع ومنظومة التوزيع الأولى ة ومنظومة التوزيع الثانوية.

في هذه الحقيبة سنعرض ستة أبواب. يشرح الباب الأول منظومة القوى الكهربية وتكوينها على عجالة مع شرح لمكونات منظومة التوزيع من محطات توزيع وخطوط ما دون النقل بأنواعها ومنظومة التوزيع الأولى ومنظومة التوزيع الثانوي ومزايا كل نوع. والباب الثاني يوضح أنواع الأحمال الكهربية والعوامل المختلفة التي تؤثر فيها وكيفية حساب هذه العوامل وكيفية استخدام الجداول الخاصة بالأحمال. أما الباب الثالث فيبين أنواع مغذيات التوزيع الثانوي وكيفية حساب التيارات في كل جزء من أجزاء المغذي وحساب هبوط الجهد عند أي نقطة في المغذي وذلك للتيار المستمر بأنواعه (مغذي يغذى من طرف واحد ومغذي يغذى من كلا طرفيه بجهد متساوي وجهد غير متساوٍ ومغذي حلقي) وكذلك الحسابات الخاصة بمغذيات التيار المتردد. والباب الرابع يستعرض معامل القدرة الكهربي وكيفية تحسينه، ومفهوم معامل القدرة والقدرة غير الفعالة ومصادر القدرة غير الفاعلة وعيوب انخفاض معامل القدرة وطرق تحسينه ويختتم هذا الفصل بكيفية تحسين معامل القدرة للمحركات الكهربية والتي تمثل معظم الأحمال الكهربية.

الباب الخامس يشرح مبادئ الإضاءة الكهربية بداية من الوحدات والتعريفات المستخدمة في الإضاءة والقانون العكسي وأنواع المصابيح المستخدمة وكيفية حسابات الإضاءة الداخلية والخارجية. والباب السادس يبين أهمية التأريض الكهربي وشرح لنظم التأريض المختلفة من حيث تأريض المنظومة وتأريض الأجهزة. كذلك يتعرض هذا الباب للطرق العملية المستخدمة لقياس المقاومة الأرضية وكذلك قياس مقاومية التربة.

تقنية التوزيع الكهربائي

نظم التوزيع

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

(١□١) مقدمة

إن منظومة القوى الكهربائية من المنظومات عالية التعقيد وتتكون من ثلاثة أجزاء رئيسية وهي :

١ - محطات التوليد Generation plant
٢ - خطوط النقل Transmission lines
٣ - منظومة التوزيع Distribution system

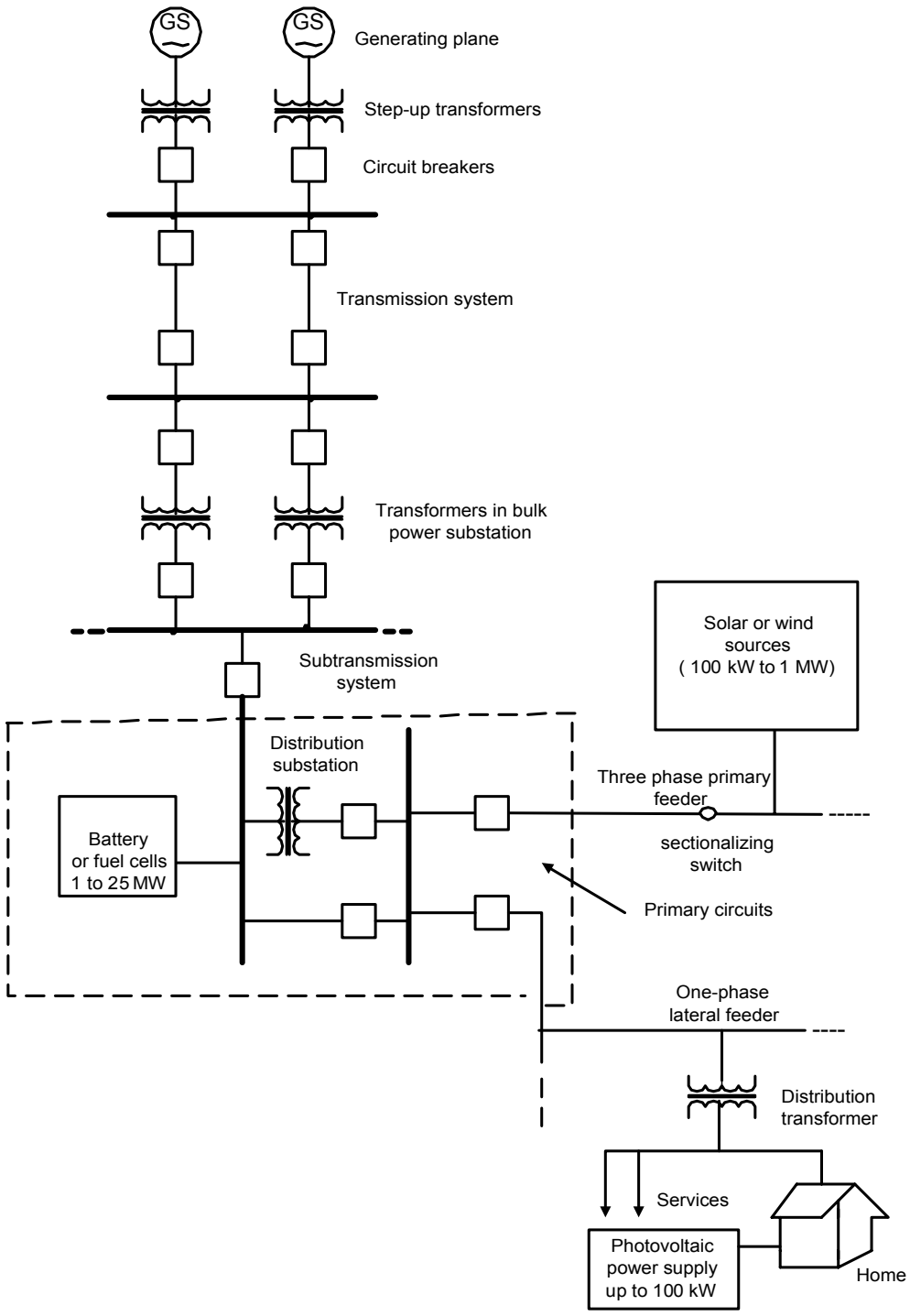
وتنقسم منظومة التوزيع إلى قسمين منظومة توزيع أولي ومنظومة التوزيع الثانوية. منظومة التوزيع الأولى هي التي تنقل القدرة من المحطات الفرعية للتوزيع إلى محولات التوزيع أما منظومة التوزيع الثانوية فهي التي تنقل القدرة من محولات التوزيع إلى المستهلكين. ويبين الشكل (١,١) منظومة القوى الكهربية.
ويمكن القول أن نصيب منظومة التوزيع الكهربية من إجم إلى رأس المال الكلي لمنظومة القوى الكهربية تبلغ أكثر من ٥٠٪ . ولذلك يجب العناية بمنظومة التوزيع من ناحية التصميم والإنشاء والتشغيل والصيانة.

(١□٢) نظم التوزيع Distribution Systems

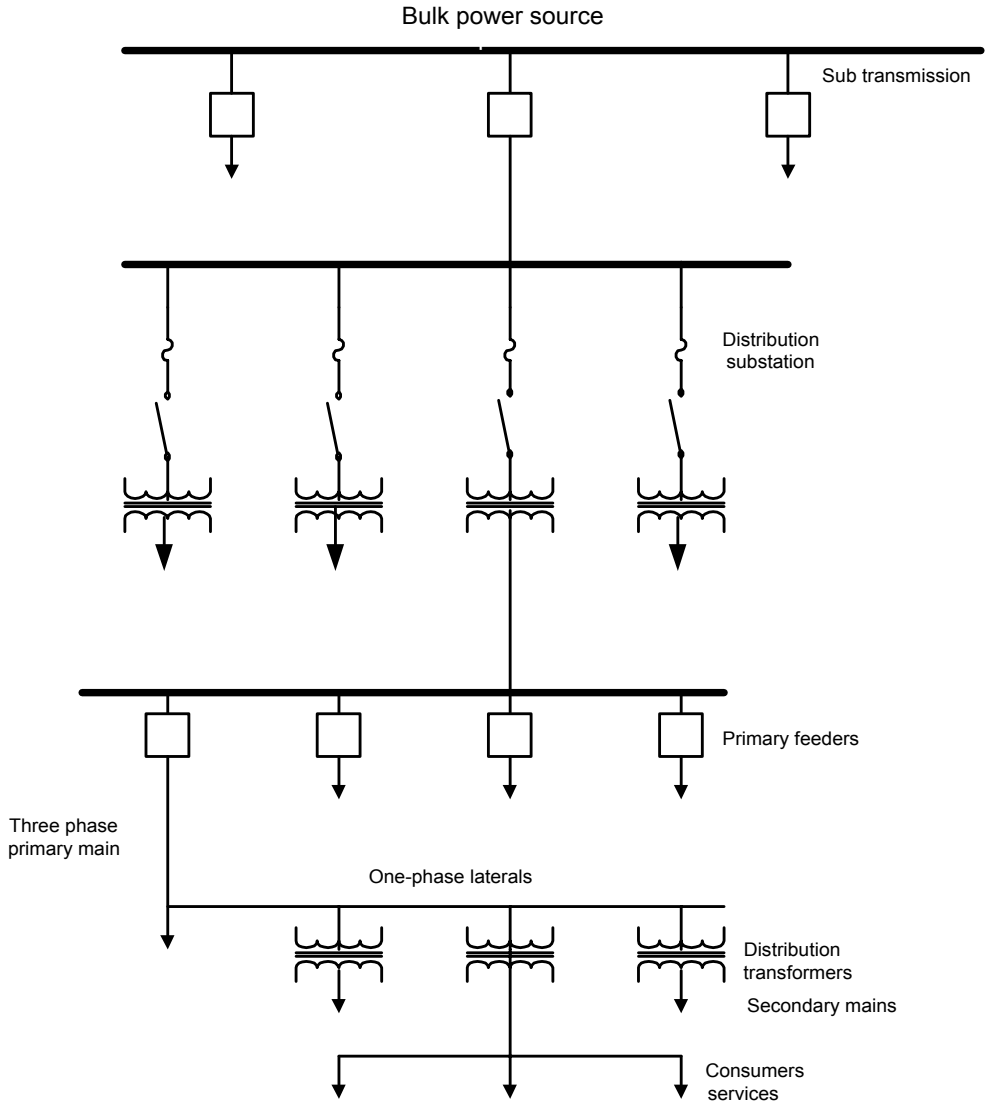
يمكن القول أن منظومة التوزيع هي جزء هام من منظومة القوى الكهربائية وهي الرابط بين القدرة المتولدة والمستهلكين للطاقة وتحتوي منظومة التوزيع الكهربائية على العناصر الآتية:

١ - خطوط مادون النقل Subtransmission
٢ - محطات فرعية للتوزيع Distribution substation
٣ - المغذيات الأولى ة Primary feeders
٤ - محولات التوزيع Distribution transformers
٥ - المغذيات الثانوية Secondary circuits
٦ - خدمة المستهلكين Service drops

ويبين شكل (١,٢) أجزاء منظومة التوزيع الكهربي. جهود خطوط مادون النقل الكهربي تتراوح قيمها من ٢,٤٧ إلى ٢٤٥ kV. محطات التوزيع يصل إليها الجهد من خطوط مادون النقل لتخفيضه وتوصيله عن طريق محولات قدرة إلى المغذيات الأولى ة. الجهد المستخدم في مغذيات التوزيع الأولى ة تتراوح قيمته من ٤,١٦ إلى ٣٤,٥ kV وتربط مغذيات التوزيع الأولى ة محطات التوزيع بمحولات التوزيع. ومحولات التوزيع تتراوح قدرتها من ١٠ إلى ٥٠٠ kVA وتقوم بخفض الجهد ليكون هو الجهد المستخدم للمستهلكين.



شكل (١,١) منظومة القوى الكهربية



شكل (١,٢) منظومة التوزيع

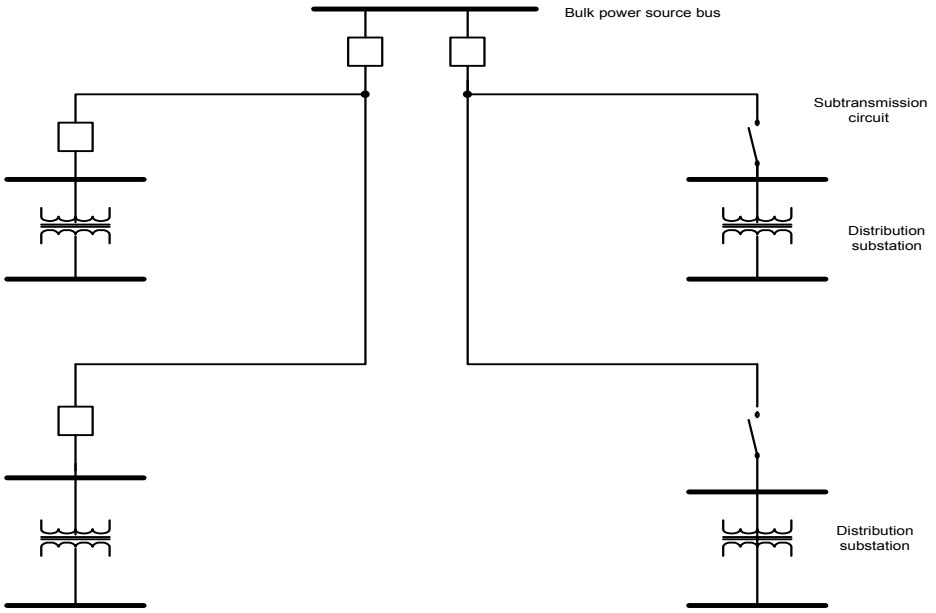
(١-٣) خطوط ما دون النقل Subtransmission Lines

تعمل خطوط ما دون النقل على جهود تتراوح بين ١٢,٤٧ إلى ٢٤٥ kV ويمكن استخدام كابلات أرضية أو خطوط نقل هوائية. والجهود القياسية المستخدمة ١٣٨ kV أو ١١٥ ,٦٩ ويجب معرفة أن الكابلات الأرضية تكلفتها أغلى وصيانتها عالية التكاليف عن الخطوط الهوائية ولذلك تستخدم الخطوط الهوائية بصورة أكبر.

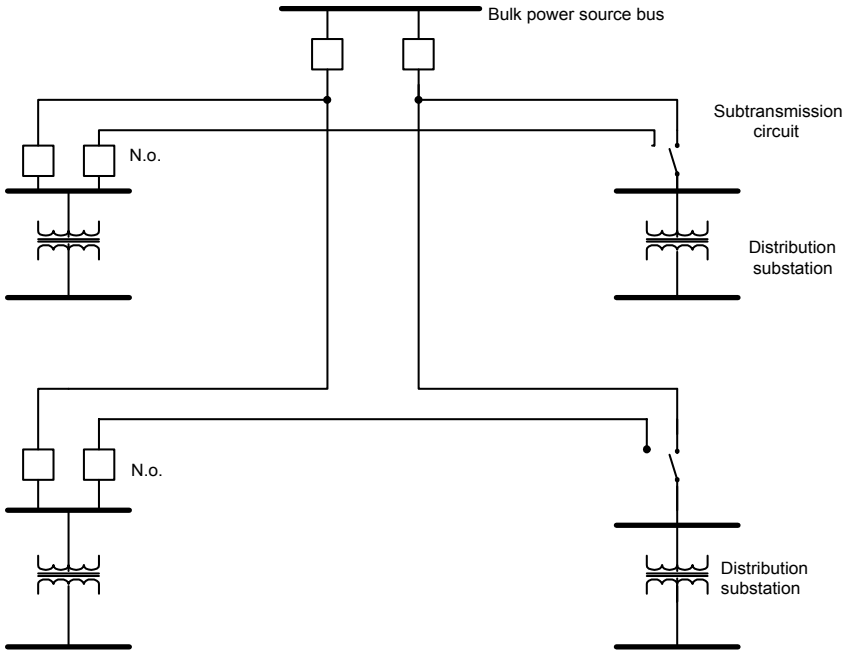
يمكن استخدام النظام نصف قطري فيما دون النقل ورغم أن هذا النظام تكلفته منخفضة، لكن لا توجد مرونة في هذا النظام ويبين الشكل (١,٣) نظام نصف قطري، وكذلك يبين الشكل (١,٤) نظام نصف قطري معدل.

وللتغلب على عدم المرونة والموثوقية نستخدم إما نظام حلقي أو نظام شبكي، ويبين الشكل (١,٥) نظام حلقي وهذا النظام له مرونة كبيرة.

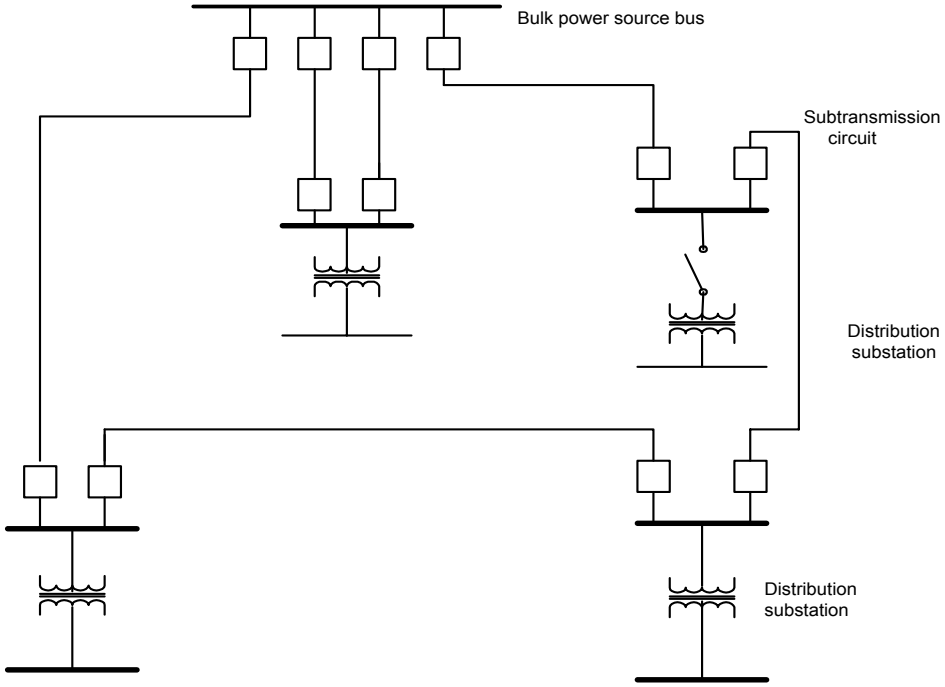
ويبين الشكل (١,٦) نظام شبكي لخطوط ما دون النقل وتستخدم فيه أكثر من نقطة تغذى ة وذلك للحصول على مرونة و موثقية عاليتين ولكن على الجانب الآخر فإن هذا النظام تكلفته عالية.



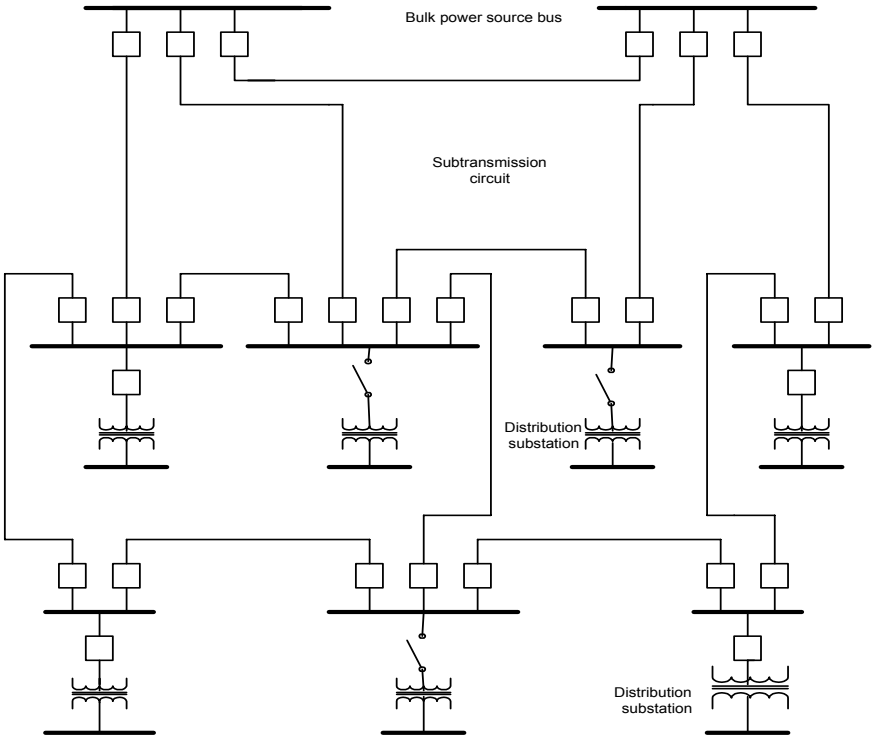
شكل (١,٣) نظام نصف قطري لخطوط النقل الثانوية



شكل (١,٤) نظام نصف قطري معدل لخطوط النقل الثانوية



شكل (١,٥) نظام حلقي لخطوط النقل الثانوية



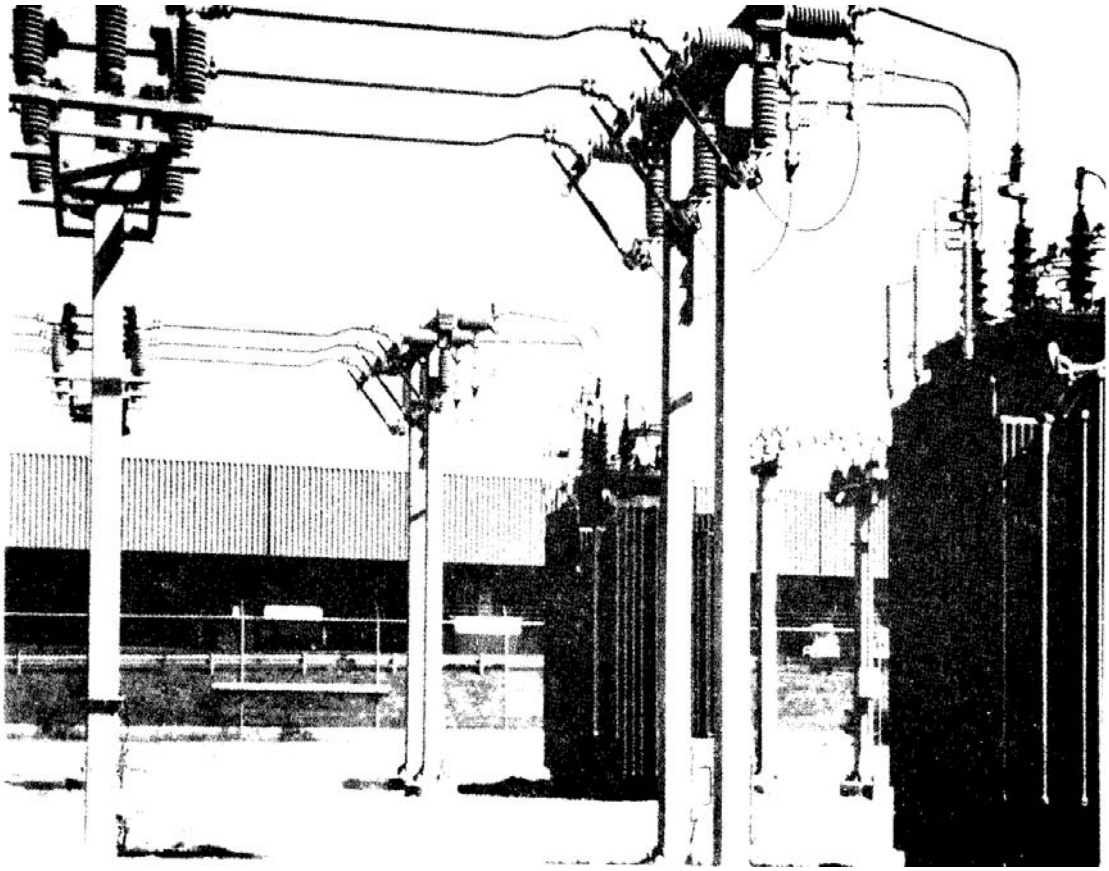
شكل (١,٦) نظام شبكي لخطوط النقل

(١-٤) محطات التوزيع Distribution Substations

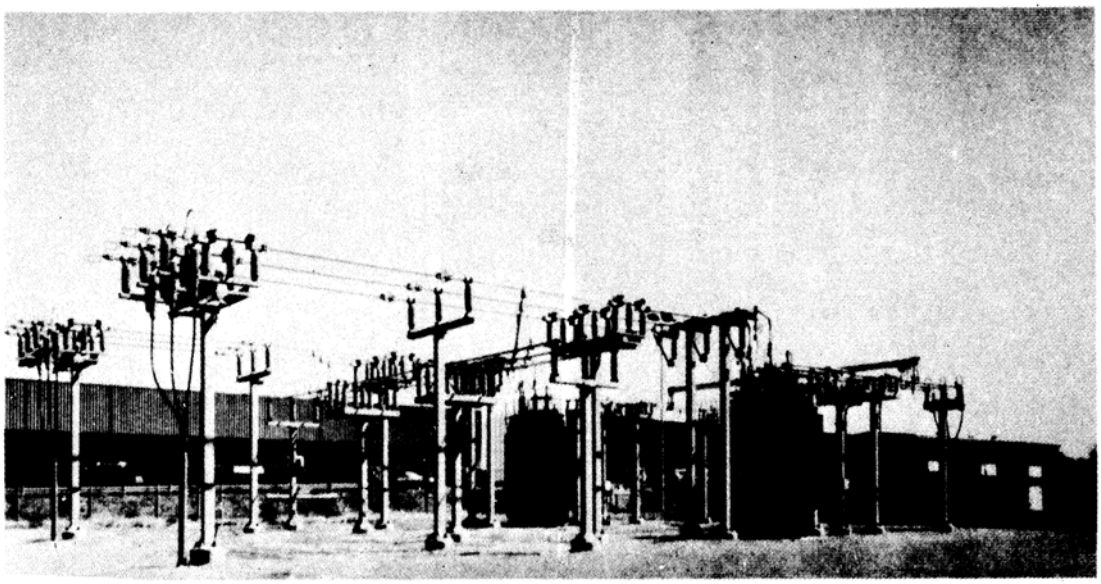
يعتمد تصميم محطات التوزيع على الخبرات السابقة في تصميم المحطات والشكل العام للمحطات هو شكل قياسي. ولتوضيح بعض الأشكال القياسية للمحطات تبين الأشكال (١,٧) و (١,٨) بعض أنواع هذه المحطات، وكذلك يبين الشكل (١,٩) محطة توزيع مكونة من محولين كهربيين قدرة كل منهما ١٥/٢٠/٢٨ MVA والجهد ١١٥/٤,١٦ kV ويبين الشكل (١,١٠) محول توزيع.

وتتكون المحطة الفرعية مما يأتي:

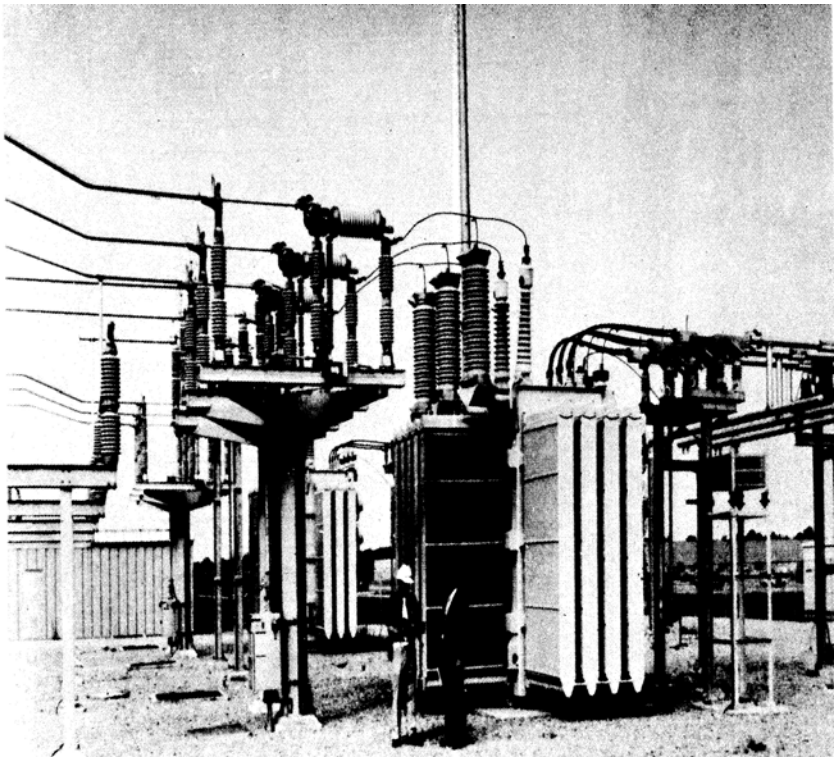
١ - محول قدرة Power transformers
٢ - قواطع Circuit breakers
٣ - مفاتيح فصل Disconnecting Switches
٤ - قضبأن توزيع وعوازل Station buses and insulators
٥ - ممانعة حثية للحد من التيار Current limiting reactors
٦ - ممانعة حثية على التوازي Shunt reactors
٧ -محول تيار Current transformers
٨ -محول جهد Potential transformers
٩ -محول جهد سعوي Capacitor voltage transformers
١٠ -مكثفات ربط Coupling capacitors
١١ -مكثف تو إلى Series capacitors
١٢ -مكثف توازي Shunt capacitors
١٣ -مانعة صواعق Lighting arresters
١٤ -مرحلات Protective relays
١٥ -مجموعة من البطاريات Station batteries
١٦ -نظام التأريض Earthing system
١٧ -أجهزة قياس Electrical instruments
١٨ -مصيدة خطوط Line traps
١٩ -بعض الأجهزة الآخرى



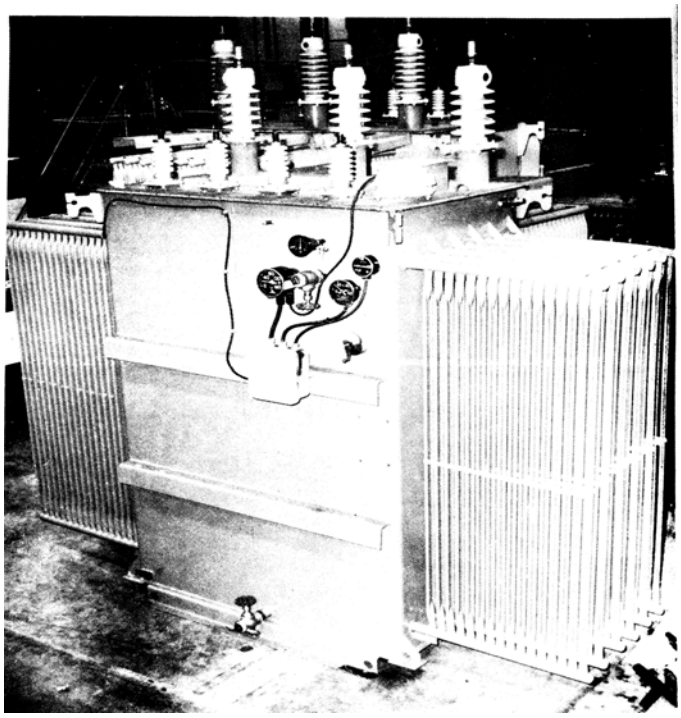
شكل (١,٧) محطة توزيع



شكل (١,٨) محطة توزيع



شكل (١,٩) محطة توزيع بمحولين



شكل (١,١٠) محول توزيع

(١-٥) أشكال قضبأن التوزيع في المحطات الفرعية Substation bus schemes

إن اختيار قضبأن التوزيع وكيفية تغير ترتيبها يعتمد على عدة عوامل من الأمان والموثوقية والعامل الاقتصادي وسهولة التوصيل.

أنواع قضبأن التوزيع في المحطات الفرعية هي:

١ - قضبأن توزيع مفرد كما في شكل (١,١١) Single bus scheme

٢ - قضبأن توزيع مزدوجة وقاطع مزدوج كما في شكل (١,١٢)

Double bus double-breaker

٣ - قضبأن التوزيع الرئيسية كما في شكل (١,١٣)

Main-and-tranfer bus scheme

٤ - قضبأن توزيع بشكل مزدوج وقاطع مفرد كما في شكل (١,١٤)

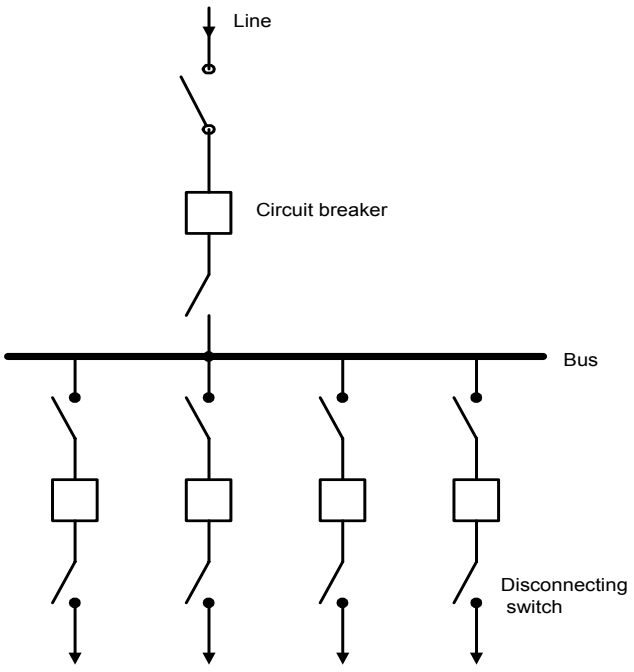
Double-bus-single breaker sheme

٥ - قضبأن توزيع بشكل شبكي كما في شكل (١,١٥)

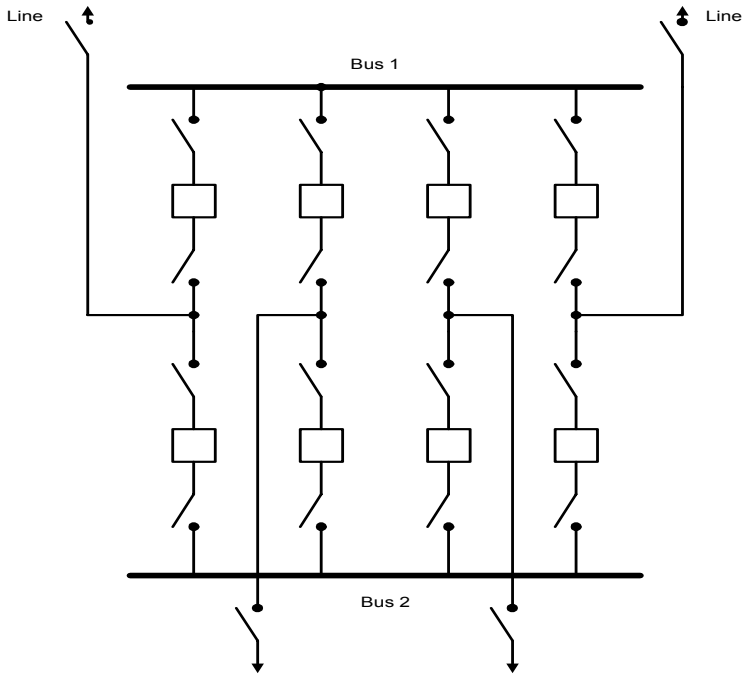
Ring bus scheme

٦ - قضبأن توزيع قاطع ونصف كما في شكل (١,١٦)

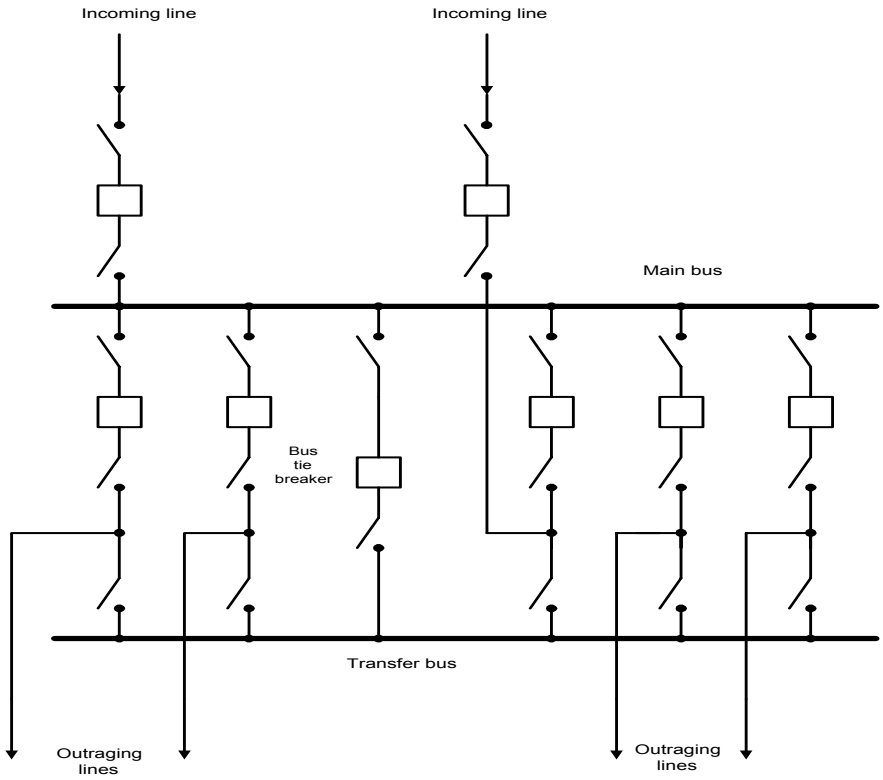
Breaker-and-a-half scheme



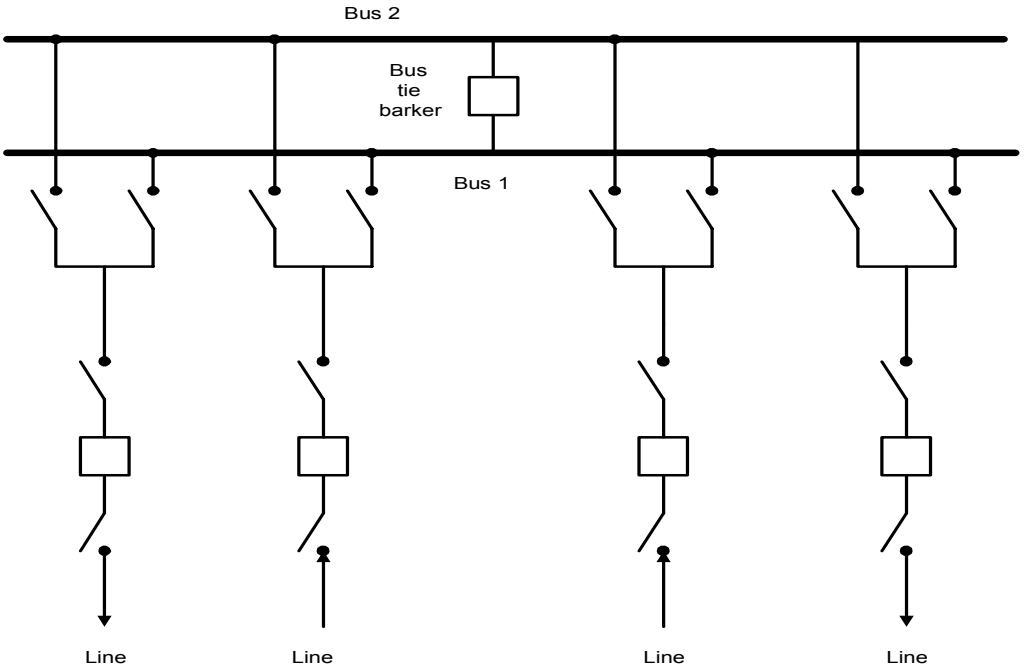
شكل (١,١١) قضبأن توزيع مفرد



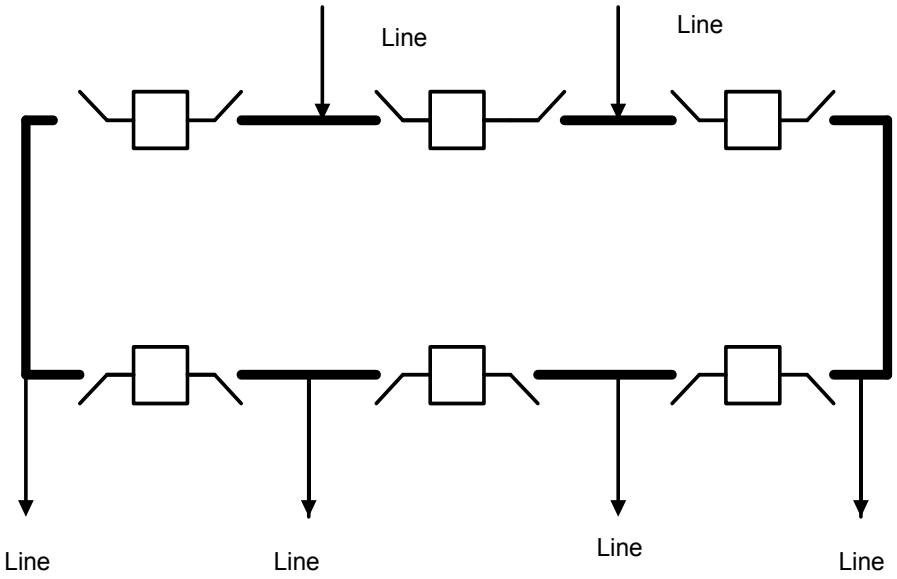
شكل (١,١٢) قضبأن توزيع مزدوجة وقاطع مزدوج



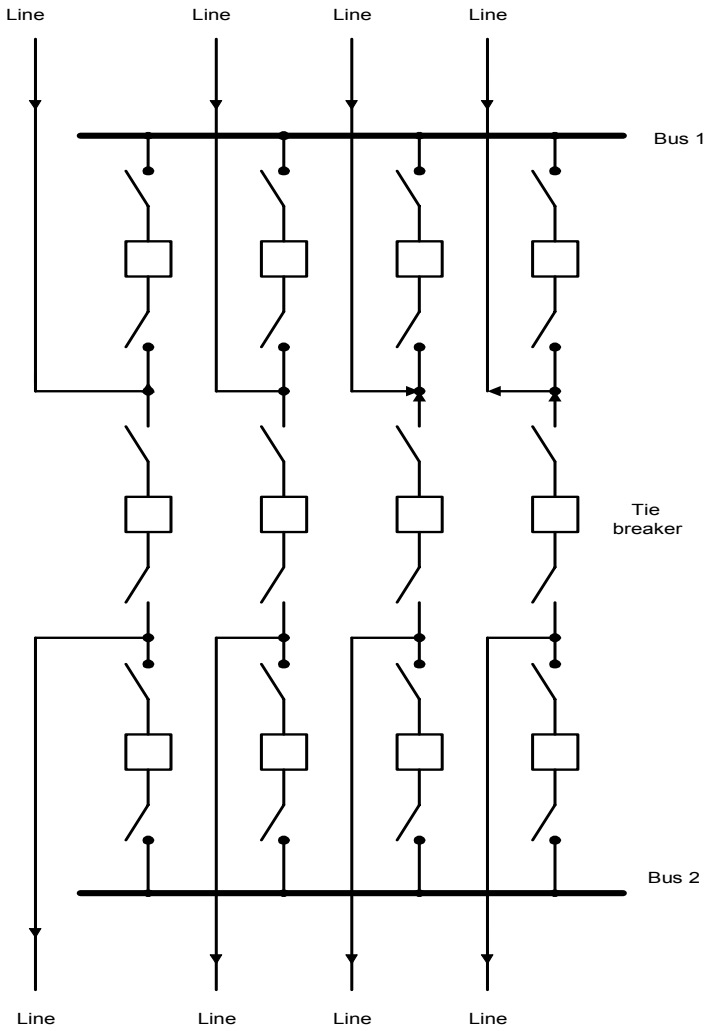
شكل (١,١٣) قضبأن التوزيع الرئيسية



شكل (١,١٤) قضبأن توزيع بشكل مزدوج وقاطع مفرد



شكل (١,١٥) قضبأن توزيع بشكل شبكي



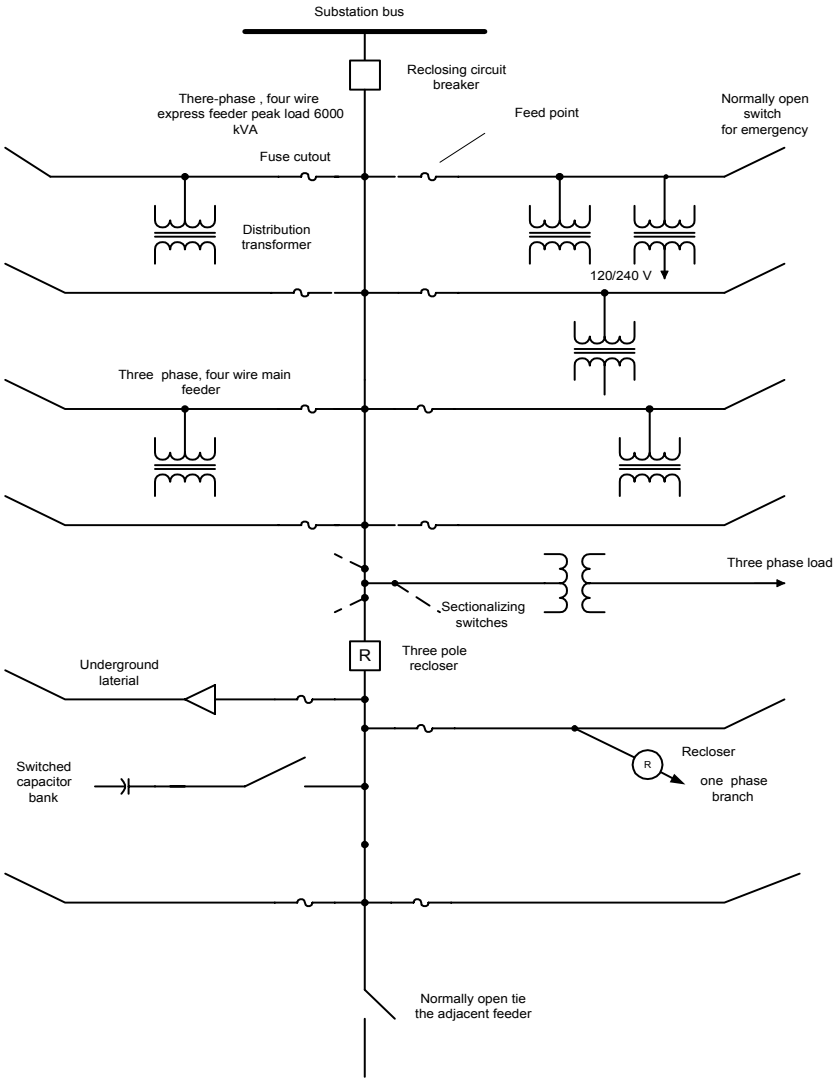
شكل (١,١٦) قضبأن توزيع بشكل نصفي

٦□١) نظم المغذيات الأولى ة Primary distribution systems

المغذيات الأولى ة هي جزء من منظومة التوزيع وتصل بين محطة التوزيع الفرعية ومحول التوزيع ويبين الشكل (١,١٧) نظام التوزيع الأولى .

ويمكن أن تقسم أشكال التوزيع إلى أربعة أقسام وهي:

١ - نظام نصف قطري Radial distribution system
٢ - نظام حلقي Loop/Ring distribution system
٣ - نظام شبكي Network distribution system
٤ -نظام انتقائي أولي Primary selective distribution system



شكل (١,١٧) نظام التوزيع الأولى

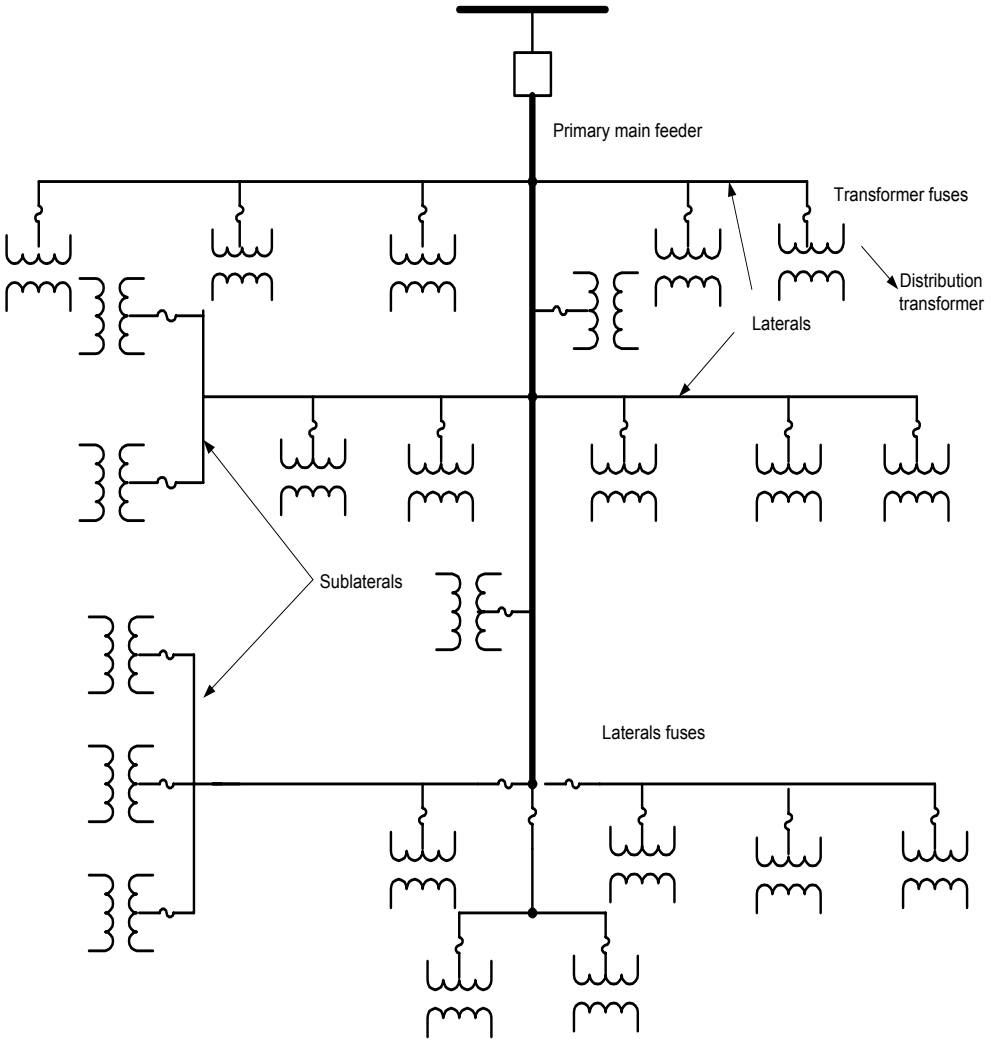
(١-٦-١) نظام نصف قطري أولي Radial type primary feeder

يبين الشكل (١,١٨) نظام نصف قطري أولي ويمتاز هذا النظام بقلة تكلفته وبساطته، وهذا النظام يتكون من ثلاثة أوجه وثلاثة أسلاك أو أربعة أسلاك وتكون القيمة الكبرى للتيار عند المخرج من المحطة الفرعية. ومن عيوب هذا النظام أن الموثوقيه في استمرار الخدمة به قليلة وإذا حدث خطأ في مكان ما للمغذي الأولى تنقطع الخدمة عن جميع المستهلكين. كذلك عند صيانة القاطع الرئيسي تنقطع الخدمة عن جميع المستهلكين.

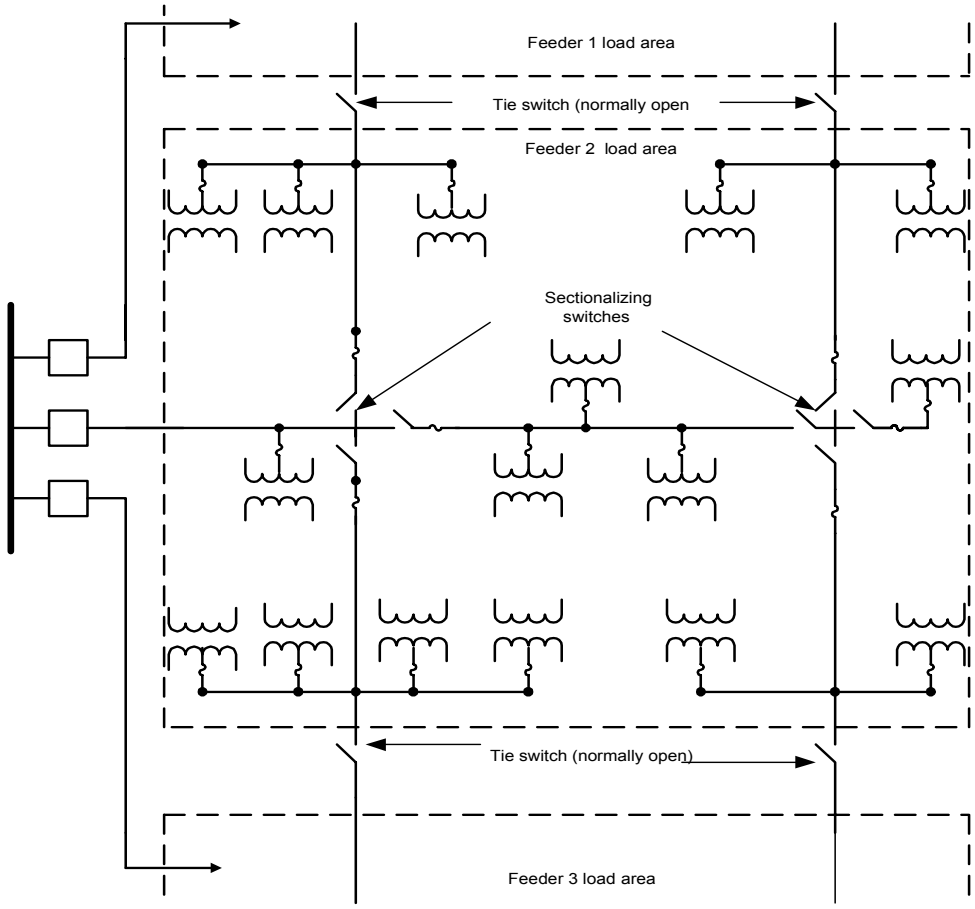
ويبين الشكل (١,١٩) نظام نصف قطري معدل مزود بمفاتيح ربط تكون في حالة التشغيل مفتوحة دائماً وقواطع كهربية،وفي حالة حدوث خطأ توصل مفاتيح الربط لتغذى الأحمال وبذلك يتم تحسين الخدمة للمستهلكين.

يبين الشكل (١,٢٠) نظام نصف قطري بمغذي أولي صريح. ويتم ربط المحطة الفرعية من جهة الجهد المنخفض إلى مراكز الأحمال بدون أن يتفرع منها لتغذى ة الأحمال.

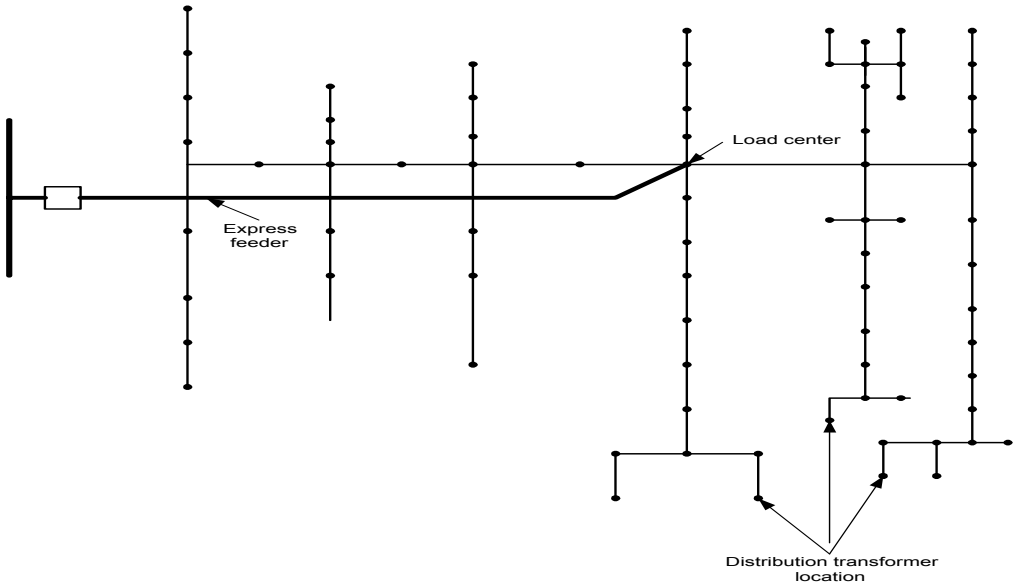
ويبين الشكل (١,٢١) كيفية تقسيم النظام القطري من مغذيات ثلاثية الأوجه إلى مناطق تغذى بمغذيات ذي وجه واحد مع الأخذ في الاعتبار اتزان الأحمال للثلاثة أوجه.



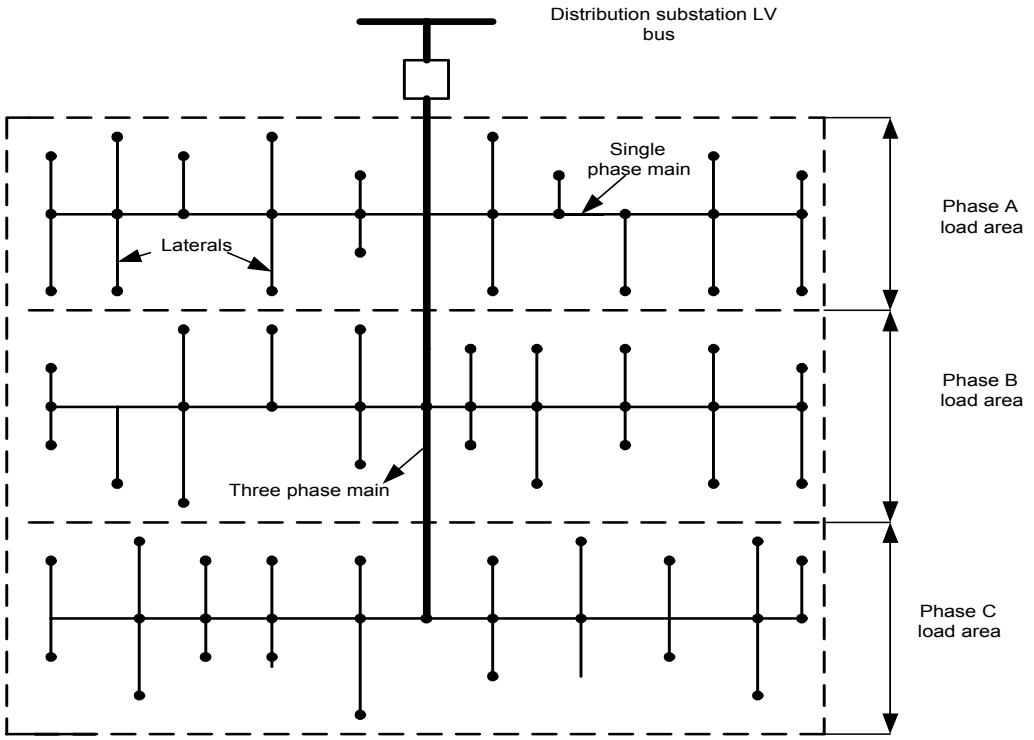
شكل (١,١٨) نظام نصف قطري أولي



شكل (١,١٩) نظام نصف قطري معدل أولي



شكل (١,٢٠) نظام نصف قطري بمغذي أولي صريح



شكل (١,٢١) كيفية تقسيم النظام القطري مقسماً

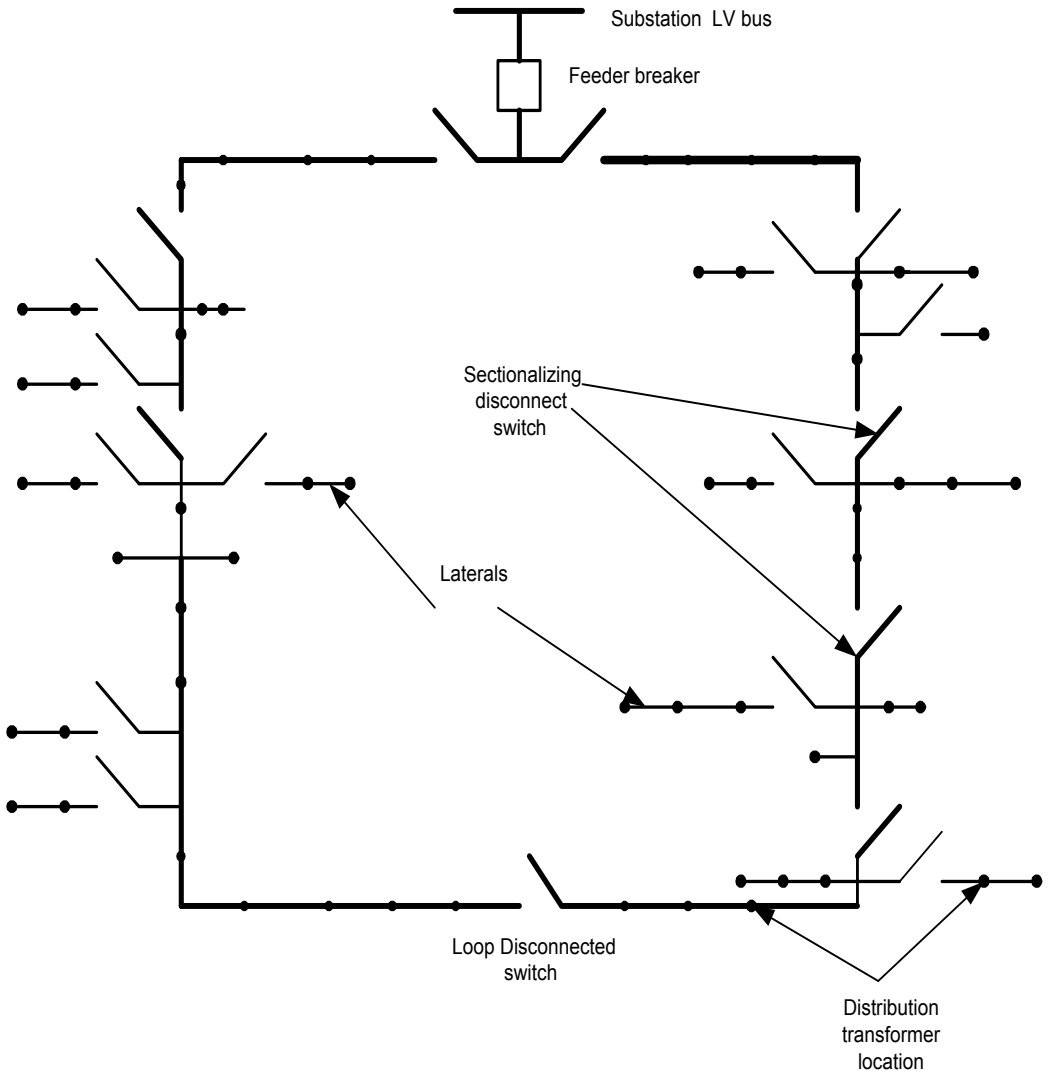
من ثلاثي الأوجه إلى مناطق تغذى بوجه واحد

(٢-٦-١) نظام حلقي أولي Loop type primary feeders

الشكل (١,٢٢) يبين نظام توزيع أولي حلقي (Loop / Ring) وينقسم المغذي في هذا النظام إلى نصفين ويمكن ربط النصفين عن طريق مفتاح ربط (يكون مفتوحاً في حالة التشغيل العادية). ويتكون هذا النظام من قاطع رئيسي يفتح آليا في حالة وجود أي خطأ بأي جزء من أجزاء المغذي، وفي حالة حدوث الخطأ نبدأ في البحث عن مكان الخطأ وفصله ويتم التغذى ة من النصف الآخر. ويمكن القول أنه عند تصميم المغذي الأولى يجب أن يتحمل هذا المغذي مجموع الأحمال في النصفين.

ومن مزايا هذا النظام استمرارية الخدمة والمرونة أما عيوب هذا النظام فتكلفته أعلى من تكلفة النظام النصف قطري.

ويمكن تحسين هذا النظام باستخدام قاطع رئيسي لكل نصف من الحلقة وكذلك استخدام مفتاحي فصل الحمل بدلاً من مفتاح واحد. وفي هذه الحالة يمكن فصل الخدمة عن النصف فقط عند حدوث الخطأ. وكذلك فإن ه بعد عزل الخطأ يمكن تغذى ة النظام من الجانب الآخر.

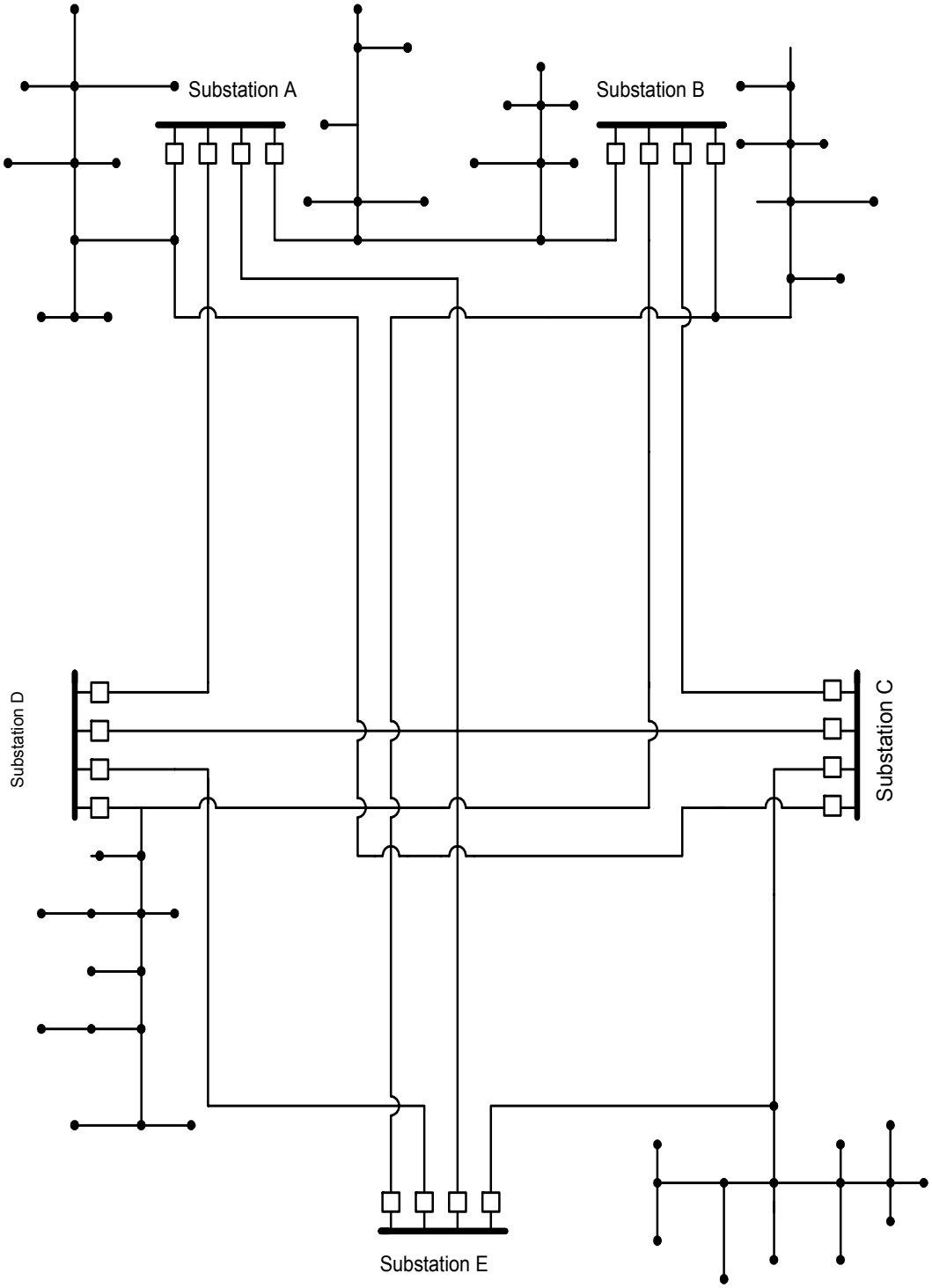


شكل (١,٢٢) نظام توزيع أولي حلقي

(٣-٦-١) نظام شبكي أولي Primary network

يبين شكل (١,٢٣) نظام شبكي أولي .و في هذا النظام يتم ربط أكثر من محطة فرعية ببعضها عن طريق مغذيات أولية ويكون لكل مغذ قاطع خاص به ويمكن تغذى ة الأحمال من جميع الاتجاهات.

يمتاز هذا النظام بالموثوقية والمرونة العالية واستمرار الخدمة وقلة المفاقيد في القدرة أي كفاءة أعلى من الأنظمة السابقة. ولكن من عيوب هذا النظام التكلفة الأعلى من النظام النصف القطري والحلقي وكذلك صعوبة التشغيل وصعوبة التصميم لهذا النظام.



شكل (١,٢٣) نظام شبكي أولي

(٤-٦-١) مستوى الجهد في نظام التوزيع الأولى Primary feeder voltage level

هناك عوامل كثيرة لتحديد مستوى الجهد منها العامل الاقتصادي والتشغيل وطول المغذي الأولى وعدد وقدرة محطات التوزيع والصيانة وغيرها من العوامل الآخرى. يبين جدول (١-١) مستوى الجهود لنظم التوزيع الأولى . والجهد الشائع الاستخدام هو ١٥ kV .

الجدول (١-١) مستوى الجهود في النظام التوزيع الأولى

Class	Three phase voltage
٢,٥ kV	٢٣٠٠ ٣w-Δ
	٢٤٠٠ ٣w-Δ*
٥ kV	٤٠٠٠ ٣w-Y or ٣W-Y
	٤١٦٠ ٣w-Y*
	٤٣٣٠ ٣w-Δ
	٤٤٠٠ ٣w-Δ
	٤٦٠٠ ٣w-Δ
	٤٨٠٠ ٣w-Δ
٨,٦٦kV	٦٦٠٠ ٣w-Δ
	٦٩٠٠ ٣w-Δ or ٤W-Y
	٧٢٠٠ ٣w-Δ or ٤W-Y*
	٧٥٠٠ ٤w-Y
	٨٣٢٠ ٤w-Y
١٥ kV	١١٠٠٠ ٣w-Δ
	١١٥٠٠ ٣w-Δ
	١٢٠٠٠ ٣w-Δ or ٤W-Y
	١٢٤٧٠ ٣w-Δ *
	١٣٢٠٠ ٣w-Δ or ٤W-Y*
	١٣٨٠٠ ٣w-Δ *
	١٤٤٠٠ ٣w-Δ
٢٥ kV	٢٢٩٠٠ ٤W-Y*
	٢٤٩٤٠ ٤W-Y*
٣٤,٥ kV	٣٤٥٠٠ ٤W-Y*

❖هذا النوع شائع الاستخدام في هذه الجهود

١-٧) نظام التوزيع الثانوي Secondary distribution system

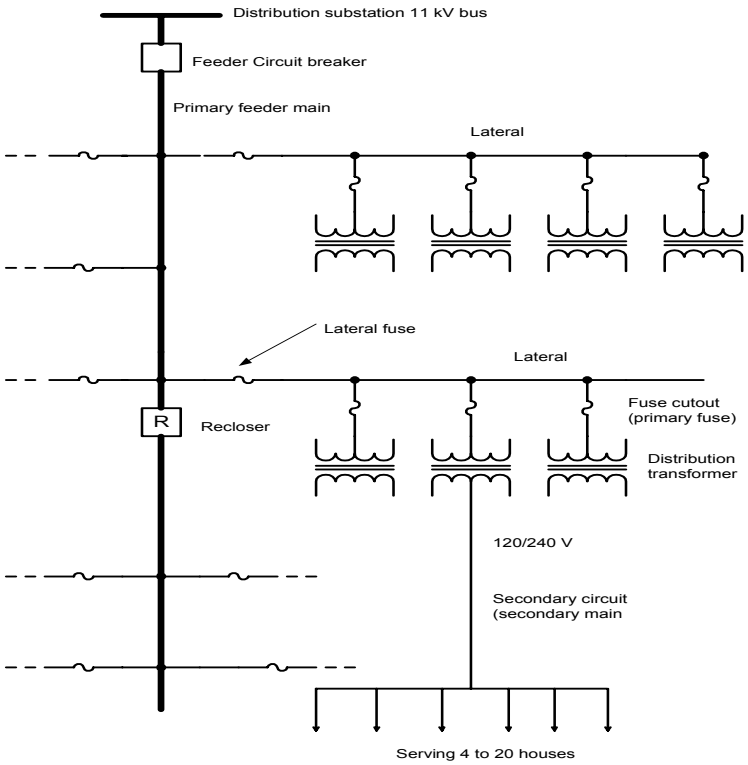
نظام التوزيع الثانوي يقوم بنقل القدرة من نظام التوزيع الأولى إلى المستهلكين ويجب اختيار مكان محولات التوزيع بحيث تكون قريبة من مراكز الأحمال وكذلك مراعاة هبوط الجهد عند جهد الانتفاع. تتكون منظومة التوزيع الثانوي من محول لخفض الجهد ومغذيات من المحول إلى المستهلك وأجهزة الحماية وأجهزة تسجيل الطاقة المستهلكة لكل مستهلك. وتستخدم أنظمة الثلاثة أوجه للأحمال التجارية والصناعية والوجه الواحد أو الثلاثة أوجه للأحمال المنزلية (معتمدا على أنواع الأحمال).

أنواع نظم التوزيع الثانوي هي:

١ -نظام ثانوي يغذى حمل واحد ويستخدم محول واحد
٢ -نظام نصف قطري ثانوي (يغذى مجموعة من الأحمال عن طريق محول)
٣ -نظاماً تجميعي ثانوي (يغذى مجموعة من المحولات عن طريق مغذي ثانوي)
٤ -نظام شبكي ثانوي.

(١-٧-١) نظام نصف قطري ثانوي Radial Secondary system

يبين شكل (١,٢٤) نظام نصف قطري ثانوي يمتاز بالبساطة وقلة التكلفة أما عيوبه فتتمثل في عدم المرونة وعدم استمرارية الخدمة.



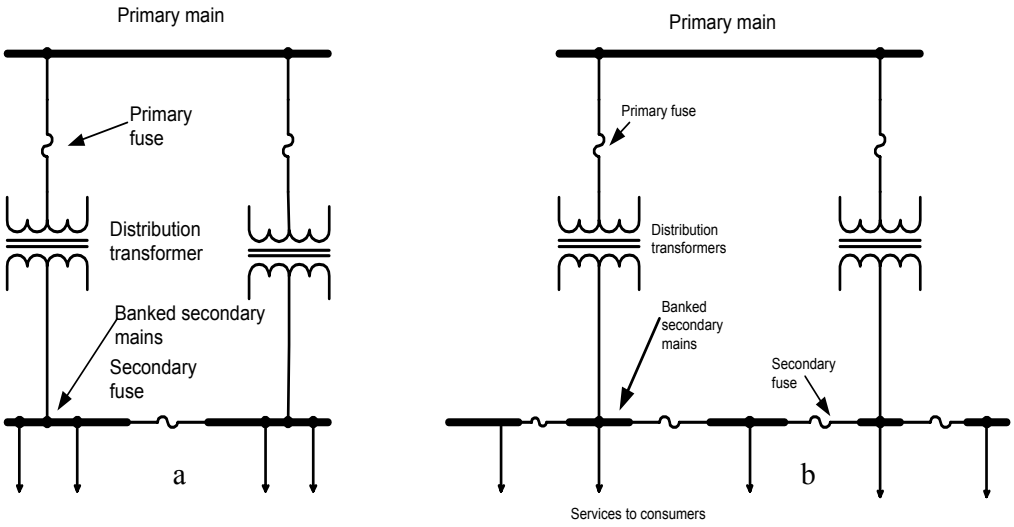
شكل (١,٢٤) نظام نصف قطري ثانوي

(١□٧□٢) نظام تجميعي ثانوي Secondary banking

نظام التوزيع التجميعي هو تشغيل المحولات على التوازي لمحولين أو أكثر وتغذى المحولات عن طريق المغذيات الأولى ة . ومن مزايا هذا النظام

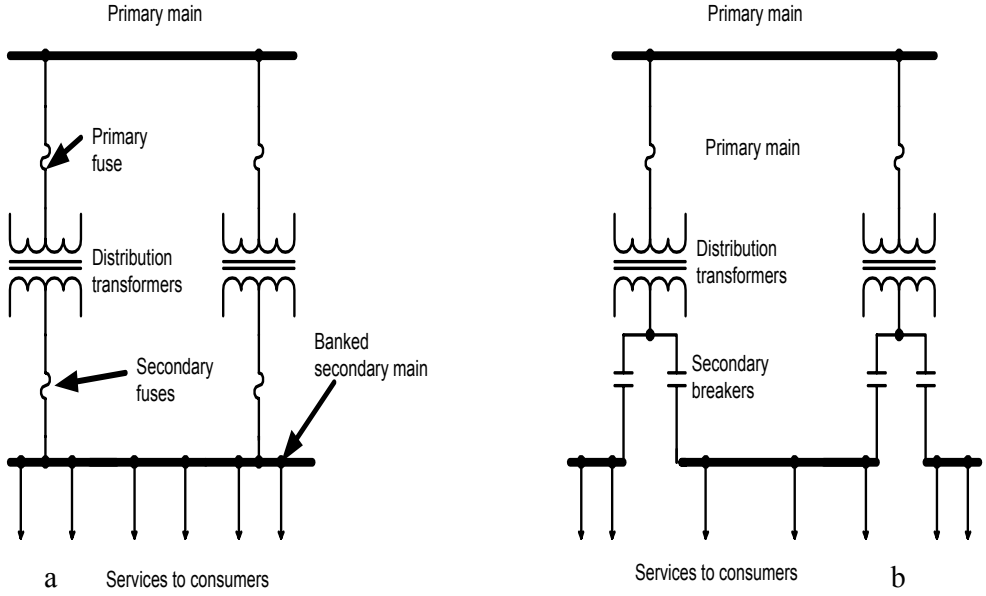
١. إمكانية تنظيم الجهد
٢. التحسين في استمرارية الخدمة والموثوقية عالية.
٣. التحسين في مرونة النظام وتقليل التكلفة عند نمو الأحمال.
٤. يمكن التوفير في kVA عند التصميم بقيم قد تصل إلى ٣٠٪

ويبين شكل (١,٢٥) نظامين لكيفية الربط بين المحولات. النظام الموضح بالشكل (١,٢٥a) أكثر سهولة في الاستخدام وأقل في التكلفة عن النظام الموضح بالشكل (١,٢٥b).



شكل (١,٢٥) يبين كيفية الربط بين المحولات

ويبين الشكل (١,٢٦) نوعان مختلفين للربط بين نظم التوزيع الثانوي. في الشكل (١,٢٦a) تكون تغذى ة الأحمال من المحولات بدون أجهزة الحماية أما الشكل (١,٢٦b) فيبين كيفية ربط المحولات وتكون هناك حماية خاصة بكل محول(تتكون الحماية من قاطع ومجموعة من المرحلات بحيث لا تسمح بمرور القدرة من القضبأن الثانوية إلى المحول).



شكل (١,٢٦) يبين نوعان مختلفين للربط بين نظم التوزيع الثانوي

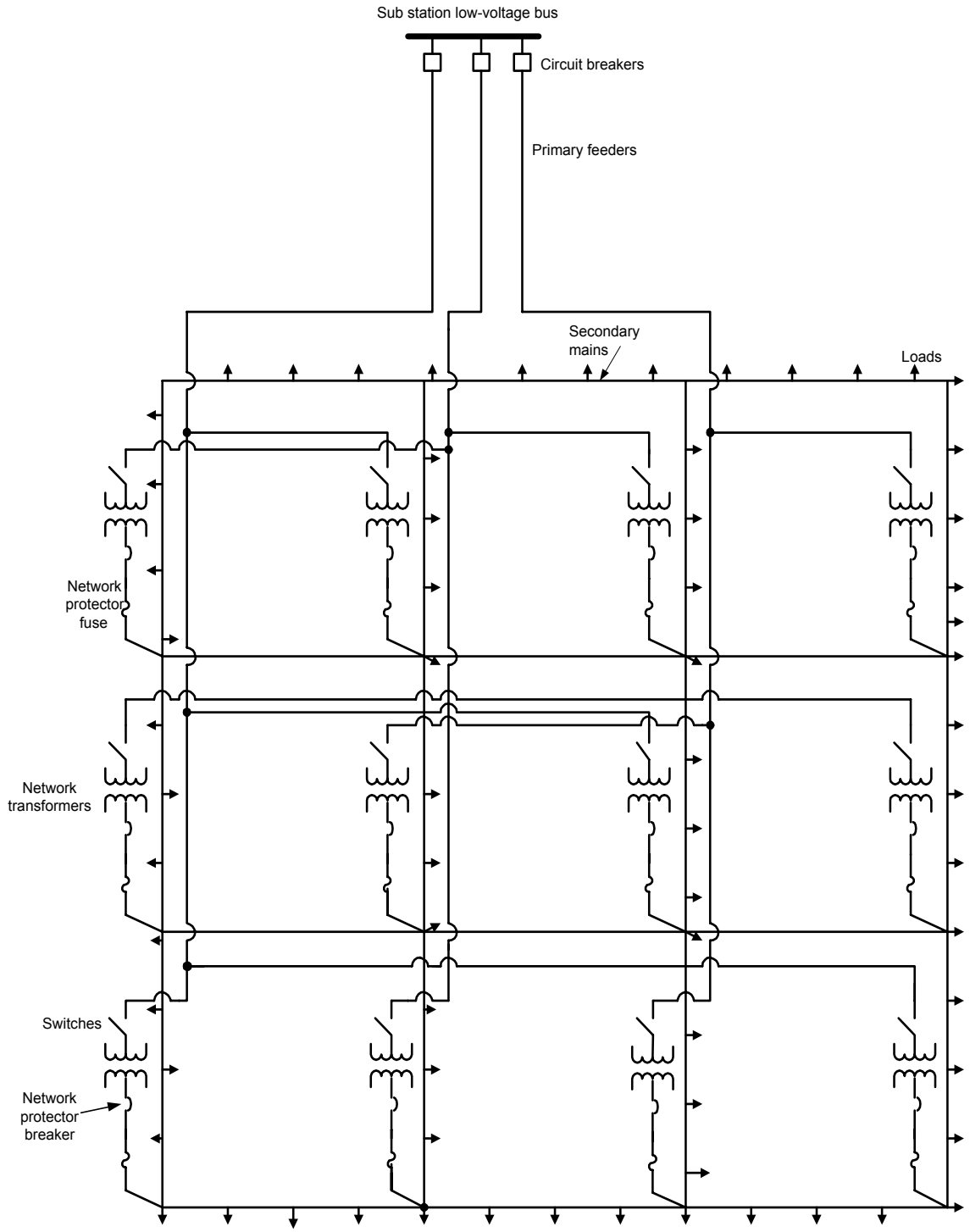
(١□٧□٣) نظام شبكي ثانوي Secondary Network

من الضروري لبعض الأحمال الهامة مثل المطارات وبعض المواقع العسكرية والمستشفيات ورئاسة الوزراء وبعض المصانع استمرارية الخدمة والمرونة والموثوقية وذلك قبل التكلفة الاقتصادية ويفضل في هذه الحالة استخدام الكابلات الأرضية عن خطوط النقل الهوائية.

يبين الشكل (١,٢٧) نظام شبكي ثانوي، بحيث تغذى الشبكة الثانوية من ثلاثة مغذيات أولية (ومن الممكن زيادة عدد المغذيات الأولى ة) ويجب أن يؤخذ في عين الاعتبار خروج مغذي واحد أو اثنين من الخدمة في وقت واحد (single/double contingency)على أن تتحمل المغذيات الآخرى الحمل كاملاً.

(١□٧□٤) مستوى الجهد في النظام الثانوي Secondary voltage level

إن مستوى الجهد لشبكة التوزيع الثانوية في المنازل هي ١٢٠/٢٠٨ V و ١٢٠ V وتستخدم للأجهزة الصغيرة كالإضاءة والثلاجات وأجهزة الكمبيوتر وتستخدم ٢٠٨ V للأجهزة مثل المكيفات والسخانات و الدفايات. وطبقاً للمواصفة ANSI فإن الجهود في نظم التوزيع الثانوي هي ١٢٠/٢٤٠ Vأو٢٤٠/٤١٦ V أو ٢٤٠/٤٨٠ V .



شكل (١,٢٧) نظام شبكي ثانوي

(١ -٨) محولات التوزيع Distribution Transformers

في محولات التوزيع يقوم المحول بتخفيض الجهد الابتدائي (٢,٤kv□٣٤,٥) إلى جهد الانتفاع (الملف الثانوي) (V ٦٠٠□١٢٠) ويبين الجدول (٢□١) سعة وجهد المحول طبقاً للمواصفة ANSI.

ويستخدم في الملف الابتدائي ثلاثة رموز (-) أو(/) أو (x) وفي الملف الثانوي يستخدم الرمز (Y) ويتم تصنيف محولات التوزيع بعدة طرق مختلفة بحيث يفيد هذا التصنيف الفنيين عند الحاجة إلى كتابة مواصفات محول بعينه. أهم الطرق لتصنيف محولات التوزيع هي:

جدول (٢□١) سعة المحول kVA والجهود طبقا للمواصفة ANSI

KVA		High voltages		Low voltage	
Single phase	Three phase	Single phase	Three phase	Single phase	Three phase
٥	٣٠	٢٤٠٠/٤١٦٠Y	٢٤٠٠	١٢٠//٢٤٠	٢٠٨Y/١٢٠
١٠	٤٥	٤٨٠٠/٨٣٢٠Y	٤١٦٠/٢٤٠٠	٢٤٠//٤٨٠	٢٤٠
١٥	٧٥	٤٨٠٠Y/٨٣٢٠Y	٤١٦٠Y	٢٤٠٠	٤٨٠
٢٥	١١٢,٥	٧٢٠٠/١٢٤٧٠Y	٤٨٠٠	٢٥٢٠	٤٨٠Y/٢٢٧
٣٧,٥	١٥٠	١٢٤٧٠GndY/٧٢٠٠	٨٣٢٠Y/٤٨٠٠	٤٨٠٠	٢٤٠*٤٨٠
٥٠	٢٢٥	٧٦٢٠/١٣٢٠٠Y	٨٣٢٠Y	٥٠٤٠	٢٤٠٠
٧٥	٣٠٠	١٣٢٠٠GndY/٧٦٢٠	٧٢٠٠	٦٩٠٠	٤١٦٠Y/٢٤٠٠
١٠٠	٥٠٠	١٢٠٠٠	١٢٠٠	٧٢٠٠	٤٨٠٠
١٦٧		١٣٢٠٠/٢٢٨٦٠GndY	١٢٤٧٠/Y/٧٢٠٠	٧٥٦٠	١٢٧٧٠Y/٧٢٠
٢٥٠		١٣٢٠٠	١٢٤٧٠Y	٧٩٨٠	١٣٢٠٠/٧٦٢٣٠□
٣٣٣		١٣٨٠٠/٢٣٩٠٠GndY	١٣٢٠Y/٧٦٢٠		
٥٠٠		١٣٨٠٠	٣١٣٢٠Y		
		١٤٤٠٠/٢٤٩٤٠GndY	١٣٢٠٠		
		١٦٣٤٠	١٣٨٠٠		
		١٩٩٢٠/٣٤٥٠٠GndY	٢٢٩٠٠		
		٢٢٩٠٠	٣٤٤٠٠		
		٣٤٤٠٠	٤٣٨٠٠		
		٤٣٨٠٠	٦٧٠٠٠		
		٦٧٠٠٠			

أ - عدد الأطوار (محول أحادي الطور أو ثلاثي)

ب - طريقة التبريد ويوجد نوعان من المحولات :

١ - محولات مغمورة في الزيت المعدني في عملية التبريد وكذلك العزل. كما توجد السوائل الآخرى المقاومة للحريق مثل الأسكاريل

٢ - محولات جافة حيث يتم فيها التبريد بواسطة الهواء أو بعض الغازات الآخرى مثل الفلورو كربون(C_2F_6)

جـ - يمكن أن تصنف محولات التوزيع من ناحية استخدامها لخطوط النقل كما يلي:

١ - محول تقليدي

٢ - محول حماية ذاتية كاملة (CSP)

٣ - محول حماية ذاتية كاملة للملف الثانوي (CSPB)

د - يمكن أن تصنف محولات التوزيع التي تستخدم في الكابلات الأرضية كما يلي:

١ - محول تحت الأرض

٢ - محول سكني ذو تكلفة منخفضة

٣ - محول شبكي

(١-٨-١) القطبية Polarity

القطبية في المحول هي العلاقة الاتجاهية بين القوة الدافعة التأثيرية في كل من ملفيه الابتدائي والثانوي بحيث يمكن أن تكون القطبية جمعية أو طرحية . وتعتمد القطبية بين ملفي المحول على ما يأتي:

أ - طريقة لف الملفين

ب - طريقة توصيل الملفات داخل المحول

جـ - طريقة توصيل أطراف الملفات الخارجية

وقطبية أطراف المحول هي تعبير عن اتجاه التيار اللحظي في كل ملف بالنسبة للآخر عند أطراف المحول. يكون لطرفي الملف الابتدائي وطرفي الملف الثانوي نفس القطبية عند لحظة معينة وذلك عندما يدخل التيار من طرف الملف الابتدائي ويخرج من طرف الملف الثانوي في نفس الوقت كما لو كان هذان الطرفان مكونين لدائرة كهربية متصلة.

إن مفهوم القطبية عند كثير من الفنيين قد يسبب بعض اللبس، ويشير صانعو المحولات عادة إلى كل من أطراف المحول بحروف وأرقام بحيث يمكن تحديد اتجاه القطبية.وتختلف هذه الإشارات تبعاً للدول المصنعة للمحولات، ونذكر على سبيل المثال ما يأتي:

أ - المحولات المصنعة في أمريكا :

$H_3 - H_2 - H_1$ لأطراف الجهد العالي

$x_3 - x_2 - x_1$ لأطراف الجهد المنخفض

ب - المحولات المصنعة في إنجلترا:

$C_2 - B_2 - A_2$ لأطراف الجهد العالي

$c_2 - b_2 - a_2$ لأطراف الجهد المنخفض

ج - المحولات المصنعة في ألمانيا:

لأطراف الجهد العالي ١U- ١V- ١W

لأطراف الجهد المنخفض ٢U ٢V ٢W

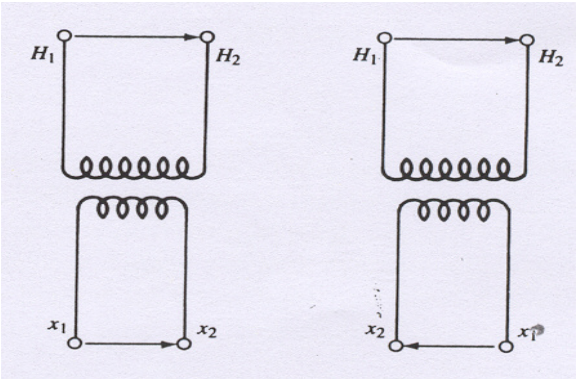
كما تستعمل غير هذه أحياناً. وسوف نستخدم الرموز الأمريكية في توضيح مفهوم القطبية للمحول نظراً لوضوحها في التمييز. يتم في نظام استخدام تلك الرموز تجهيز توصيلات المحول بحيث يكون اتجاه القوة التأثيرية دائماً من الحرف ذي الرقم الأصغر إلى الحرف ذي الرقم الأكبر.

ويتم تعريف قطبية الأطراف للمحول أحادي الوجه كما يأتي:

في شكل (١,٢٨a) تكون القطبية طرحية وفي شكل (١,٢٨b) تكون القطبية جمعية. ويبين شكل (١,٢٩) اختبار يمكن إجراؤه بالمختبرات لتحديد القطبية. ويبين الشكل (١,٢٨) والشكل (١,٢٩) شرحاً لهذا المفهوم. ونلاحظ أن اتجاهي القوة التأثيرية في ملفي المحول أحادي الوجه يكونان إما منطبقين أو على زاوية طور مقدارها ١٨٠ درجة.

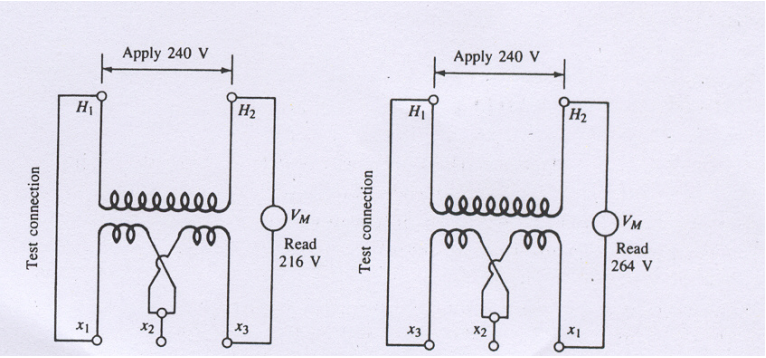
تحتاج عملية تحديد قطبية المحول ثلاثي الأوجه إما إلى معرفة طريقة اللف والتوصيل الداخلي لملفات المحول، وهو ما يكون غير متاح في كثير من الأحيان، وإما إلى إجراء بعض القياسات المطولة والمعقدة نسبياً.

وعلى أية حال، فإن الحاجة إلى معرفة قطبية المحول ثلاثي الأوجه لا تظهر عادة إلا عند الحاجة إلى تشغيل هذا المحول على التوازي مع محول آخر، حيث يلزم أن تكون لهما نفس القطبية.



a b

شكل (١,٢٨) القطبية الطرحية والجمعية



a b

شكل (١,٢٩) اختبار القطبية في المعمل

(٢□٨□١) تتابع الطور Phase sequence

تتابع الطور هو اصطلاح يستخدم لتحديد الاتجاه الزاوي الذي تصل به متجهات الجهد Voltage phasors ومتجهات التيار Current phasors لقيمتهما القصوى بتتابع الزمن في النظام عديد الأطوار. ويمكن أن يكون الاتجاه الزاوي في اتجاه دوران الساعة. إن الذي يهمنا في موضوع الطور بالنسبة للمحولات عادة هو القيم اللحظية لجهود الخط وليست قيم الجهود على الملفات داخل المحول. ويمكن القول بصفة عامة أنه لنفس تتابع الطور القادم من مصدر الطاقة (المولد) فإن هذا التتابع يختلف على أطراف الملف الثانوي إذا تم التبديل بين أي طرفين من أطراف الملف الابتدائي المتصل بأطراف المولد.

(٣□٨□١) تشغيل المحولات على التوازي Transformers Operation in parallel

الشروط الواجب الالتزام بها لتوصيل محولين أو أكثر على التوازي

١. المجموعة الاتجاهية Vector group

من المناسب استخدام محولات نفس المجموعة الاتجاهية ليمكن توصيلها على التوازي (ويمكن استخدام بعض المحولات ذات المجموعات الاتجاهية المختلفة)

٢. نسبة التحويل وحدود مغير الجهد Turns ratio

عندما يكون المحولان لهما نفس نسبة التحويل فإن القدرة الكهربية تقسم بينهما بالتساوي، ولكن عندما تتغير نسبة التحويل يكون جهد الملف الابتدائي واحد ولكن جهد الملف الثانوي مختلف وينتج عن ذلك تيار دائري.

٣ -جهد المعاوقة Impedance voltage

نلاحظ أن المحول الأقل معاوقة أكثر حملا وهناك علاقات رياضية تحدد ذلك.

٤ -تكون نسبة القدرات للمحولات المتصلة على التوازي KVA لا تتعدى ١:٣.

المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

تقنية التوزيع الكهربائي

الأحمال الكهربائية

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

(١-٢) - مقدمة

تمر مرحلة التصميم الأولى ة لأي شبكة كهربائية بتقدير الأحمال الكهربائية على هذه الشبكة وذلك لتحديد الحمل الكلي تمهيدا لمعرفة كيفية تغذى ة هذه الأحمال كهربيا. وبصفة عامة يمكن تقسيم الأحمال الكهربائية التي تغذى ها شبكات التوزيع إلى الأنواع الآتية:

أ) الأحمال الكهربية لأنظمة الإنارة العامة

ب) الأحمال السكنية وتشمل الإضاءة والسخانات وأجهزة التكييف والثلاجات.....إلخ.

ت) الأحمال التجارية وتشمل المطارات والمستشفيات والمبأني الحكومية والمسارح والملاعب والفنادق والموانى .....إلخ.

ث) الأحمال الصناعية: الأحمال الصناعية هي أحمال مركبة وتكوّن المحركات الحثية النسبة الأكبر من هذه الأحمال. وهذه الأحمال دالة في الجهد والتردد للنظام الكهربي وتمثل الجزء الأكبر من الحمل الكلي للنظام الكهربي.

(٢-٢) - خصائص الأحمال الكهربائية

(١-٢-٢) - طلب المنظومة:

هو متوسط الحمل الكهربي على المنظومة الكهربية خلال فترة زمنية محددة. ويمكن التعبير عن طلب المنظومة الكهربية بالقدرة الظاهرية المطلوبة أو بالقدرة الفعالة للأحمال الكهربية أو بالتيار الكلي للأحمال. ويفضل استخدام القدرة الظاهرية للأحمال بدلا من استخدام القدرة الفعالة لأن استخدام القدرة الفعالة يتطلب معرفة معامل القدرة. ومن المفيد جدا معرفة منحنى الحمل اليومي وهو يمثل تغير الأحمال الكهربائية خلال ٢٤ ساعة لليوم.ومن المفيد هنا ذكر أن الطلب لأي حمل يختلف عن تقدير قيمة الحمل حيث إن تقدير الحمل هو القيمة المقننة للحمل والموجودة على اللوحة الرئيسية للحمل. شكل ١ يبين منحنى الحمل اليومي.

(٢-٢-٢) - متوسط الطلب:

ويعرف بأنه متوسط القدرة لحمل خلال فترة زمنية محددة ويمكن حساب متوسط الطلب اليومي أو الشهري أو السنوي.

ويعطى متوسط الطلب بالعلاقة الآتية:

متوسط القدرة = (الطاقة الكهربية المستهلكة في فترة زمنية)/(عدد ساعات الفترة الزمنية)

(٣□٢□٢) - أقصى قيمة للطلب:

ويعرف بأنه أكبر قيمة للحمل خلال ال ٢٤ساعة وتسمى الحمل الأقصى. ومن المعلوم أن أقصى طلب ليس أكبر طلب لحظي ولكن أكبر متوسط طلب قدرة يحدث خلال أي فترة زمنية صغيرة مثلا دقيقة واحدة، ١٥ دقيقة، ٣٠ دقيقة من دورة الحمل. في الغالب يتراوح الفاصل الزمني لأقصى طلب بين ١٥ و ٣٠ دقيقة حول اللحظة التي يبلغ عندها الطلب أقصى قيمة له.

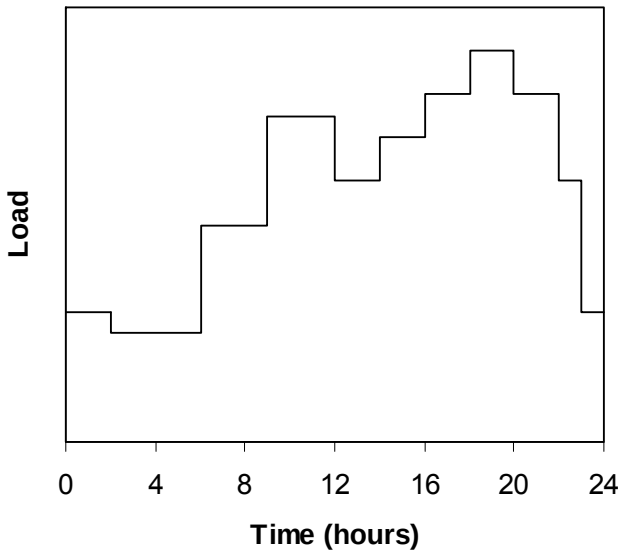
من الضروري معرفة النقاط التالية لتحديد أقصى طلب:

١ - تحديد دورة الحمل تحت الدراسة

٢ - تحديد فترة أقصى طلب مطلوب حسابه.

٣ - الطريقة المستخدمة لحساب متوسط الطلب خلال فترة زمنية.

ويستخدم أقصى طلب محسوب لتقدير سعة الشبكات وبالت إلى التكلفة المطلوبة لتغذى ة شبكة أو جزء من شبكة. ومن الأسباب الرئيسية الهامة لاستخدام قيم أقصى طلب أن أغلب المعدات والأجهزة الكهربائية تصمم بحيث تتحمل من ١٠٠٪ إلى ١٢٠٪ زيادة حمل لفترة محدودة بدون حدوث أية آثار جانبية عكسية.



منحنى الحمل اليومي(٢,١)شكل

طريقة فيلاندر لحساب أقصى طلب

معرفة طلب قدرة المستهلكين وتنوع أحمالهم في شبكة التوزيع هامة جدا لعمليات التخطيط وتشغيل شبكات التوزيع. ومن الطرق الرياضية المستخدمة لحساب أقصى طلب قدرة بمعرفة استهلاك الطاقة السنوي طريقة فيلاندر والتي تعرف كالآتي:

$$p = C_1 w + C_2 \sqrt{w}$$

حيث : p = أقصى طلب قدرة (kW)

W = استهلاك الطاقة السنوي (kWh)

C_1, C_2 = ثوابت تعتمد على تصنيف المستهلك

وتمتاز هذه الطريقة بأنها تعطي العلاقة بين أقصى طلب قدرة واستهلاك الطاقة لأحمال جزئية ولا تتحقق هذه العلاقة عند استخدامها لمجموعة أحمال غير متجانسة، أي أن هذه الطريقة غير مناسبة لطبيعة أحمال مختلفة على مدى اليوم أو السنة. وكذلك فإن هذه الطريقة تعطي نتائج سيئة عند حساب أقصى طلب لمستهلك واحد أو لمجموعة تتكون من عدد قليل من المستهكين.

(٤-٢-٢)- عامل الطلب

عامل الطلب على المنظومة الكهربية: هو النسبة بين أقصى طلب للمنظومة الكهربية والأحمال على المنظومة الكهربية. الأحمال على المنظومة الكهربية هي مجموع الأحمال المقننة لجميع المعدات والأجهزة التي تغذى بالمنظومة الكهربية. لابد من ملاحظة أن توصيل الأحمال بالمنظومة الكهربية لا يعني أن كل الأحمال تعمل في نفس الوقت أو خلال نفس الفترة الزمنية لذلك فإن معامل الطلب دائما أقل من الواحد.

ويكون الغرض من معرفة عامل الطلب هو تقدير حصة الحمل الكلي الموصل والمطلوب تغذى ته في نفس الوقت. وعادة يكون أقصى حمل لمجموعة من الأحمال أقل من مجموع قدرات هذه الأحمال وهذا راجع إلى الآتي:

١ - اختيار سعة المعدات الكهربية أكبر من المطلوب الفعلى وذلك للتغلب على بعض حالات زيادة الحمل.

٢ - نادرا ما يكون عمل مجموعة الأحمال عند أقصى حمل في نفس الوقت.

مثال: منزل يحتوي على المصابيح الآتية:

٣ مصابيح قدرة ٦٠W و ١٠ مصابيح قدرة ٤٠W و ٤ مصابيح قدرة ١٠٠W و ٥ مصابيح قدرة ١٠W.

بفرض أن عداد الطلب يشير خلال ٣٠ دقيقة لقيمة أقصى طلب ٦٥٠W احسب عامل الطلب.

الحل: الحمل الكلي لمصابيح الإضاءة = ٣X٦٠ +١٠X٤٠ +٤X١٠٠ +٥X١٠= ١٠٣٠ W

أقصى طلب خلال ٣٠ دقيقة هو ٦٥٠ W

عامل الطلب = ٦٥٠ / ١٠٣٠ = ٠,٦٣١ =٦٣,١٪

(٥-٢-٢)- عامل الحمل

عامل الحمل هو النسبة بين متوسط الحمل وأقصى حمل خلال فترة زمنية محددة ويمكن حسابه طبقا للمعادلة الآتية:

عامل الحمل=الطاقة الفعلية المستهلكة (kWh) / [أقصى طلب (kW) x الفترة الزمنية (hr)]

يخضع عامل الحمل السنوي لمحطات التوليد للمعادلة التالية:

عامل الحمل السنوي=عدد الوحدات العاملة في السنة/أقصى عدد وحدات يمكن أن تعمل

∴عامل الحمل السنوي = عدد الوحدات العاملة في السنة/(أقصى طلب قدرة X ٨٧٦٠)

∴عامل الحمل الشهري = عدد الوحدات العاملة في الشهر/(أقصى طلب قدرة X ٢٤ X ٣٠)

بينما يخضع عامل الحمل لمعدات المستهلك للمعادلة الآتية:

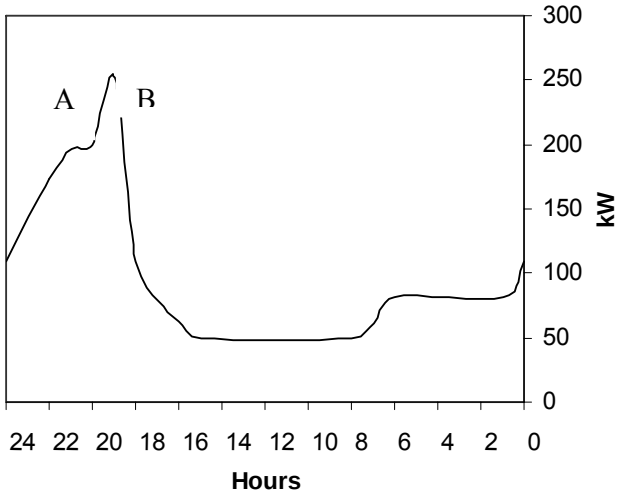
عامل الحمل السنوي = عدد الوحدات المستهلكة في السنة/(أقصى طلب X ٨٧٦٠)

عامل الحمل الشهري = عدد الوحدات المستهلكة في الشهر/(أقصى طلب X ٢٤ X ٣٠)

∴عامل الحمل اليومي = عدد الوحدات العاملة في اليوم/(أقصى طلب X ٢٤)

عموما فإن عامل الحمل يساوي النسبة بين متوسط القدرة إلى أقصى طلب في سنة أو شهر أو يوم.

مثال: يوضح شكل (٢,٢) منحنى حمل خلال يوم. احسب عامل الحمل اليومي



شكل (٢,٢) منحنى حمل خلال يوم

الحل: بأخذ قراءة القدرة المقابلة لكل ساعة ويقسم مجموعها على ٢٤ ساعة نحصل علي:

متوسط القدرة = ٩٧,٥ kW

أقصى طلب خلال ٣٠ دقيقة في الفترة AB = ٢٧٠ kW

∴ عامل الحمل اليومي = ٩٧,٥ / ٢٧٠ = ٣٦,١٪

(٦-٢-٢) - عامل التواقت:

ويسمى أيضا عامل التطابق. من الضروري معرفة قيمة أقصى قدرة منقولة في كل أفرع الشبكة الكهربية وذلك للحصول على تصميم جيد لشبكة التوزيع. وحيث إن أقصى حمل لأي فرع بالشبكة الكهربية ليس بالضرورة حدوثه في نفس لحظة حدوث الحمل الأقصى في الأفرع الباقية لشبكة التوزيع لذا فإن ه عادة ما يكون أقصى حمل كلي لمصدر التغذى ة أقل من مجموع أقصى حمل لجميع الأحمال الفردية المغذاة من هذا المصدر. ومن المهم والضروري جدا أن يؤخذ هذا التنوع أو التباين في الاعتبار عند تصميم الشبكات الكهربية. ويقيس عامل التواقت تنوع الأحمال (load diversity) ويعرف كالآتي:

عامل التواقت = أقصى حمل كلي / مجموع أقصى حمل في كل أفرع الشبكة

كذلك يعرف عامل التواقت بأنه مقلوب عامل التباين أي أن :

عامل التواقت = ١ / عامل التباين

ويكون عامل التواقت أقل من الواحد الصحيح أو يساوي الواحد إذا كانت الأحمال القصوى لجميع أفرع الشبكة متزامنة.

(٧-٢-٢) - عامل التباين

عامل التباين هو النسبة بين مجموع أقصى طلب لكل حمل من الأحمال والطلب الأقصى للحمل الكلي.

بفرض أن P_n..... $P_1, P_2, P_3, \ldots$ هم الطلب الأقصى للأحمال و P_S هو الطلب الأقصى للحمل الكلي فإن عامل التباين لمجموعة هذه الأحمال هو:

عامل التباين = $(P_1+P_2+P_3.....P_n) / P_S$

من الواضح من المعادلة السابقة أن معامل التباين أكبر من الواحد ويساوي الواحد فقط في حالة أن تكون جميع الطلبات القصوى للأحمال متزامنة.

مثال: إذا كانت القيم المقاسة على عدادات أقصى طلب للأحمال هي ٥٩٥ ,١٦٠ ,٣٨٠ ,٤٣٥ ,٥٠٤ ,٦٢٠ W على التو إلى وأن عداد أقصى طلب على مصدر التغذى ة سجل القيمة ٩٠٠W وذلك نتيجة أن الطلب الأقصى لكل حمل لا يحدث في نفس وقت الطلب الأقصى لباقي الأحمال. احسب عامل التباين.

الحل : مجموع الطلب الأقصى للأحمال = ٦٢٠ +٥٠٤+٤٣٥+٣٨٠+١٦٠+٥٩٥= ٢٦٩٤ W

عامل التباين = ٢٦٩٤ /٩٠٠ = ٢,٩٩

(٨-٢-٢)- عامل السعة

أو عامل النفع أو عامل الوحدة الصناعية وهو النسبة بين الطاقة الفعلية الكلية المنتجة أو المستخدمة لفترة زمنية مخصصة و أقصى طاقة مقننة للوحدة الصناعية والتي تعمل عندها بصفة مستمرة

عامل الوحدة الصناعية السنوي = الطاقة الحقيقية المولدة سنويا/أقصى طاقة للوحدة الصناعية

(٩-٢-٢)- تنوع الحمل

هو الفرق بين مجموع أقصى حمل لعدد من الأحمال الفردية وبين ذروة الحمل الكلي أي أن:

تنوع الحمل = مجموع أقصى طلب للأحمال – أقصى طلب للحمل الكلي

مثال: يوضح شكل (٢,٣) منحنى الحمل اليومي لأحمال صناعية و آخرى سكنية كذلك الحمل اليومي الكلي تغذى من شبكة كهربية. احسب.

١ - عامل التباين ٢ -تنوع الحمل ٣ -عامل التطابق

الحل: من الشكل نجد أن.

- الأحمال الصناعية : الحمل الأقصى ٢٠٠٠kW عند الساعة ٥ P.M.

- الأحمال السكنية: الحمل الأقصى ٢٠٠٠kW عند الساعة ٩ P.M.
- للشبكة : الحمل الأقصى ٣٠٠٠kW عند الساعة ٦,٥P.M.

١ - عامل التباين = مجموع أقصى طلب / أقصى طلب لشبكة

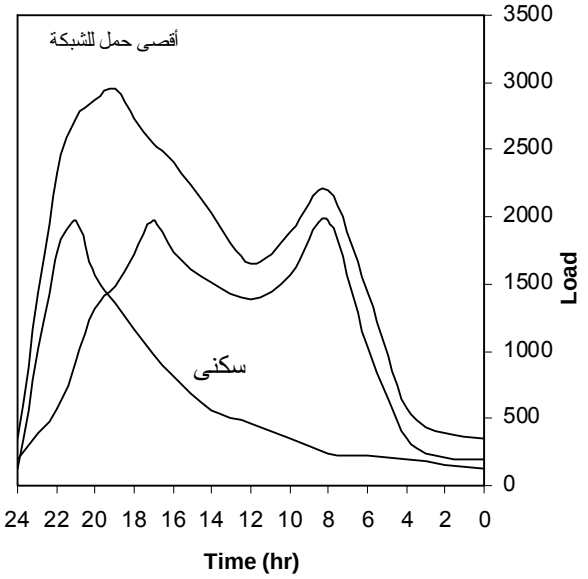
= (٢٠٠٠+٢٠٠٠) / ٣٠٠٠ = ١,٣٣

٣ - تنوع الحمل = مجموع أقصى طلب للحمل الصناعي والسكني – أقصى طلب للشبكة

= (٢٠٠٠+٢٠٠٠) – ٣٠٠٠ = ١٠٠٠ kW

٣ - عامل التطابق = ١ / عامل التباين

= ١ / ١,٣٣ = ٠,٧٥٢



شكل (٢,٣) منحنى الحمل اليومي لشبكة

(٣□٢) - خصائص الأحمال

يمتاز كل حمل في الشبكة الكهربية بخصائص معينة، أي أن الحمل يتغير بطريقة معينة على مدى اليوم وخلال السنة. وتعتمد التغيرات في الأحمال على عوامل مختلفة تصنف كالآتي:

١ - عوامل التقنيات الكهربية

٢ - عوامل المناخ وحالة الجو

٣ - عوامل العادات الفردية منها ساعات العمل وحجم العائلة في الأحمال السكنية.

وأحيانا تصنف على أنها:

١ - عوامل مباشرة

٢ - عوامل غير مباشرة

(٤□٢) - تغييرات الحمل

من المهم جدا معرفة منحنيات الأحمال لكل مستهلك والتي تستخدم لتصميم الشبكات وعمليات التشغيل. وتصنف منحنيات الأحمال إلي:

١ - منحنيات الحمل اليومي.

٢ - منحنيات الحمل السنوي

ولحساب أحمال مفردة ومتنوعة فإن ه يلزم استخدام منحنيات الأحمال لتصنيف الأحمال المختلفة ثم تضاف المنحنيات معا للحصول على منحنى حمل متنوع. ومعنى ذلك أنه يلزم إجراء ثلاث خطوات هي:

- قياس الأحمال المختلفة
- تحليل الأحمال
- التنبؤ بقيمة طلب الحمل من منحنيات الأحمال.

جدول (١□٢) يبين عامل الطلب لبعض الأحمال السكنية والتجارية وبعض الأحمال الصناعية

جدول (١□٢) عامل الطلب

نوع الحمل	عامل الطلب
سكن به من ٥□٣ حجرات	
سكن به أكثر من ٥ حجرات	٠,٨□٠,٦
متاجر (بدون تكييف)	٠,٦٥□٠,٤٥
مسارح (بدون تكييف)	٠,٨□٠,٦
دور السينما (بدون تكييف)	٠,٥
المستشفيات	٠,٩□٠,٧
الإضاءة	
التعقيم	
الغسالات	٠,٩
الأجهزة الطبية والأحمال الآخري	٠,٤
الأحمال الصناعية	٠,٦

محركات أغراض عامة، أوناش، مضخات	٠,٦
محركات مصانع الورق، تكرير البترول	
محركات مصانع الغزل والنسيج، مصانع	
الكيماويات	٠,٣
أفران قوسية	٠,٦
لحامات قوسية	٠,٩
	١,٠
	٠,٣

تبين الجداول الآتية الأحمال القياسية أو النوعية لأنظمة الإنارة والأجهزة الكهربية وبعض المباني المتخصصة.

جدول (٢□٢) الأحمال القياسية لأنظمة الأنارة للمرافق المختلفة

المرفق	الحمل (وات/متر مربع)
المدارس	٣٢,٢٨
البنوك	٢١,٥٢
المستشفيات	٢١,٥٢
الفنادق	٢١,٥٢
المتاجر	٣٢,٢٨
المساجد	١٠,٧٦
مواقف السيارات	٥,٣٧
المطاعم	٢١,٥٢
المكاتب	٥٣,٨
المستودعات	٢,٧
المسارح	١٠,٧٦

جدول (٣□٢) متوسط الأحمال الكهربية لبعض الأجهزة المنزلية

المعدة الكهربية	الحمل المقنن (وات)	حمل البدء (وات)
راديو (AM/FM)	٢٠٠□٥٠	٢٠٠□٥٠
مروحة	٢٠٠	٦٠٠
تليفزيون	٤٠٠□٣٠٠	٤٠٠□٣٠٠
فرن ميكرو ويف	٧٠٠	١٠٠٠
مكيف هواء (١٢٠٠٠ BTU)	٣٢٥٠	٥٠٠٠
مروحة فرن بمحرك شفط ١/٣ hP	٦٠٠	١٨٠٠
مكنسة كهربائية	٦٠٠	٧٥٠
ثلاجة	٨٠٠	٢٤٠٠
مجمد (ديب فريزر)	٥٠٠	١٥٠٠
منشار دائري	٢٥٠٠□١٠٠٠	٤٦٠٠□٢٣٠٠
منشار دائري ٦ بوصة	٨٠٠	١٠٠٠
كشافات إضاءة الشوارع	١٠٠٠	١٠٠٠

مثقاب كهربي ٠,٥ بوصة	١٠٠٠	١٢٥٠
محمصة الخبز (توستر)	١٢٠٠	١٢٠٠
جهاز تحضير القهوة	١٢٠٠	١٢٠٠
مضخة مياه ½ حصان	١٠٠٠	٣٠٠٠
مسخن حراري سطحي	١٥٠٠	١٥٠٠
سخان مياه	٥٠٠٠	٥٠٠٠
شاحن بطاريات ١٢ فولت تيار مستمر	١٢٠	١٢٠

تقنية التوزيع الكهربائي

الموزعات الكهربية

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

(١□٣) مقدمة

يحتاج كل حمل كهربائي إلى قيمة محددة من القدرة الكهربائية وتختلف قيمة هذه القدرة من حمل إلى آخر، ويجب أن نلبي احتياجات كل حمل، وكذلك حساب قيمة الجهد الكهربائي على أطراف الحمل وذلك بحساب هبوط الجهد عند كل نقطة يغذى منها الحمل. هناك عدة طرق مختلفة لتغذى ة الأحمال عن طريق الموزع وهي كالآتي:

١ - موزع يغذى من إحدى طرفيه.

٢ - موزع يغذى من كلا طرفيه بنفس الجهد.

٣ - موزع يغذى من كلا طرفيه بجهد مختلف.

٤ - موزع يغذى من أي نقطة (غير أطرافه)

٥ - موزع حلقي يغذى من نقطة واحدة.

مع الآخذ في ا لاعتبار أن هناك نوعان من الأحمال:

ا - حمل مركز ب - حمل منتظم (مثل إضاءة الشوارع)

وفي هذا الفصل سنستعرض كيفية حساب هبوط الجهد عند أي نقطة للموزع وكمية التيار في أجزاء الموزع باعتبار أن الحمل مركز ولن نتطرق في هذا الفصل إلى كيفية حساب هبوط الجهد وتوزيع التيار في حالة حساب الحمل المنتظم.

عند تصميم نظام التوزيع لابد من أخذ النقاط الآتية في عين الاعتبار:

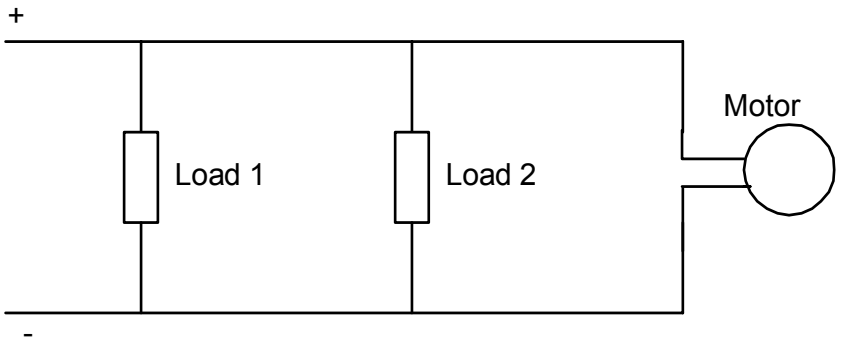
أ- أن لا يزيد هبوط الجهد عن المقدار المسموح به (في حدود ٥٪).

ب- أن تكون المفاقيد النحاسية أقل ما يمكن $(I^2 R)$.

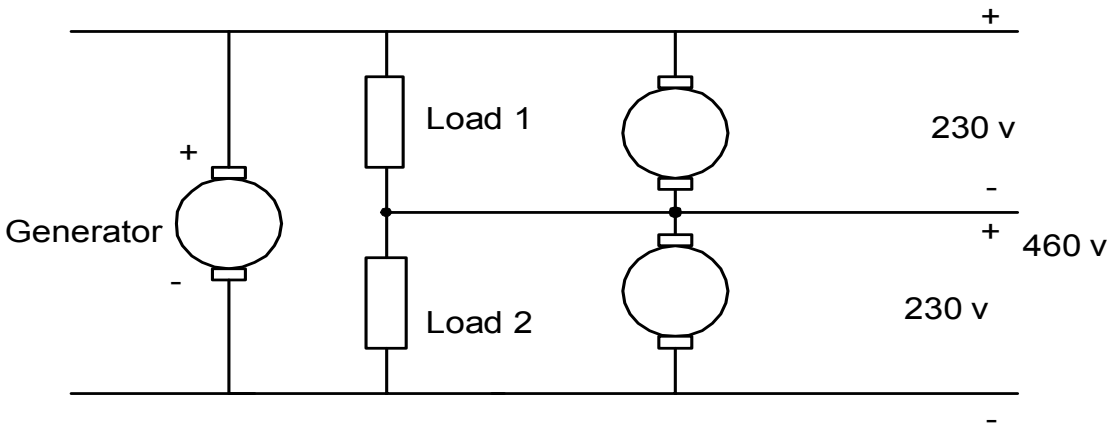
جـ أن براعى العامل الاقتصادي عند اختيار الكابل.

(٣ -٢) نظام توزيع ثلاثة موصلات وموصلين في التيار المستمر

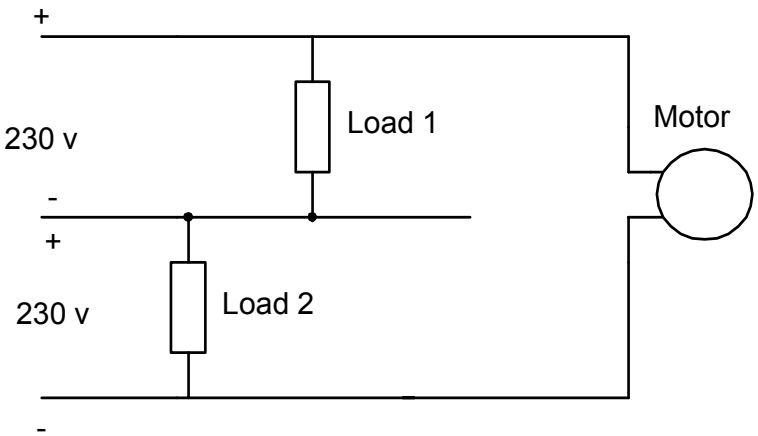
تنقل القدرة الكهربية في حالة التيار المتغير على خطوط نقل عالية الجهود لتقليل المفاقيد وزيادة كفاءة خط النقل ولكن في التيار المستمر لا يمكن تغيير الجهود إلا عن طريق المولدات. يوجد نظامان في نظم توزيع التيار المستمر هما التغذية من خلال موصلين أو ثلاثة موصلات. في حالة موصلين يكون أحد الموصلين موجب والآخر سالب والموصل الموجب للذهاب والسالب للإياب (وعند حساب هبوط الجهد نضاعف مقاومة الموصل الواحد). يبين الشكل (٣,١) طريقة التغذى ة بموصلين.



شكل (٣,١) طريقة التغذى ة في الموصلين تيار مستمر



شكل (٣,٢) طريقة التغذى ة في ثلاثة موصلات تيار مستمر



شكل (٣,٣) موزعات التيار المستمر ثلاثة موصلات

ولزيادة كفاءة نظام الموصلين يستخدم نظام الثلاثة موصلات ويمكن تقليل المفاقيد النحاسية في الموصلات لزيادة كفاءة النقل الكهربي. ويبين الشكل (٣,٢) والشكل (٣,٣) موزعات التيار المستمر ذات الثلاثة موصلات.

(٣-٣) حساب هبوط الجهد في موزعات التيار المستمر

(٣-٣-١) موزع يغذى من إحدى طرفيه

يبين شكل (٣-٤A) موزع يغذى من إحدى طرفيه بالتيار الكهربي. ويبين شكل(٣,٤A) مغذي (A-B) يغذي من نقطة A بالتيار الكهربي مع وجود أحمال مركزة وتتفرع التيارات (i_1,i_2,i_3,i_4) عند مراكز نقاط الأحمال (C,D,E,F) على الترتيب والتيارات في أجزاء الموزع هي (I_1,I_2,I_3,I_4) وقيم المقاومات لكل جزء من أجزاء المغذي هي (r_1,r_2,r_3,r_4) وقيم المقاومات من نقطة A إلى النقاط (C,D,E,F) هي (R_1, R_2, R_3, R_4).

بتطبيق قانون كيرشوف للجهود (مجموع هبوط الجهد=مجموع مصادر الجهد) على الموزع ، يكون هبوط الجهد على الموزع A-B هو:

$$V_{AB} = I_1 r_1 + I_2 r_2 + I_3 r_3 + I_4 r_4 \qquad (3\text{-}1)$$

وبتطبيق قانون كيرشوف للتيارات ينتج أن

$$\begin{aligned} I_1 &= i_1 + i_2 + i_3 + i_4 \\ I_2 &= i_2 + i_3 + i_4 \\ I_3 &= i_3 + i_4 \\ I_4 &= i_4 \end{aligned} \qquad (3\text{-}2)$$

من المعادلتين (٣-١) و (٣-٢) نستنتج الآتي:

$$V_{AB} = (i_1 + i_2 + i_3 + i_4)r_1 + (i_2 + i_3 + i_4)r_2 + (i_3 + i_4)r_3 + (i_4)\, r_4$$

$$V_{AB} = i_1 R_1 + i_2 R_2 + i_3 R_3 + i_4 R_4 \qquad (3\text{-}3)$$

من المعادلة (٣-١) والمعادلة (٣-٣) نستنتج أن هناك طريقتان لإيجاد هبوط الجهد. وتسمى المعادلة (٣-٣) بمعادلة العزوم ويمكن التعبير عنها كما يأتي:

مجموع هبوط الجهد للموزع A-B =
مجموع العزوم لكل من حمل التيار حول نقطة A

لإيجاد هبوط الجهد عند أي نقطة ولتكن نقطة E

$$V_{AB} = [i_1R_1 + i_2 R_2 + i_3 R_3]+ [i_4 + i_4 + i_5 \ldots.] R_3 \qquad (٣-٤)$$

وبمعنى آخر

هبوط الجهد عند نقطة E = مجموع العزوم إلى نقطة E
+ مجموع عزوم الأحمال بعد نقطة E

ويمكن إعادة كتابة المعادلتين (١-٣) و(٣-٣) كما يأتي:

$$V_{AB} = \frac{\rho}{A} \sum I_i l_i \qquad (3-5)$$

$$V_{AB} = \frac{\rho}{A} \sum i_i L_i \qquad (3-6)$$

حيث إن

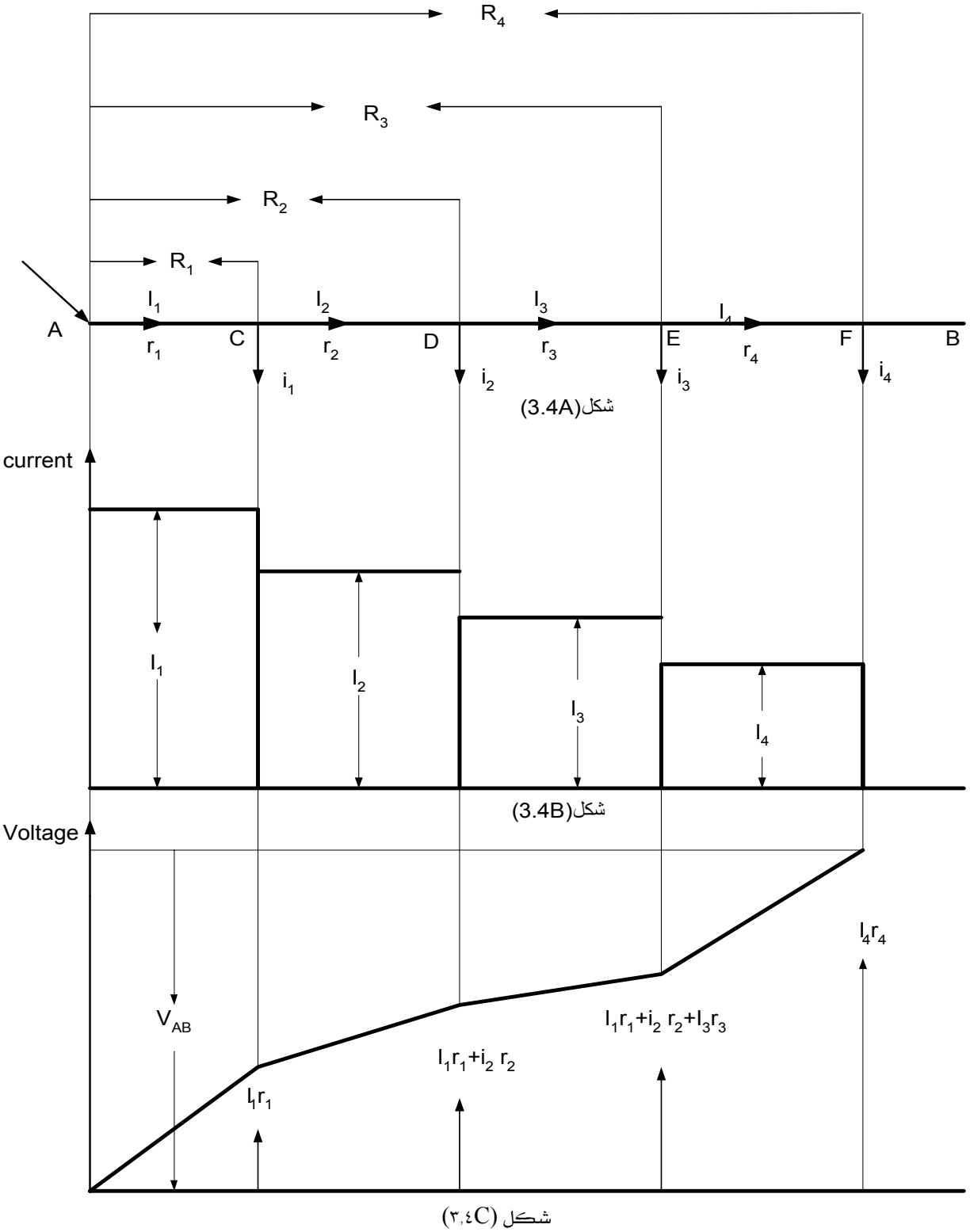
ρ = المقاومة النوعية للموزع (Ω. m)

A = حساب مقطع الموصل(m^2)

l_i = طول الموصل الخاص بكل مقطع من مقاطع الموصل (m)

I_i= التيار المار في كل مقطع من مقاطع الموزع (A)

i_i= التيار عند مركز من مراكز الأحمال. (A)



شكل (٣,٤C)

شكل (٣,٤) توزيع التيارات وهبوط الجهد لموزع يغذى من طرف واحد

يبين الشكل (٣,٤B) التيارات في أجزاء الموزع وكذلك يبين الشكل (٣,٤C) هبوط الجهد في المغذي.

مثال (١)

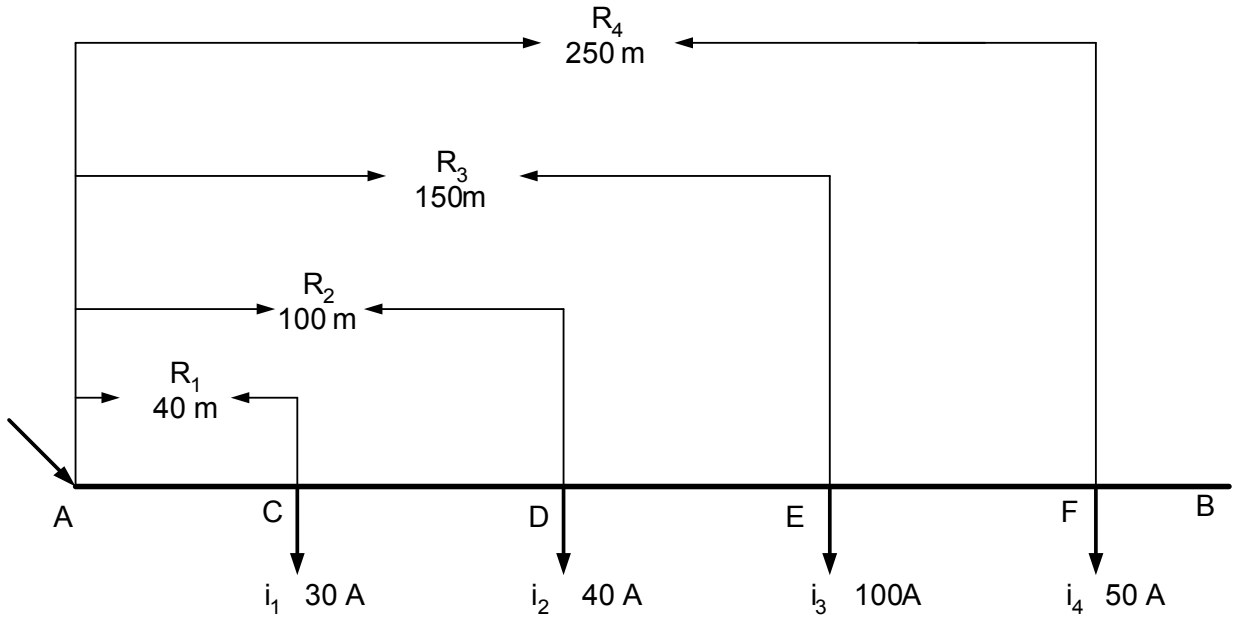
مغذى A-Bذو موصلين، تيار مستمر، طول الموصل m ٣٠٠ ويغذى من نقطة A، ويبين الجدول الآتي الأحمال وبعدها عن نقطة التغذية A

عند نقطة الأحمال	المسافة من نقطة التغذى ة A (بالمتر)	قيمة التيار (بالأمبير)
C	٤٠	٣٠
D	١٠٠	٤٠
E	١٥٠	١٠٠
F	٢٥٠	٥٠

فإذا كانت أكبر قيمة مسموح بها لهبوط الجهد لا تزيد عن V ١٠. أوجد مساحة مقطع الموزع AB . علماً بأن المقاومة النوعية للموصل هي $\rho=١,٧٨x١٠^{-٨}\ \Omega.m$

الحل

يمكن تحويل الجدول إلى الشكل (٣,٥) وبتطبيق قانون كيرشوف للجهود ينتج أن:



شكل (٣,٥)

هبوط الجهد لموصل واحد

$$V_{AB} = i_1R_1 + i_2R_2 + i_3R_3 + i_4R_4$$

هبوط الجهد لموصلين

$$V_{AB} = 2(i_1R_1 + i_2R_2 + i_3R_3 + i_4R_4)$$

$$R_{AC} = R_1 = \frac{\rho L}{A} = \frac{1.78 \times 10^{-8} \times 40}{A} \quad \Omega$$

$$R_{AD} = R_2 = \frac{\rho L}{A} = \frac{1.78 \times 10^{-8} \times 100}{A} \quad \Omega$$

$$R_{AE} = R_3 = \frac{\rho L}{A} = \frac{1.78 \times 10^{-8} \times 150}{A} \quad \Omega$$

$$R_{AF} = R_4 = \frac{\rho L}{A} = \frac{1.78 \times 10^{-8} \times 250}{A} \quad \Omega$$

$$V_{AB(max)} = 2\left[\frac{\rho L_1}{A} i_1 + \frac{\rho L_2}{A} i_2 + \frac{\rho L_3}{A} i_3 + \frac{\rho L_4}{A} i_4\right]$$

$$= 2\frac{\rho}{A}[L_1 i_1 + L_2 i_2 + L_3 i_3 + L_4 i_4]$$

$$= \frac{2 \times 1.78 \times 10^{-8}}{A}[30 \times 40 + 40 \times 100 + 100 \times 150 + 50 \times 250]$$

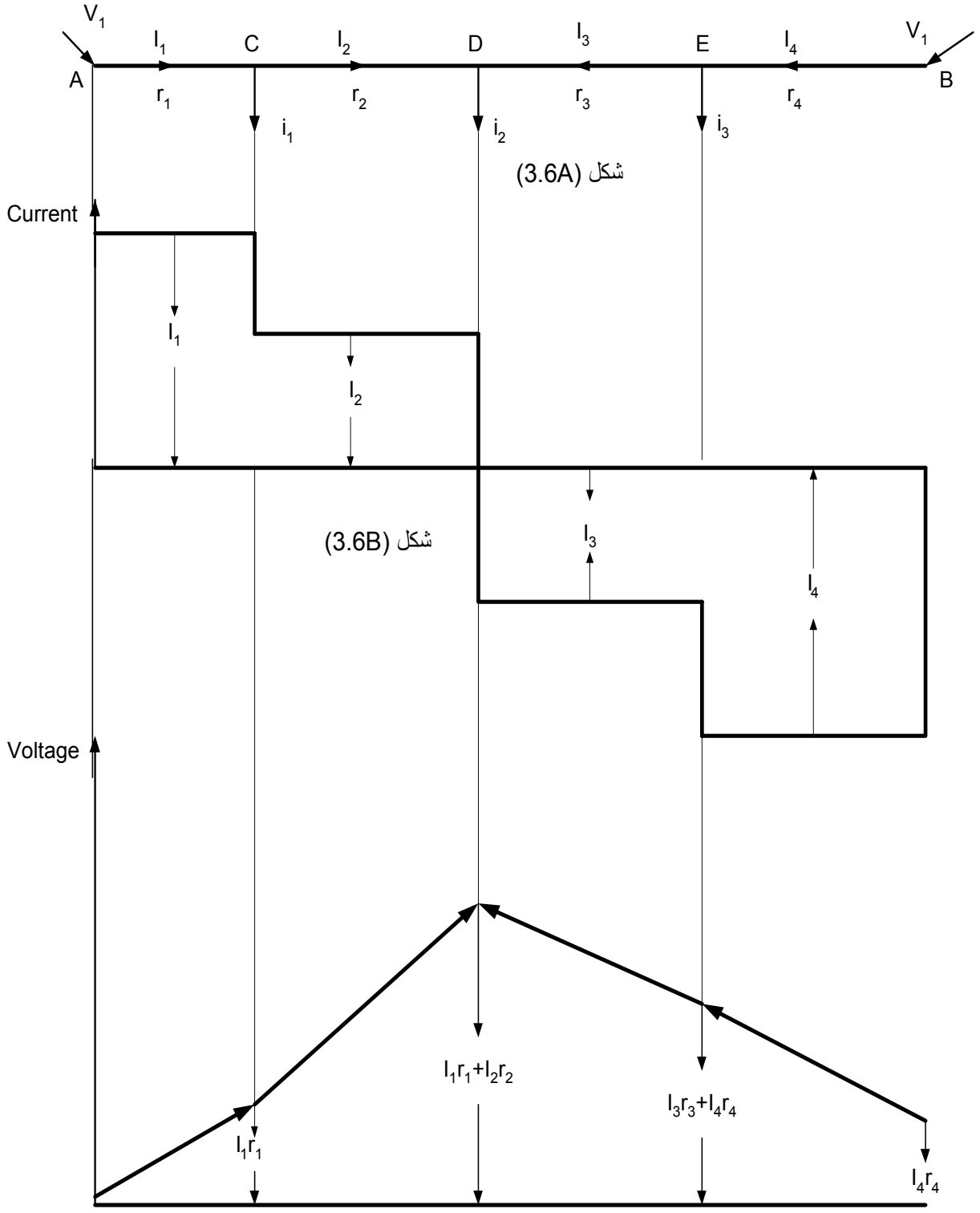
$$10 = \frac{2 \times 1.78 \times 10^{-8}}{A} \times 32700$$

$$A = 1.164 \times 10^{-4} \quad m^2$$

$$= 1.164 \ cm^2$$

(٢-٣-٣) الموزع يغذى من كلا طرفيه بجهد متساو

عندما يغذى الموزع من كلا طرفيه بجهد متساو نجد أن فرق الجهد بين طرفيه يساوي صفراً كما في شكل (٣,٦a). ويبين الشكل (٣,٦B) توزيع التيارات في الأجزاء المختلفة للموزع. كذلك يبين الشكل (٣,٦C) هبوط الجهد في أجزاء الموزع. نلاحظ في شكل (٣,٦B) أن التيار يمر من النقاط الأعلى جهدًا إلى النقاط الأقل جهدًا .وكذلك نلاحظ في شكل (٣,٦C) أن أكبر قيمة قصوى لهبوط الجهد هي القيمة التي يتلاقى عندها كل من التيارين وهي نقطة D.



شكل (٣,٦C)

يبين شكل (٣,٦) توزيع التيارات وهبوط الجهد لموزع يغذى من كلا طرفيه بنفس الجهد.

مثال (٢)

موزع F_1F_2 ذو موصلين تيار مستمر طول الموزع m ١٠٠٠ والجدول الت إلى يبين مقدار الأحمال والمسافة من نقطة التغذى ة F_1، الموزع يغذى من كلا طرفيه. حدد النقطة التي يكون عندها أقل جهد وما قيمة هبوط الجهد عند هذه النقطة ؟

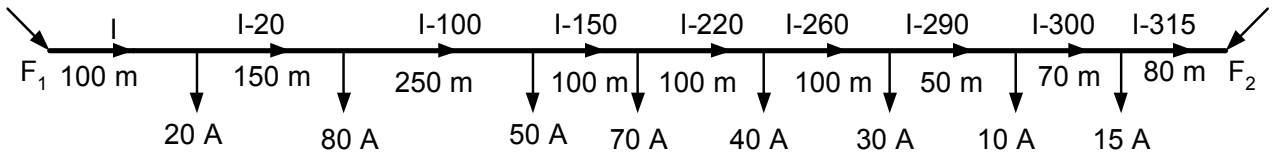
علماً بأن مساحة المقطع الموزع cm^2 ٠,٣٥ والمقاومة النوعية هي ρ= ١,٧٦٤x ١٠$^{-8}$ Ω.cm

البعد عن نقطة F_1 (بالمتر)	١٠٠	٢٥٠	٥٠٠	٦٠٠	٧٠٠	٨٠٠	٨٥٠	٩٢٠
تيارات الأحمال (بالأمبير)	٢٠	٨٠	٥٠	٧٠	٤٠	٣٠	١٠	١٥

الحل

يمكن تحويل الجدول إلى الشكل (٣,٧)

بفرض أن التيار المار من نقطة التغذى ة F_1 هو I. بتطبيق قانون كيرشوف للتيارات عند كل نقطة حمل يمكن توزيع التيارات كما في شكل (٣,٧) .



شكل (٣,٧)

بتطبيق قانون كيرشوف للجهود كما يأتي:

فرق الجهد بين نقطتي F_1F_2 تساوي صفر أي أن $V_{F_1F_2}=0$

المقاومة لموصل واحد $R_1=\frac{\rho l}{A}=\frac{1.764\,x10^{-8}x100}{0.35}$

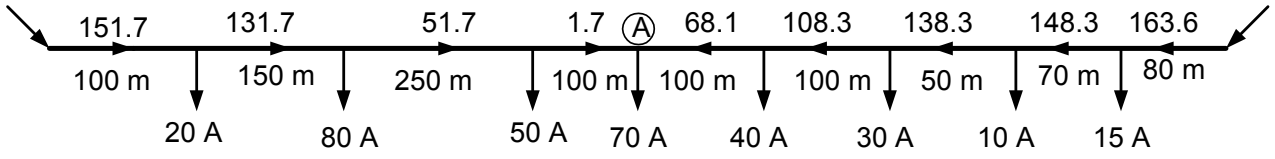
المقاومة للموصلين $=2X5.04X10^{-8}=10.08x10^{-4}$ Ω/m

$$V_{F_1F_2} = 0 = \frac{\rho}{A}\sum l_i I_i$$

$$=10.8x10^{-4}[100I+150(I-20)+250(I-100)+100(I-150)$$
$$+100(I-220)+100(I-260)+50(I-290)+70(I-300)$$
$$+80(I-315)]$$

$$1000I=151700$$
$$I=151.7$$

بالتعويض عن قيمة التيار I وقيمته ١٥١,٧A في شكل (٣,٧) يمكننا الحصول على توزيع التيارات في كل جزء من أجزاء الموزع كما في الشكل (٣,٨).



شكل(٣,٨)

يلاحظ أن النقطة A عندها أكبر قيمة في هبوط الجهد في الموزع F_1F_2 ، ولحساب الجهد عند النقطة A وبتطبيق قانون كيرشوف للجهود كما يلي:

هبوط الجهد عند نقطة A $= R_2\sum l_i I_i$

$$=10.08x10^{-4}[100x151.7+150x131.7+250x51.7+100x1.7$$
$$=10.08x10^{-4}x48020=48.4 \quad volt$$

(٣□٣□٣) موزع يغذى من كلا طرفيه بجهد غير متساو

لا تختلف طريقة الحساب عنها في الموزع الذي يغذى من كلا طرفيه بجهد متساوي والفرق الوحيد هو أن فرق الجهد بين الطرفين لا يساوي صفر وهو الفرق بين الجهدين.

مثال (٣)

موزع A-Bيغذى من كلا طرفيه والجهد عند نقطة A يساوي V ٢٣٦ والجهد عند نقطة B يساوي V ٢٣٧وطول الموزع m ٢٠٠ والجدول الآتي يبين مقدار الأحمال والمسافة من نقطة التغذى ة A إلى الأحمال المختلفة.

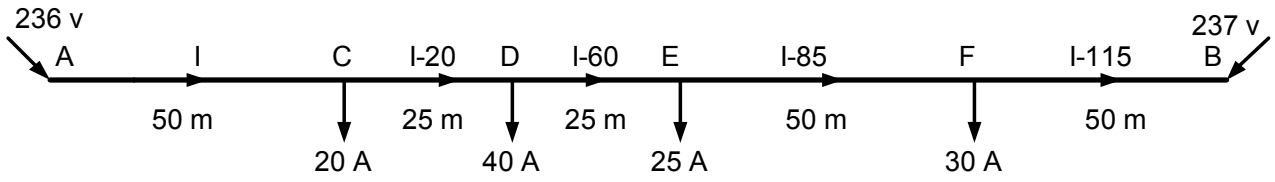
نقط الأحمال	المسافة من نقطة A (بالمتر)	تيارات الأحمال (بالأمبير)
C	٥٠	٢٠
D	٧٥	٤٠
E	١٠٠	٢٥
F	١٥٠	٣٠

علماً بأن قيمة المقاومة لموصل واحد هي ٠,٤ Ω/Km.

احسب قيمة التيار في كل جزء من أجزاء الموزع المختلفة وقيمة أقل جهد وما هي النقطة التي عندها الجهد الأقل .

الحل

يمكن تحويل الجدول السابق إلى الشكل (٣,٩) ، وبفرض أن قيمة التيار الكلي عند نقطة A هو I ، يكون توزيع التيارات في المغذي كما في الشكل (٣,٩)



شكل (٣,٩)

المقاومة لموصل واحد $R_1 = \frac{0.4}{1000} = 4X10^{-4}\ \Omega/m$

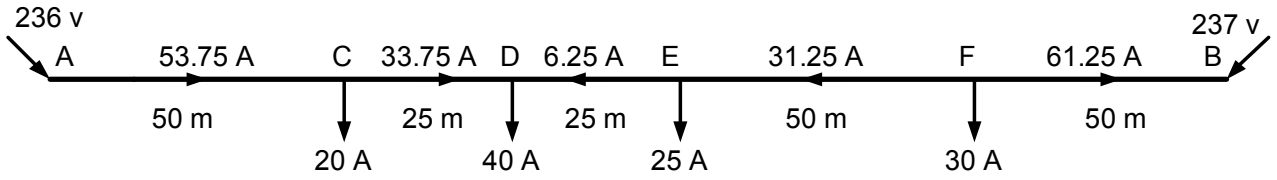
مقاومة للموصلين $R_2 = = 2X4X10^{-4}\ \Omega/m$

$$V_{AB} = V_A - V_B = 236 - 237 = -1 \text{ volt}$$

$$-1 = R_2 \sum l_i I_i$$
$$-1 = 8x10^{-4}[50I + 25(I-20) + 25(I-60) + 50(I-85) + 50(I-115)]$$
$$-1 = 8x10^{-4}[200I - 12000]$$

$$I = 53.75 \text{ A}$$

ويكون توزيع التيارات كما في الشكل (٣,١٠)



شكل (٣,١٠)

من الشكل (٣,١٠) نجد أن النقطة التي عندها أقل جهد هي نقطة D وتبعد عن نقطة Aبمقدار ٧٥ m (وتبعد عن نقطة B ١٢٥ m)

هبوط الجهد عن نقطة D

$$V_{AD} = R_2 \sum I_i l_i$$

$$= 8x10^{-4}(50x53.75 + 25x33.75)$$

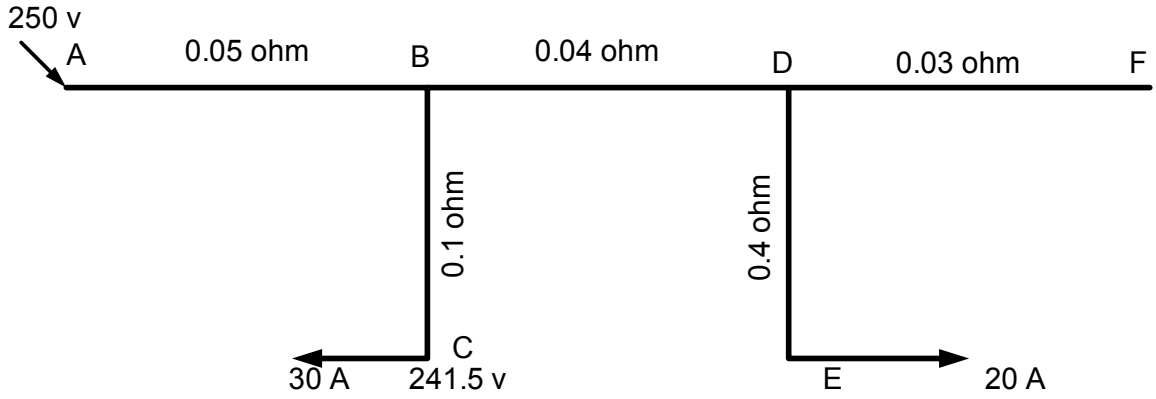
$$V_D = V_A - V_{AD} = 236 - 2.82 = 233.18 \quad \text{volt}$$

مثال(٤)

موزع تيار مستمر ذو موصلين قيمة المقاومات كما في الشكل (٣,١١) للذهاب وللإياب

أ- أوجد قيمة الجهد عند نقطة E

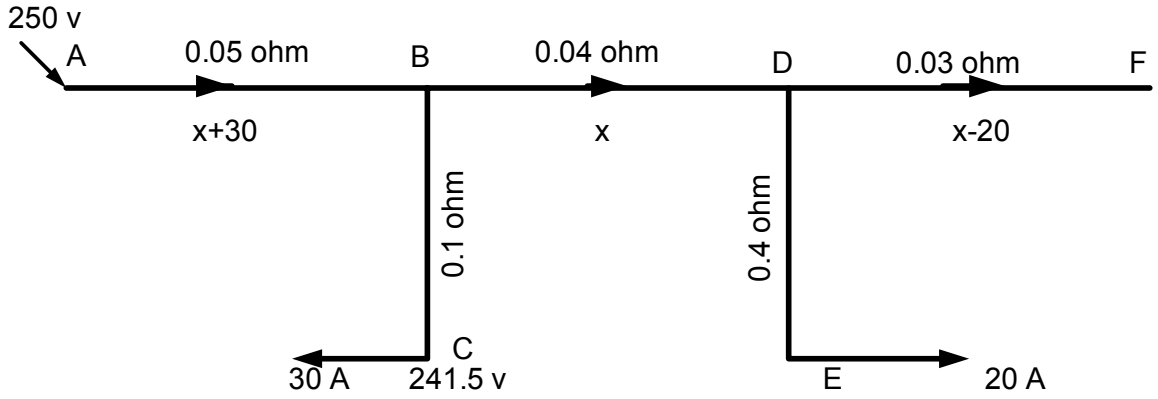
ب-أوجد قيمة الجهد عند نقطة F



شكل (٣,١١)

الحل

نفرض أن التيار المار من BD مقداره x وبتطبيق قانون كرشوف للتيارات يكون توزيع التيارات كما هو مبين في الشكل (٣,١٢)



شكل (٣,١٢)

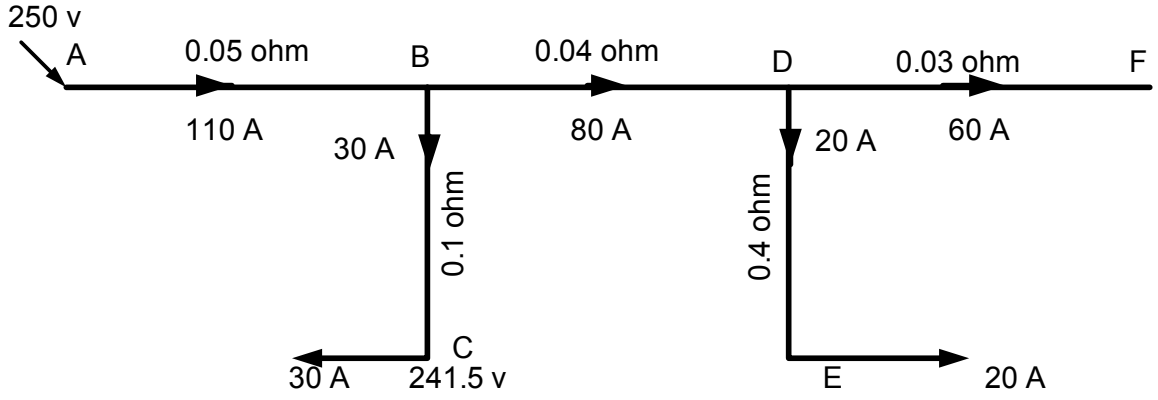
وبتطبيق قانون كيرشوف للجهود في المسار ABC

$$V_{AC}=250-241.5=8.5 \text{ volt}$$
$$=(x+30)0.05+0.1X30$$
$$=0.05x+1.5+3$$
$$4 =0.05x$$
$$x=\frac{4}{0.05}=80 \text{ A}$$

وبالتعويض عن قيمة التيار x=٨٠ A يكون التيار كما هو مبين في الشكل (٣,١٣)

ولإيجاد قيمة الجهد عند نقطة E

$$V_E=250-0.05x110\text{-}80x0.04\text{-}0.4x20=250\text{-}16.7$$
$$=233.3 \text{ volt}$$



شكل (٣,١٣)

ولإيجاد قيمة الجهد عند نقطة F

$$V_F = 250 - 0.05x110 - 0.04x80 - 0.03x60$$
$$= 250 - 5.5 - 3.2 - 1.8$$
$$= 239.5 \quad volt$$

مثال (٥)

موزع AB ذو موصلين تيار مستمر طوله ١٠٠٠ m ومقدار الأحمال وقيم التيار كما في الجدول الت إلى :

المسافة بين الأحمال ونقطة التغذى ة A (بالمتر)	٢٠٠	٥٠٠	٨٠٠	٩٠٠
قيم الأحمال (بالأمبير)	٥٠	٢٠	٣٠	١٠

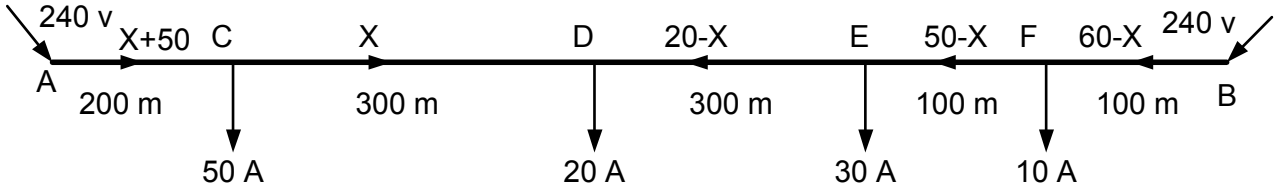
ويغذى من كلا طرفيه من النقطة Aبمقدار ٢٥٠ V ونقطة B بمقدار ٢٤٠ V .

احسب مساحة مقطع الموزع بحيث لا يقل الجهد في أي نقطة عن ٢٣٠ V ، علماً بأن المقاومة النوعية للموصل $\rho=1.72x10^{-6}\ \Omega.cm$

الحل

يمكن تحويل الجدول إلى الشكل (٣,١٤)

بفرض أن أقل هبوط للجهد عند النقطة Dوكذلك بغرض أن قيمة المقاومة للموزع للموصلين هما (R Ω/m)



شكل (٣,١٤)

وبفرض أن التيار المار في الجزء CD هو x ، يكون توزيع التيارات كما هي في الشكل (٣,١٤)

هبوط الجهد BD- هبوط الجهد AD $= 250 - 240 = 10$ volt

$$= R[(x+50)200+300x] - R[(20-x)300+(50-x)100+(60-x)100]$$
$$= 100R[(2x+100+3x)-(60-3x+50-x+60-x)]$$
$$= R[100(10x-70)]$$
$$0.01 = R(x-7) \qquad (I)$$

المعادلة (I) في مجهولين فيجب إيجاد معادلة آخرى لنفس المجهولين

هبوط الجهد بين النقطتين AD

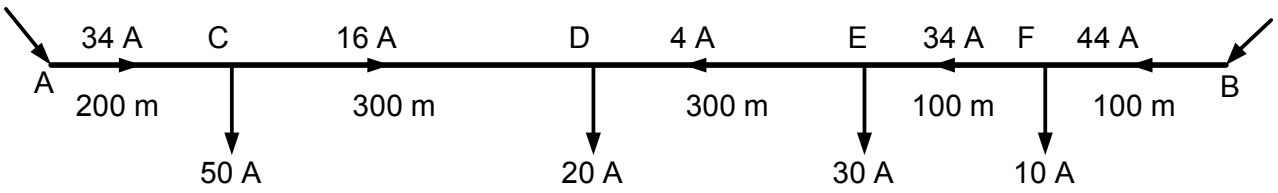
$$V_{AD} = 250-230 = R[200(50+x)+300x]$$
$$20 = R[100(2x+100+3x)]$$
$$0.04 = R(x+20) \qquad (II)$$

بقسمة المعادلة (I) على المعادلة (II)

$$\frac{x-7}{x+20} = 0.25$$
$$4x-28 = x+20$$
$$3x = 48$$
$$x = 16 \text{ A}$$

وبالتعويض عن قيمة التيار x=١٦ A يكو ن التوزيع كما في الشكل (٣,١٥)

من الشكل(٣,١٥) نجد أن النقطة D هي أقل جهد في الموزع. وبالتعويض في المعادلة (I) عن قيمة x



شكل (٣,١٥)

$$R(16-7) = 0.01$$

المقاومة للموصلين

$$R = 0.00111 \ \Omega/m$$

المقاومة للموصل واحد

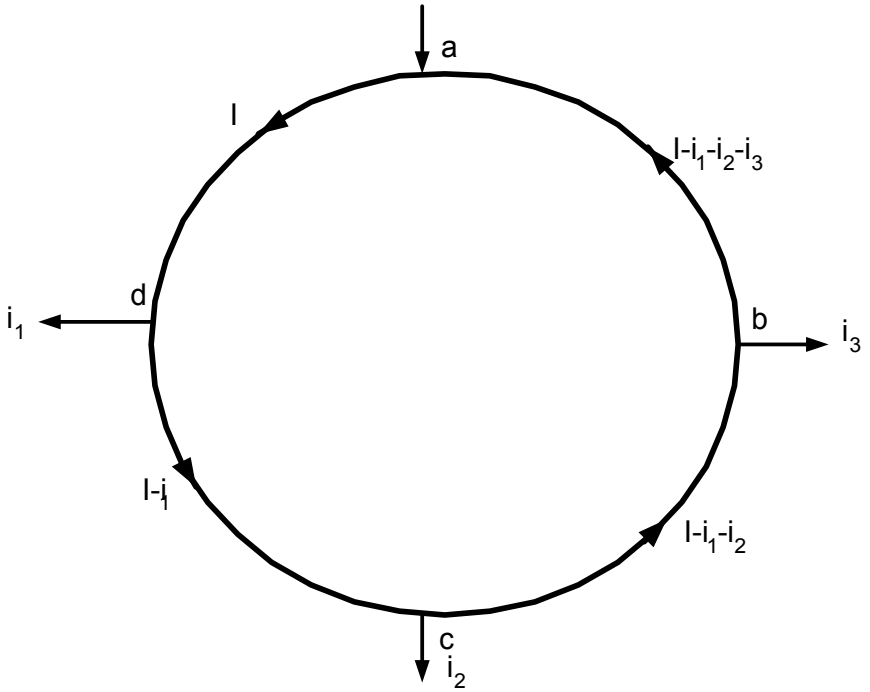
$$R = 5.55x10^{-4} \quad \Omega/m$$

لإيجاد مساحة مقطع الموصل

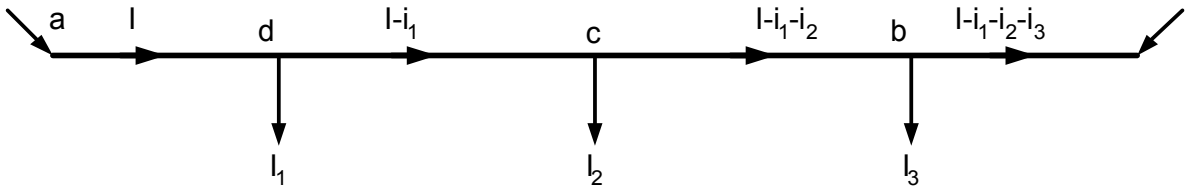
$$R = \frac{\rho l}{A}$$
$$A = \frac{\rho l}{R}$$
$$= \frac{1.72x10^{-8}x100}{5.55x10^{-6}} = 0.312 \text{ cm}^2 = 31.2 \text{ mm}^2$$

(٤-٣-٣) الموزع على شكل حلقي (Ring distributor)

يعامل الموزع الحلقي الذي يغذى من نقطة واحدة نفس معاملة الموزع الإشعاعي (الطولي) الذي يغذى من كلا طرفيه بجهد متساوي كما هو موضح في الشكل (٣,١٦) و (٣,١٧)



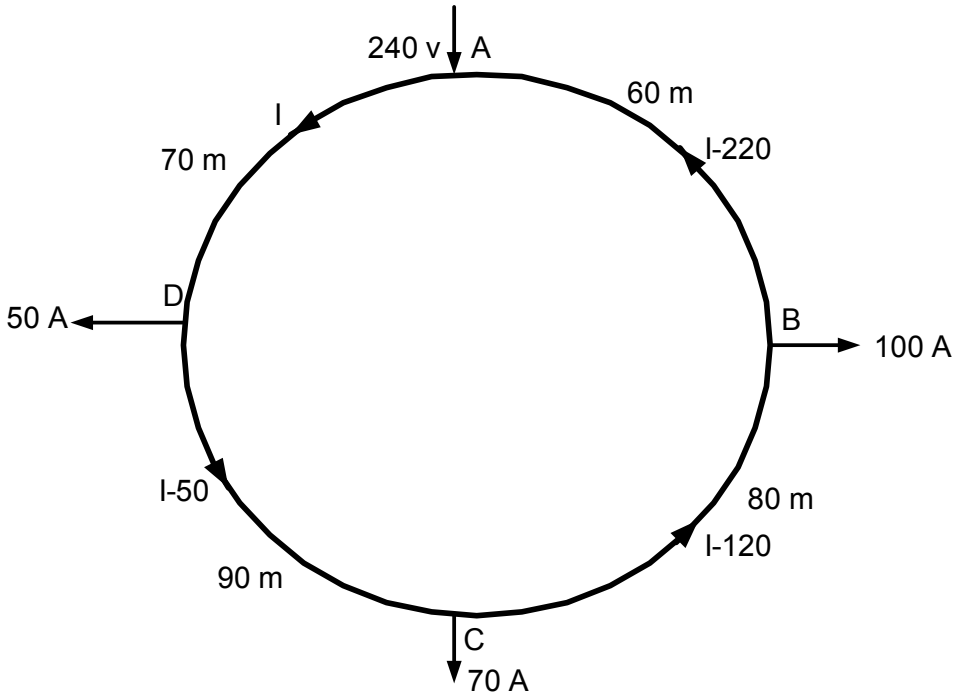
شكل (٣,١٦) موزع حلقي يغذى من نقطة واحدة



شكل (٣,١٧) تمثيل موزع حلقي وكأنه على شكل شعاع

مثال (٦)

موزع حلقي محمل بتيارات كما في الشكل (٣,١٨) علماً بأن قيمة المقاومة لكل موصل هي ٠,٢ Ω/km أوجد قيمة الجهد عند النقاط B,C,D



شكل (٣,١٨)

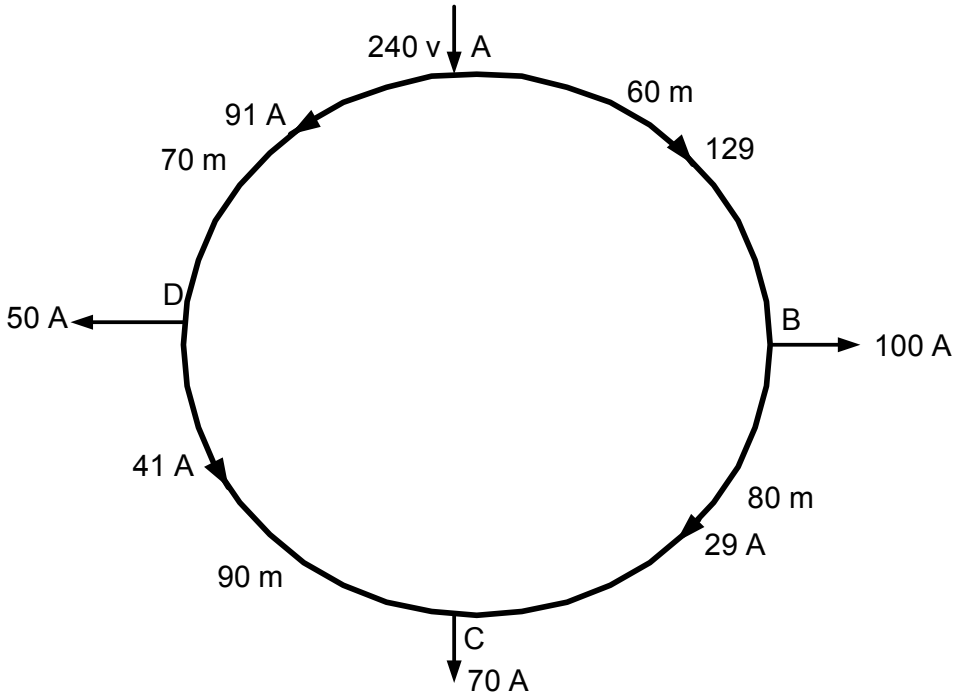
الحل

بفرض أن قيمة التيار الكلي بين النقطتين A, D هو I ويمكننا توزيع التيارات كما في الشكل(٣,١٨)

$$V_{AA} = V_A - V_A = 0$$
$$0 = R\sum l_i I_i$$
$$0 = \sum l_i I_i$$

$$= 70\,I + 90(I\text{-}50) + 80(I\text{-}120) + 60(I\text{-}220)$$
$$300\,I = 27300$$
$$I = 91\,A$$

ويبين الشكل (٣,١٩) توزيع التيارات في كل جزء من أجزاء الموزع



شكل (٣,١٩)

نجد أن أقل جهد هو عند نقطة C ولحساب الجهود عند النقاط B,C, D نوجد هبوط الجهد كما يلي

$$V_{AD}=2[91X70X\frac{0.2}{1000}]=2.55 \text{ volt}$$

$$V_{DC}=2[41X90X\frac{0.2}{1000}]=1.48 \text{ volt}$$

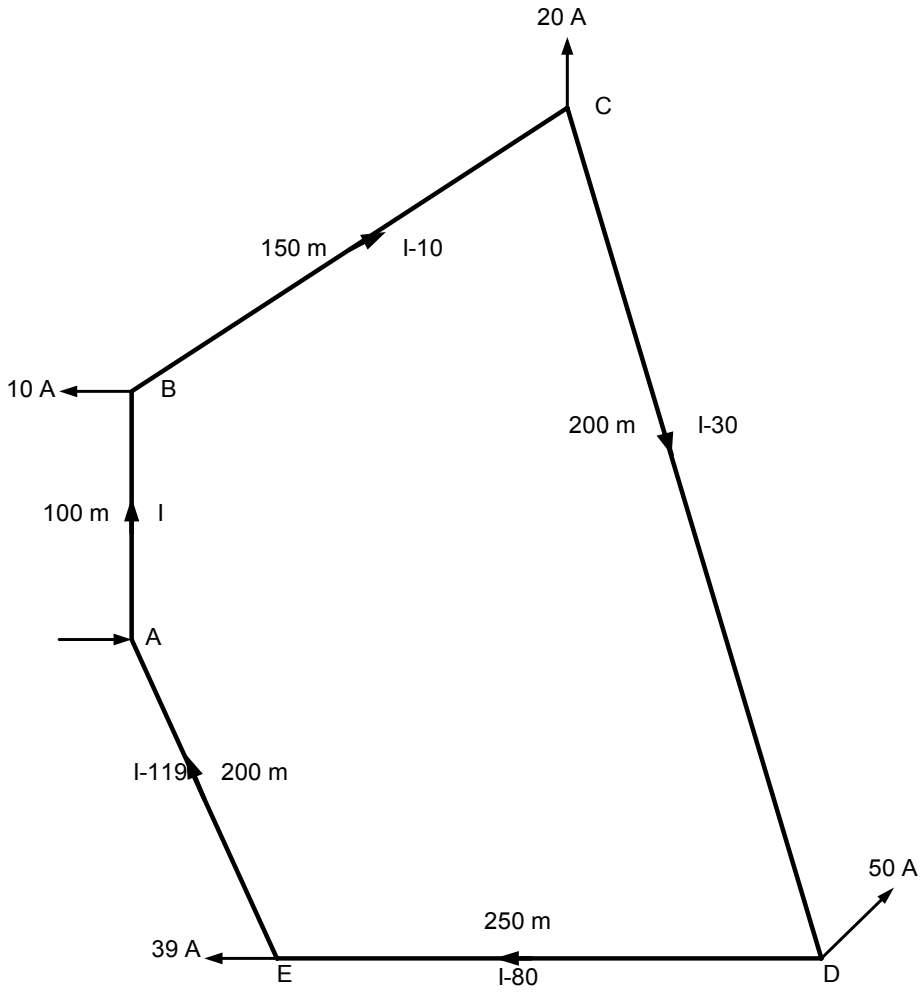
$$V_{CB}=2[29X80X\frac{0.2}{1000}]=093 \text{ volt}$$

$$V_{BA}=2[129X60X\frac{0.2}{1000}]=3.1 \text{ volt}$$

$$V_D=240-2.55=237.45 \text{ volt}$$
$$V_C=237.5-1.48=235.97 \text{ volt}$$
$$V_B=240-3.1=236.9 \text{ volt}$$

مثال (٧)

موزع على شكل حلقي كما في الشكل (٣,٢٠) ويغذى من نقطة A أوجد التيار الكلي من نقطة التغذى ة.



شكل (٣,٢٠)

الحل

نفرض أن التيار المار من نقطة A إلى نقطة B هو I وبتطبيق قانون كيرشوف للجهود حول ABCDEA

$$V_{AA} = 0 = \sum l_i I_i$$

$$= 100\,I + 150(I\text{-}10) + 200(I\text{-}30) + 250(I\text{-}80) + 200(I\text{-}119)$$
$$900I = 51300$$
$$I = 57\ A$$

(٣ -٤) حساب هبوط الجهد في موزعات التيار المتردد

(١-٤-٣) حساب هبوط الجهد مع إهمال المانعة الحثية

لكيفية حساب مساحة مقطع الموصل في موزعات التيار المتردد وتوزيع التيارات في الموزع سنبدأ في إهمال قيمة المقاومة الحثية X واعتبار مقاومة الموزع فقط R ، ويعامل هبوط الجهد في موزعات التيار المتردد أحادي الوجه معاملة هبوط الجهد في موزع التيار المستمر.

هبوط الجهد في الموزع هو:

$$\Delta V = \frac{2\rho}{A}\sum I_i l_i \qquad (3\text{-}7)$$

من المعادلة (٣-٧) يمكن حساب مقطع الموصل كما يلي:

$$A = \frac{2\rho}{\Delta V_p}\sum I_i l_i \qquad (3\text{-}8)$$

حيث إن

ΔV_P = أقصى قيمة لهبوط الجهد المسموح بها بالفولت

قيمة هبوط الجهد المسموح بها مقدرة بنسبة مئوية من الجهد المقنن V_r هي:

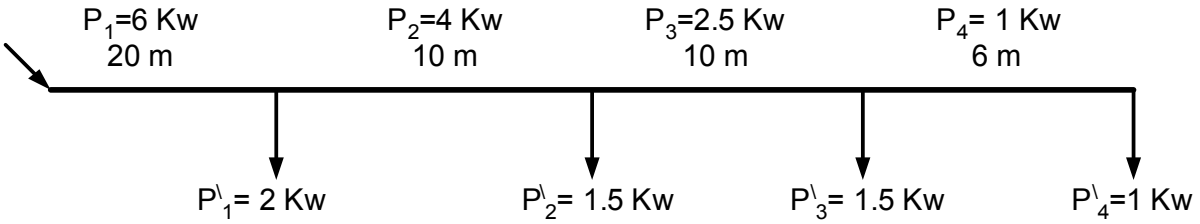
$$\Delta V\,\% = \frac{\Delta V}{V_r}\,x\,100\%$$

وغالباً ما تعطي الأحمال بالوات ولا تعطي بالأمبير لذلك فإذا افترضنا أن P هو الحمل بالكيلو وات في أجزاء الموزع وكذلك بالكيلو وات P' في نقاط اتصال الحمل فيصبح هبوط الجهد بالفولت كما يلي :

$$\Delta V = \frac{2x10^3\,\rho}{AV_r}\sum P_i' L_i \qquad (3\text{-}9)$$

مثال (٨)

احسب هبوط الجهد في موزع أحادي الوجه كما في الشكل (٣,٢١) إذا كان الجهد المقنن هو ٢٢٠ v وكان الموزع مصنوع من النحاس ومساحة مقطعه ٦ mm^2 والموصلية للنحاس ٥٦ m/ =١/ρ $\Omega.mm^2$



شكل (٣,٢١)

الحل

$$\Delta V=\frac{2x10^3\rho}{AV_r}\sum P_i' L_i$$

$$=\frac{2\,x10^3}{56\,x\,6\,x\,220}(6\,x\,20+4\,x\,10+2.5\,x\,10+1.0\,x\,6)$$

$$=5.16 \quad volt$$

$$\Delta V=\frac{\Delta V}{V_r}\,x100$$

$$=\frac{5.16}{220}\,x100$$

$$=2.35\ \%$$

(٢-٤-٣) حساب هبوط الجهد مع وجود المعاوقة الكلية للموزع

يجب الأخذ في الاعتبار العوامل الآتية عند حساب هبوط الجهد مع عدم إهمال الممانعة الحثية X، في موزعات التيار المتردد:

أ- اختلاف معامل القدرة للأحمال بالموزع.

ب- جمع التيارات جمعا إتجاهياً.

جـ - هبوط الجهد لا يكون نتيجة المقاومة الأومية فقط ولكن كذلك الممانعة الحثية

ويمكن حساب هبوط الجهد كما بالمعادلة الآتية:

$$\Delta V = \sum I_i[(\text{Cos}\,\Phi_i + j\text{Sin}\,\Phi_i)(R_i + jX_i)] \qquad (3-10)$$

حيث

$\text{Cos}\,\Phi_i$ = معامل القدرة

.ويمكن استخدام المعادلة التقريبية.

$$\Delta V = \sum\ I_i(\ R_i\,\text{Cos}\,\Phi_i + X_i\,\text{Sin}\,\Phi_i\ ) \qquad (3-11)$$

ولا يمكن استخدام هذه المعادلة في الموزعات الحلقية.

والمثال الت إلى يوضح استخدام المعادلتين (الدقيقة والتقريبية) والفرق بينهما من حيث سهولة الحسابات والدقة.

مثال (٩)

موزع تيار متغير طوله ٥٠٠ m والمعاوقة الكلية للموزع $Z=٠,٠٢+j٠,٠٤\ \Omega$ يغذي من إحدى نهايتيه بمقدار ٢٥٠V بالأحمال الآتية:

أ - حمل مقداره ٥٠ A ومعامل قدرته $pf=١$ ويبعد ٢٠٠ m من نقطة التغذى ة

ب - حمل مقداره ١٠٠ A ومعامل قدرته $pf=٠,٨$ متآخر ويبعد ٣٠٠ m من نقطة التغذى ة

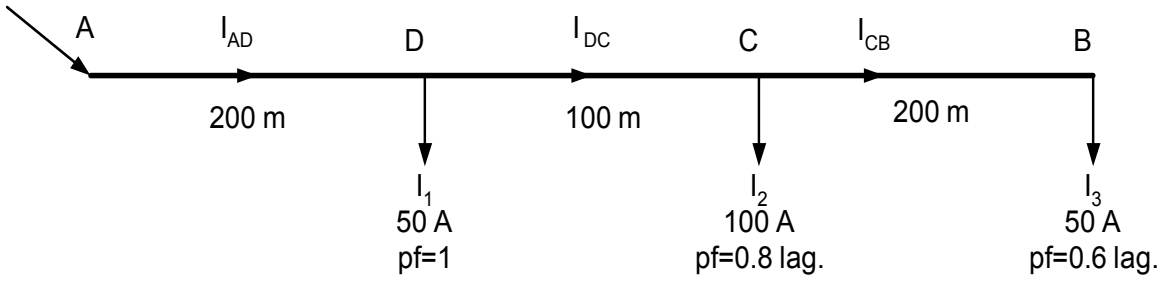
جـ حمل مقداره ٥٠ A ومعامل قدرته $pf=٠,٦$ متآخر ويبعد ٥٠٠ m من نقطة التغذى ة

احسب هبوط الجهد الكلي في الموزع بالطريقة الصحيحة وبالطريقة التقريبية

الحل

أولا : الطريقة الصحيحة

يبين الشكل (٣,٢٢) موزع أحادي الوجه. بفرض أن التيارات موزعة كما في الشكل.



شكل (٣,٢٢)

$$I_{AD} = I_1 + I_2 + I_3$$
$$= (50 + j\,0) + 100\,(\,0.8 - j\,0.6) + 50(0.6 - j0.8)$$

$$= 160 - j100 \quad A$$

$$Z_{AB} = Z_T \times \frac{l_{AD}}{l_T} = \frac{200}{500}(0.02 + j0.04)$$
$$= 0.008 + j0.016 \ \Omega$$

$$\Delta V_{AD} = (160 - j100)(0.008 + j0.016)$$
$$= 2.88 + j1.76 \text{ volt}$$

$$Z_{DC} = \frac{100}{500}(0.02 + j0.04)$$
$$= 0.004 + j0.008 \quad \Omega$$
$$I_{DC} = I_1 + I_2$$
$$= (160 - j100) - (50 - j0)$$
$$= 110 - j100 \text{ A}$$

$$\Delta V_{DC} = I_{DC} Z_{DC}$$
$$= (110 - j100)(0.004 + j0.008)$$
$$= 1.24 + j0.48 \quad \text{volt}$$

$$I_{DC} = I_3 = 50(0.6 - j0.8)$$
$$= 30 - j40 \quad A$$
$$Z_{CB} = Z_{AD} = 0.008 + j0.016 \ \Omega$$
$$\Delta V_{CB} = (30 - j40)(0.008 + j0.016)$$
$$= 0.88 + j0.16 \quad \text{volt}$$

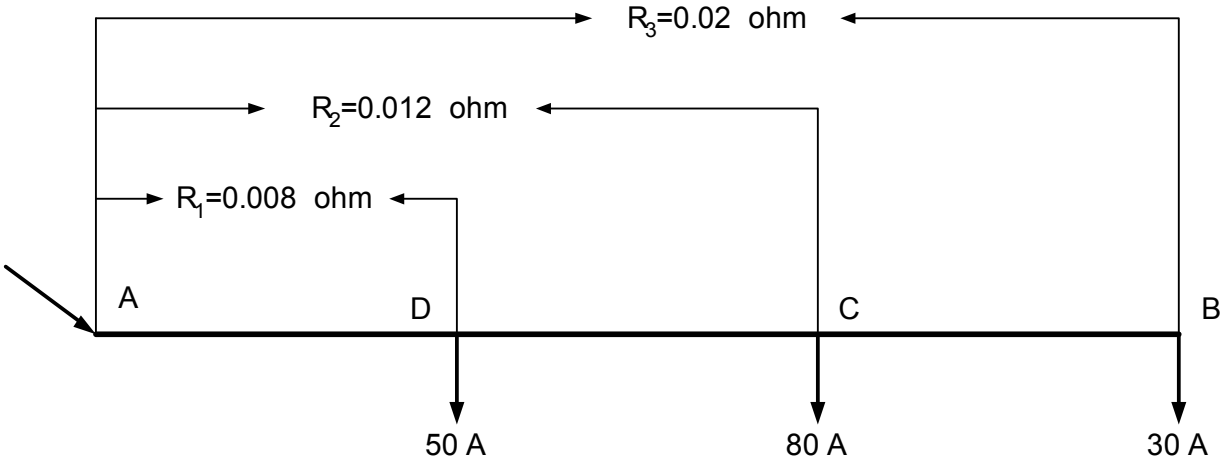
هبوط الجهد الكلي

$$\Delta V_T = \Delta V_{AD} + \Delta V_{DC} + \Delta V_{CB}$$
$$= (2.88 + j1.76) + (1.24 + j0.48) + (0.88 + j0.16)$$
$$= 5 + j2.4$$
$$V_B = V_A - \Delta V_T$$
$$= 250 \angle 0 - (5 + j\,2.4)$$
$$= 245 - j2.4 \quad \text{volt}$$
$$|V_B| = \sqrt{245^2 + 2.4^2} = 245.0118 \cong 245 \quad \text{volt}$$

ثانيا: الطريقة التقريبية

وفي الطريقة التقريبية نقسم الجزء الحقيقي في دائرة والجزء التخيلي في دائرة آخرى

ونرسم الدائرة التي تمثل الجزء الحقيقي كما في الشكل (٣,٢٣)



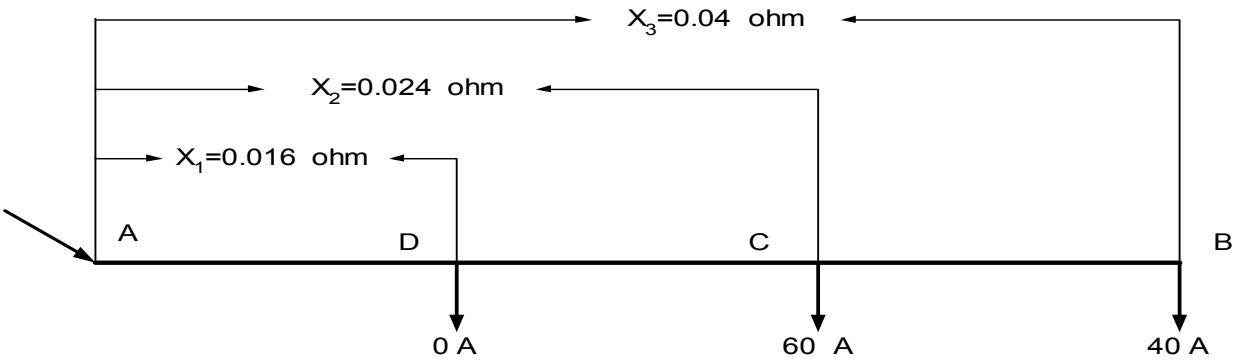
شكل (٣,٢٣)

$I_1 = 50\ A$ $I_2 = 100 \times 0.8 = 80\ A$ $I_3 = 50 \times 0.6 = 30\ A$

لحساب هبوط الجهد نتيجة الجزء الحقيقي

$$\Delta V_R = \sum I_R R$$
$$= 50 \times 0.008 + 80 \times 0.012 + 30 \times 0.02 = 1.96 \quad volt$$

لحساب هبوط الجهد نتيجة الجزء التخيلي ويوضح ذلك بالشكل (٣,٢٤)



شكل (٣,٢٤)

$$\Delta V_m = \sum I_m X$$
$$= 60 \text{ x } 0.024 + 40 \text{ x } 0.04 = 3.04 \text{ volt}$$
$$\Delta V_T = \Delta V_R + \Delta V_m = 1.96 + 3.04 = 5 \quad \text{volt}$$
$$V_B = V_A - \Delta V_T$$
$$= 250 - 5 = 245 \text{ volt}$$

ونلاحظ أنه لا يوجد اختلاف كبير بين الطريقتان من حيث قيمة الجهد على الموزع من الطرف الآخر ومقداره ٢٤٥V .

مثال (١٠)

في الشكل (٣,٢٥) موزع أحادي الوجه المبين. احسب توزيع التيارات في كل جزء من أجزاء الموزع والجهد عند النقطتينB و C. إذا كان الموزع يغذى بجهد متساو عند الطرفين. بمقدار $250\angle 0$ V

شكل (٣,٢٥)

الحل

نفرض أن التيار الكلي $I_{AB} = x$

$$I_{BC} = x - (48 - j36)$$
$$= x - 48 + j36$$
$$I_{CD} = I_{BC} - I_C$$
$$= (x - 48 + j36) - (45 - j22)$$
$$= x - 93 + j58 \quad A$$
$$V_{AD} = V_A - V_D$$
$$= V_{AB} + V_{BC} + V_{CD}$$
$$= I_{AB}Z_{AB} + I_{BC}Z_{BC} + I_{CD}Z_{CD}$$
$$= 0.15x + 0.15(x - 48 + j36) + 0.05(x - 93 + j58)$$
$$= 0.15x + 0.15x - 7.2 + j5.4 + 0.05x - 4.65 + j2.9$$
$$= 0.35x - 11.85 + j8.3$$

وبمساواة الجزء الحقيقي بالحقيقي والجزء التخيلي بالتخيلي ينتج أن

$$11.85 = 0.35x$$
$$x = 33.857 \cong 34\ A$$

$$I_{CD} = x - 93 + j58$$
$$= -59 + j58\ \ A$$
$$I_{DC} = 59 - j58\ \ A$$

$$V_B = V_A - I_{AB} Z_{AB}$$
$$= 250 - 34x0.15$$
$$= 250 - 5.1$$
$$= 244.9\ volt$$
$$V_C = V_D - I_{DC} Z_{DC}$$
$$= 250 - 0.05(59 - j58)$$
$$= 247.05 + j2.9\ volt$$

تمارين

١- موزع x -y يغذى من إحدى طرفيه بنفس الجهد بمقدار V ٢٥٠ وطول الموزع ٢٠٠ mونقط الأحمال مبينة كما في الجدول التالي

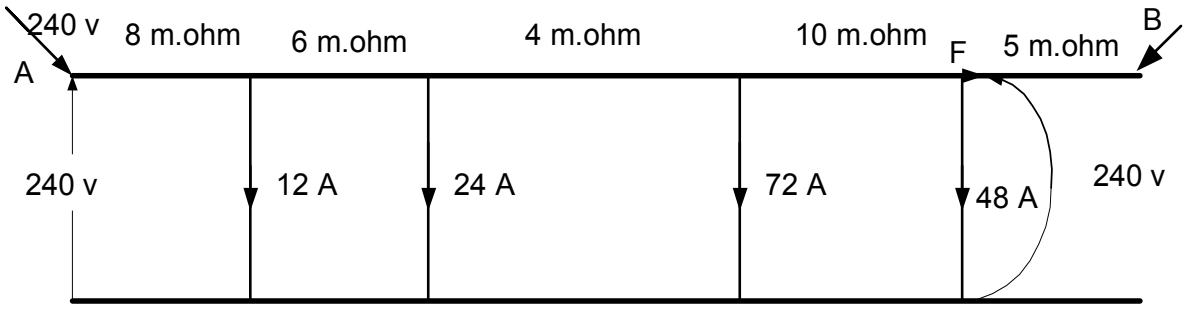
التيار (بالامبير)	٣٠	٤٠	٣٠	٢٥
المسافة من نقطة التغذى ة x إلى نقط التحميل (بالمتر)	٥٠	١٠٠	١٠٠	١٥٠

علماً بأن قيمة المقاومة Ω/km ٠,٣ (لكل من الموصلين ذهاباً وإيابا) أوجد قيمة

أ- التيار في كل جزء من أجزاء الموزع

ب-الجهد عند نقط التحميل

موزع يغذى من كلا طرفيه AB كما هو موضح في الشكل (٣,٢٦) علماً بأن الجهد عند A مقداره V ٢٤٠ وجهد نقطة F V ٢٤٠ ، احسب الجهد عند نقطة التغذى ة B . علماً بأن قيم المقاومات للموصل ذهاباً وإيابا بالملي أوم.



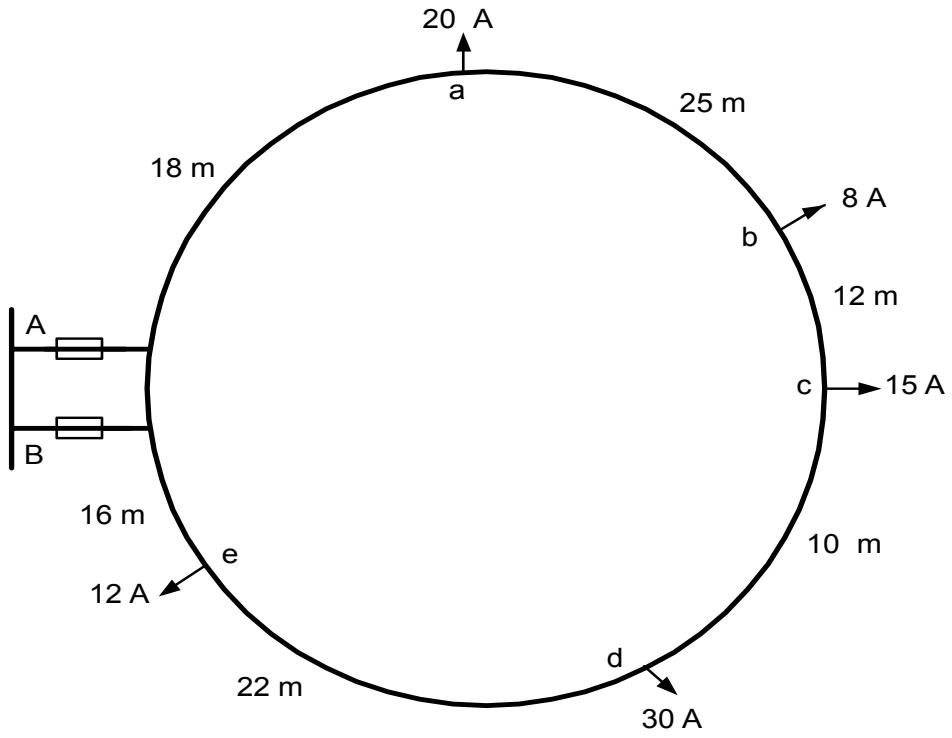
شكل (٣,٢٦)

٢- يراد توصيل منشأة بواسطة خط توصيل حلقي على شبكة تيار مستمر V٢٠٠ كما في الشكل (٣,٢٧) التخطيطي ، علماً بأن مقدار المقاومة لكل موصل Ω/١٠٠ m ٠,٠٢

أ- احسب قيم التيار الموزع من نقطتين A وB

ب - أين تقع نقطة انعكاس التيار

جـ - بأي مقدار من التيار تغذى نقطة انعكاس التيار ؟



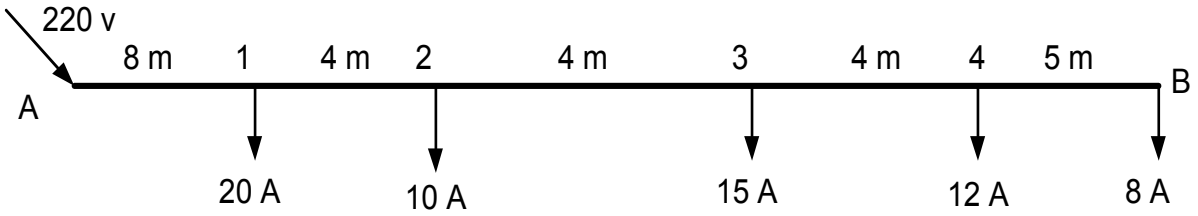
شكل (٣,٢٧)

٤ - موزع تيار مستمر ذو موصلين AB يغذى من نقطة Aبجهد ٢٢٠ V كما في شكل (٣,٢٨) احسب الجهد عند نقطة B إذا وصلت

أ- جميع الأحمال

ب-إذا وصلت الأحمال ٥ ,٣ ,١

علماً بأن مقاومة الموصل ٠,٢ ohm/١٠٠ m



شكل (٣,٢٨)

٥ - المطلوب تنفيذ خطة التركيب الموضحة بالشكل (٣,٢٩) لأربعة أفران تسخين قدرة كل منها ٦ Kw، متصلة بتيار أحادي الوجه عن طريق موصل نحاسي مساحة مقطعه ٢٥ mm^2 والمقاومة النوعية $\rho = 1.78x10^{-8}\ \Omega.m$

احسب

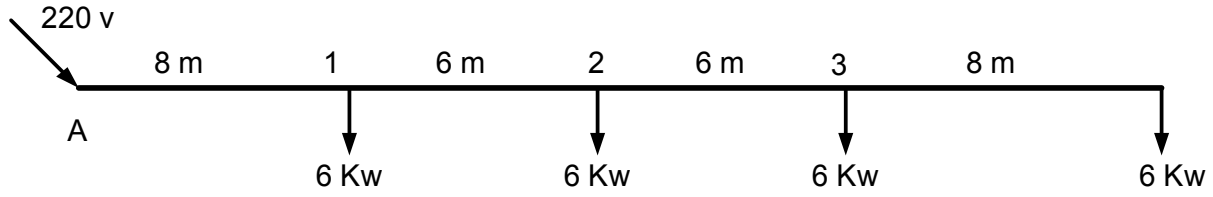
أ- التيار المسحوب بالفرن

ب- التيار الخارج من نقطة A

جـ الجهد عند الحمل الرابع في الحالتين الآتيتين

١- وصلت جميع الأفران في حالة الحمل الكامل

٢- فصل الفرنين ٣ و٢ فقط.

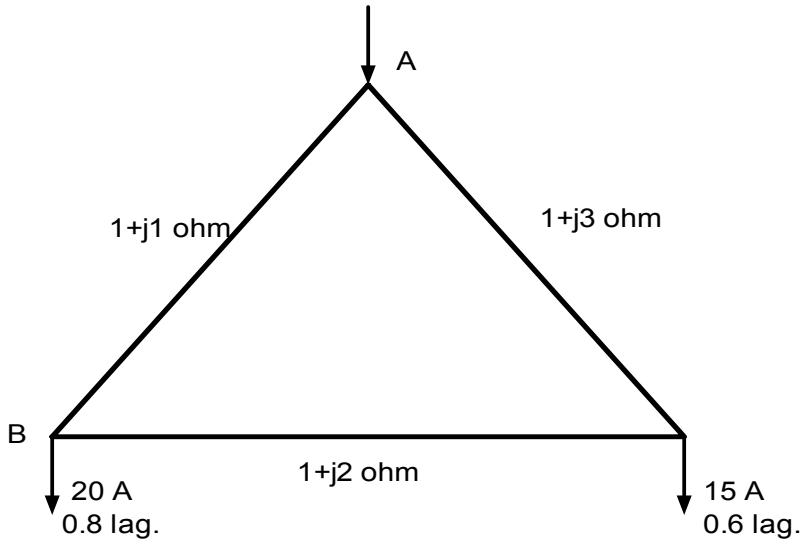


شكل (٣,٢٩)

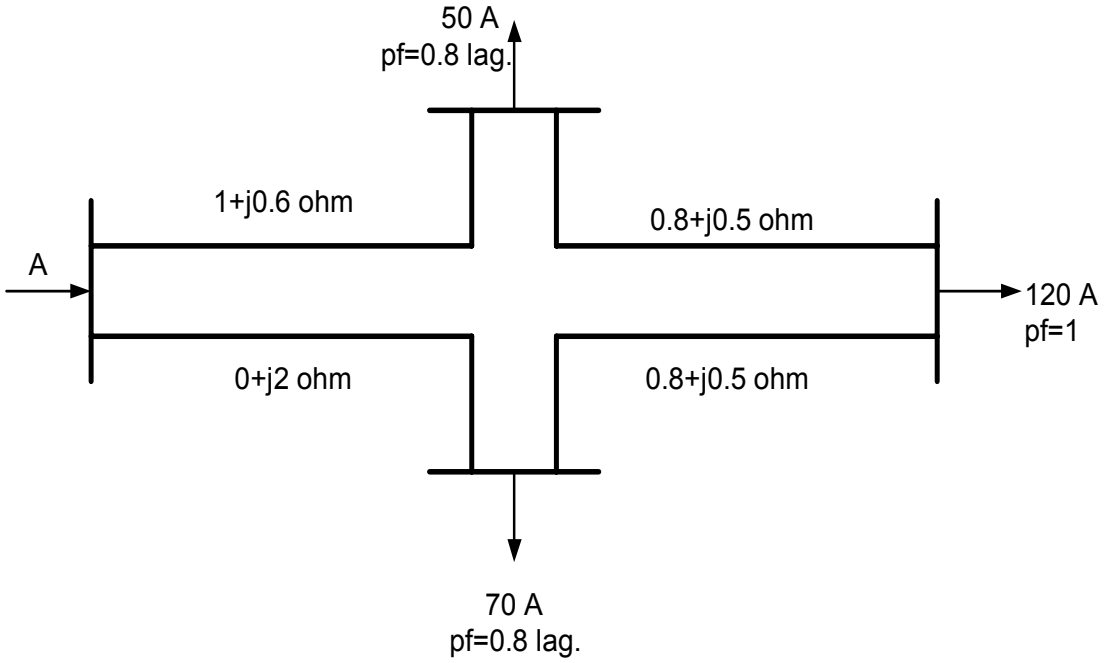
٦ -أعد حل المثال (١٠) في حالة عدم تساوي الجهد من طرفيه علماً بأن الجهد عند نقطة A $V_A = 250\angle 0$ volt وأن الجهد عند نقطة $V_B = 245\angle 0$

٧ - باستخدام قانون كرشوف أوجد التيار الكلي عند نقطة A والتيار في كل جزء من أجزاء الموزع في الشكل (٣,٣٠)

٨ - موزع حلقي كما هو مبين في الشكل (٣,٣١) يغذى من نقطة A، احسب التيارات في الأجزاء المختلفة للموزع.



شكل (٣,٣٠)



شكل (٣,٣١)

تقنية التوزيع الكهربي

معامل القدرة وطرق تحسينه

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

(١-٤) - مقدمة

بفرض أن هناك حمل يسحب تيارا مقداره i والجهد على أطرافه هو v حيث إن:

$$v = V_m \sin(\omega t + \phi) \quad (١)$$

و

$$i = I_m \sin \omega t \quad (٢)$$

حيث أن ϕ هي زاوية الطور والتي بها يتقدم الجهد على التيار.

القدرة المطلوبة للحمل عند أي لحظة تقدر بالقيمة:

$$p = v\, i \quad (٣)$$

بالتعويض عن قيمتي الجهد والتيار نجد أن :

$$p = V_m I_m \sin\omega t \sin(\omega t+\phi) \quad (٤)$$

باستخدام العلاقات المثلثية يمكن كتابة معادلة القدرة كالتالي:

$$p = VI \cos\phi\,(١-\cos٢\omega t) + VI \sin\phi\,(\sin ٢\omega t) \quad (٥)$$

حيث أن V و I هما القيمة الفعالة للجهد والتيار حيث أن:

$$V=V_m / \sqrt{٢} \quad , \quad I = I_m / \sqrt{٢}$$

(١-١-٤) - دوائر المقاومات

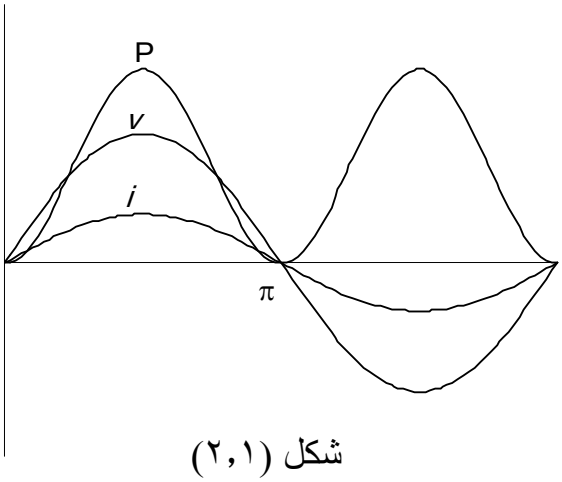
في دوائر المقاومات فقط فإن الجهد والتيار يكونان في نفس الطور أي أن زاوية الطور بين الجهد والتيار ϕ في دوائر المقاومات فقط تساوي صفر. وبالتعويض في المعادلة (٥) نجد أن :

$$p = VI \cos(٠)\,(١-\cos٢\omega t) + VI \sin(٠)\,(\sin٢\omega t)$$
$$= VI - VI \cos٢\omega t \quad (٦)$$

حيث أن VI هو المتوسط أو حد التيار المستمر و $-VI\cos٢\omega t$ هو سالب جيب تمام الموجة مع ضعف تردد المصدر. يوضح شكل (٢.١) القدرة الكهربية للحمل. متوسط القدرة من المعادلة (٦) هي VI.

$$P_{av} = VI = V_m I_m / ٢ \quad (٧)$$

يبين شكل (٢,١) أن موجة القدرة في الاتجاه الموجب فقط لذلك فإن القدرة الكلية المعطاة بالمصدر



شكل (٢,١)

تفقد داخل المقاومة ولا تعاد أي قدرة للمصدر.

(٢-١-٤) الدوائر الحثية

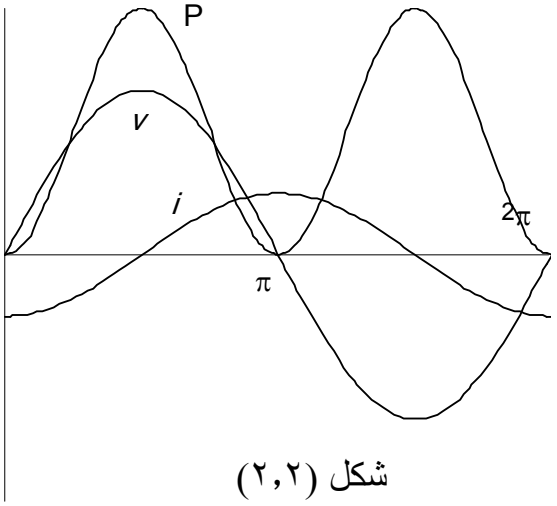
في الدوائر الحثية يسبق الجهد التيار بزاوية مقدارها ٩٠ درجة لذلك فإن ϕ تساوي ٩٠ وبالتعويض في المعادلة (٥) فإن :

$$p_L = VI \cos(٩٠)\ (١-\cos ٢\omega t) + VI \sin(٩٠)\ (\sin ٢\omega t)$$
$$= ٠ + VI \sin ٢\omega t$$

$$p_L = VI \sin ٢\omega t \qquad (٨)$$ أو

ويوضح شكل (٢,٢) القدرة الكهربية للحمل في الدوائر الحثية.

يلاحظ من الشكل خلال موجة كاملة أن المساحة أعلى المحور الأفقي تساوي بالضبط المساحة أسفل المحور الأفقي وهذا يشير إلى أنه خلال موجة كاملة فإن القدرة المعطاة بالمصدر للملف تساوي بالضبط القدرة المعادة للمصدر بواسطة الملف. لذلك فإن القدرة المعطاة للملف الخالص تساوي صفر أي أن الملف لا يستهلك قدرة كهربائية أي أن $P_L=٠$.



شكل (٢,٢)

عامة فإن القدرة المفاعلة ، Q ، المصاحبة لأي دائرة تعرف بـ $VI \sin \phi$ الموجودة بالمعادلة (١) لذلك فإن :

$$Q_L = VI \sin \phi$$

للملف فإن ϕ تساوي ٩٠ درجة

$$Q_L = VI \qquad (٩)$$

(٣-١-٤) - الدوائر السعوية

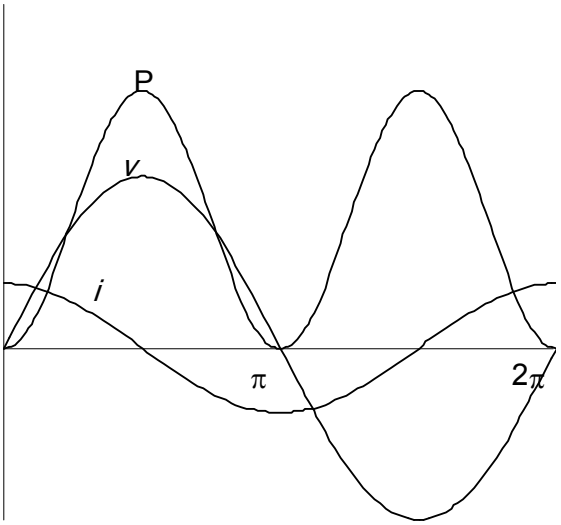
في الدوائر السعوية فقط يسبق التيار الجهد بزاوية مقدارها ٩٠ درجة لذلك فإن ϕ تساوي ٩٠-

وبالتعويض في المعادلة (٥) فإن :

$$p_C = VI \cos(-٩٠) (١-\cos ٢\omega t) + VI \sin(-٩٠) (\sin ٢\omega t)$$
$$= ٠ - VI \sin ٢\omega t$$

أو $$p_C = -VI \sin ٢\omega t \qquad (١٠)$$

حيث أن $-VI\sin ٢\omega t$ هي موجة جيبية سالبة ترددها ضعف تردد المصدر ويوضح شكل (٢,٣) القدرة الكهربية للحمل السعوي.



شكل (٢,٣)

ويوضح الشكل أن القدرة المعطاة بالمصدر للمكثف تساوي بالضبط القدرة المعادة للمصدر من المكثف وذلك خلال موجة كاملة أي أن القدرة المتوسطة تساوي صفر PC=٠ .

القدرة المفاعلة المصاحبة للمكثف تساوي القيمة العظمى لمنحنى القدرة بشكل (٢,٣).

$$Q_C = VI \qquad (١١)$$

(٢□٤) - القدرة الظاهرية

مما سبق تعرفنا إلى نوعين من القدرة الكهربية هما القدرة الفعالة وهي التي تستهلك كلية في المقاومات بالدائرة الكهربية ويرمز لها بالرمز P والقدرة المفاعلة ويرمز لها بالرمز Q وهي القدرة الممتصة أو المعادة بواسطة الملفات أو المكثفات بالدوائر الكهربية. وحيث أن التيار والجهد على المقاومات يكونان في نفس الطور بينما يسبق الجهد التيار بزاوية ٩٠ درجة في حالة الملف ويتآخر الجهد عن التيار بزاوية ٩٠ درجة فإن القدرة المفاعلة تكون متعامدة على القدرة الفعالة. وهنا نتعرف على نوع ثالث من القدرة الكهربية وتسمى بالقدرة الظاهرية وهي القدرة الكهربية الكلية التي يغذي بها المصدر الدوائر الكهربية المحتواة على جميع العناصر الكهربية ويرمز لها بالرمز S.

$$S = VI \qquad (١٢)$$

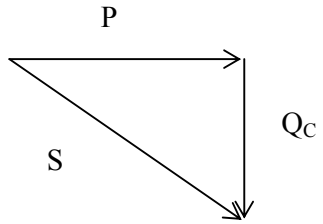
(٣□٤) - مثلث القوى

الكميات الثلاث ، القدرة الفعالة والقدرة المفاعلة والقدرة الظاهرية يمكن كتابة العلاقة بينهما بالعلاقة الاتجاهية الآتية:

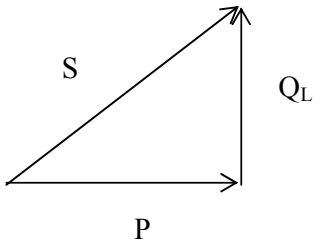
$$S = P + JQ$$

مع $P = P\angle 0^o$, $Q_L = Q_L \angle 90^o$, $Q_C = Q_c\angle -90^o$

للحمل الحثي يمكن كتابة متجه القدرة الظاهرية كالتالي: $S = P + JQ_L$



شكل (٢,٤b) مخطط القوى لحمل سعوي



شكل (٢,٤a) مخطط القوى لحمل حثي

عندما تحتوي الدائرة الكهربية على كل من العناصر الحثية و السعوية فإن المركبة المفاعلة لمثلث القوى تتحدد بالفرق بين القدرة المفاعلة لكل منهم.

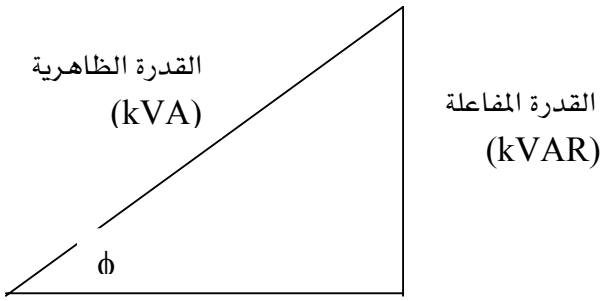
(٤□٤) - معامل القدرة

معامل القدرة هو النسبة بين القدرة الفعالة والتي تستهلك فعلا بالأحمال وتقاس بالكيلو وات (kW) و القدرة الكلية المطلوبة والتي تسمى القدرة الظاهرية وتقاس بالكيلو فولت أمبير. القدرة الفعالة هي التي تنجز العمل الحقيقي مثل إنتاج الحرارة، الضوء، الحركة ....الخ. القدرة المفاعلة وهي التي تسأعد على وجود المجال الكهرومغناطيسي وتقاس بالكيلو فولت أمبير مفاعلة (KVAR) . القدرة الكلية وتسمى القدرة الظاهرية وهي مزيج من القدرة الفعالة والقدرة المفاعلة وتقاس بالكيلو فولت أمبير (kVA).

معامل القدرة = $\cos\phi$ = القدرة الفعالة / القدرة الكلية

i.e. $\cos\phi = P / S$ (١٣)

ويقيس معامل القدرة فعالية نظام القدرة الكهربي المستخدم ويعني معامل القدرة العالية أن النظام الكهربي يستخدم بفعالية كبيرة بينما معامل القدرة المنخفض يشير إلى الاستخدام السيئ للنظام الكهربي. عندما يكون معامل القدرة مساويا الواحد فإن ذلك يعني أن كل القدرة المنتجة بواسطة النظام الكهربي تستهلك لإنتاج العمل الفعال. على الجانب الآخر فإن المعدات المفاعلة هي المعدات التي تستخدم الملفات الحثيه أو المكثفات مثل المحركات الكهربية والمحولات...الخ.



شكل ٥ مثلث القوى

وهناك نسبة كبيرة من الآلات الكهربائية المستخدمة في الصناعة لها معامل قدرة منخفض. أي منشأة صناعية تحتوي على أنواع المعدات والآلات الكهربائية الآتية يكون لها معامل قدرة منخفض والتي تتطلب خطوات لتحسين معامل القدرة.

أ) كل أنواع المحركات الحثية والتي تمثل معظم الأحمال الصناعية

ب) ثيراستور القوى والذي يستخدم للتحكم في محركات التيار المستمر والعمليات الكهرو كيميائية.

ت) محولات القوى ومنظمات الجهد.

ث) آلات اللحام الكهربي.

ج) أفران القوس الكهربي والأفران الحثية.

ح) الملفات الخانقة والأنظمة المغناطيسية.

خ) كشافات الفلورسنت والنيون.

ويعطى جدول (١-٢) معاملات القدرة للصناعات المختلفة.

جدول (١□٢)

الصناعة	معامل القدرة
صناعة النسيج	٠,٦٥/٠,٧٥
صناعة الكيماويات	٠,٧٥/٠,٨٥
اللحام بالقوس الكهربي	٠,٣٥/٠,٤
أفران القوس الكهربي	٠,٧/٠,٩
أعمال الأسمنت	٠,٧٨/٠,٨
مصانع الملابس	٠,٣٥/٠,٦
الأعمال المعدنية	٠,٦/٠,٨٥
الثلاجات الكبيرة الحافظة	٠,٧/٠,٨
سباكة المعادن	٠,٥/٠,٧
صناعات البلاستيك	٠,٦/٠,٧٥
معدات الطباعة	٠,٥٥/٠,٧
المحاجر	٠,٥/٠,٧
الدرفلة (باستخدام ثيراستور القوى)	٠,٣/٠,٧٥

(٥□٤) - تأثيرات معامل القدرة

(أ) **سعة النظام الكهربي** : الكيلو فولت أمبير هي القدرة الكلية المتاحة بالنظام الكهربي. القدرة الفعالة=القدرة الكليةXمعامل القدرة. معامل القدرة الع إلى يعني زيادة سعة النظام الكهربي المتاح ومع زيادة سعة النظام الكهربي يصبح الجهد أكثر استقرارا عند توصيل وفصل الأحمال الكهربية وكذلك يمكن إضافة أحمال أكثر للنظام الكهربي عند الاحتياج.

(ب) **مفاقيد النظام الكهربي** : مع معامل القدرة الع إلى فإن التيار الكهربي المطلوب للحمل يصبح أقل وبالت إلى فإن القدرة المفقودة (I^2R) تقل وبالت إلى فإن الارتفاع في درجة حرارة الأجهزة مثل الكابلات والمحولات وقضبأن التوزيع وهكذا يقل مما يزيد من العمر الافتراضي للأجهزة.

(ت) **تكاليف شركات الكهرباء :** يجب أن يكون معامل القدرة لنظام التوزيع الكهربي ع إلى وذلك لزيادة كفاءة النظام الكهربي والاستفادة القصوى بالقدرة المولدة. لذلك فإن شركات الكهرباء تفرض غرامة معامل قدرة على المستهلك وتطالبه بالمحافظة على مستوى لا يقل عن ٩٥٪ لمعامل القدرة لتجنب فرض الغرامة.

(ث) **خطوط النقل الكهربي:** التيار المار في خط النقل الكهربي يزداد عندما يقل معامل القدرة الكهربية وذلك بتثبيت القدرة الكهربية الفعالة المنقولة على الخط الكهربي وبذلك لابد من زيادة مساحة مقطع موصلات خط النقل مما يتسبب في زيادة تكاليف الخط. وأيضا بزيادة التيار الكهربي تزداد مفاقيد خط النقل الكهربي مما يقلل من كفاءة خط النقل وكذلك يتسبب ارتفاع التيار في زيادة انخفاض الجهد على الخط.

(ج) **التأثير على المحولات الكهربية:** معامل القدرة المنخفض تقل معه سعة المحول للقدرة الفعالة (kW capacity) ويزداد الجهد بداخله.

(ح) **التأثير على القواطع وقضبأن التوزيع:** لابد من زيادة مساحة مقطع قضبأن التوزيع وكذلك مساحة سطح التلامس للقواطع الكهربية عند نفس قيمة القدرة الكهربية المنقولة عند معامل القدرة المنخفض.

(خ) **التأثير على المولدات الكهربية :** مع معامل القدرة المنخفض تقل سعة القدرة الظاهرية وكذلك سعة القدرة الفعالة للمولدات وتزداد القدرة المعطاة بواسطة المثير (Exciter) ويزداد الفقد في الملفات النحاسية للمولد وتقل مع ذلك كفاءة المولد.

(د) **التأثير على المحرك المبدئي للمولد** (prime movers) : بأنخفاض معامل القدرة الكهربي يطلب من المولد المزيد من القدرة المفاعلة Q ولكن كمية معينة من الطاقة مطلوبة لإنتاج القدرة المفاعلة وتستمد هذه الطاقة من المحرك المبدئي للمولد أي أن جزءاً من سعة المحرك المبدئي تكون عاطلة. لذلك فالعمل عند معامل قدرة منخفض يقلل من كفاءة المحرك المبدئي للمولد.

(٦-٤) - مميزات تحسين معامل القدرة

عند عمل الشبكات الكهربية بمعامل قدرة منخفض تزداد التكاليف الرئيسية لمحطات التوليد وأنظمة النقل والتوزيع الكهربي. ولذلك فمن المستحسن للمستهلك والمغذي أن تعمل الشبكات الكهربية عند معامل قدرة مرتفع. والنقاط التالية تلخص فوائد تحسين معامل القدرة:

أ - الاستخدام الأفضل لسعة القدرة الفعالة للمحرك المبدئي للمولد.

ب - زيادة سعة القدرة الفعالة للمولد الكهربي.

ت - زيادة سعة القدرة الفعالة للمحول الكهربي.

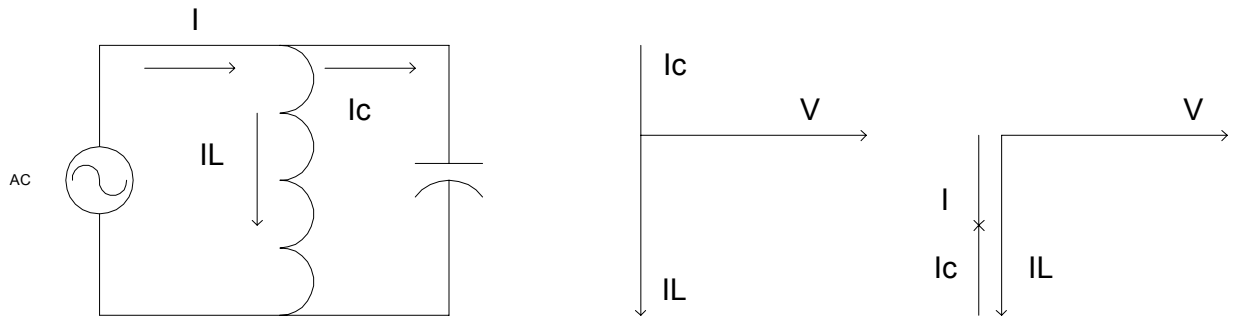
ث - زيادة كفاءة كل الوحدات بالشبكة الكهربية.

ج - تقليل تكاليف الوحدات بالشبكة.

ح - تحسين تنظيم الجهد على خطوط النقل الكهربي.

(٧-٤) - تحسين معامل القدرة

للحصول على أفضل ميزة اقتصادية من القدرة الكهربائية فإن كلا من محطات التوليد وأماكن الاستهلاك لابد أن تعمل بكفاءة عالية. ولتحقيق ذلك فمن الضروري أن يكون معامل القدرة ع إلى للنظام الكهربي. معظم الأحمال في أنظمة التوزيع الكهربي الحديثة أحمال حثية والتي تعني أنها تحتاج لمجال كهرو مغناطيسي لعملها. وأبسط الطرق لتحسين معامل القدرة هي إضافة مكثفات تحسين معامل القدرة لمحطة التوزيع الكهربية. وتعمل مكثفات القوى كمولدات تيار مفاعلة. وبإضافة تيار المكثفات المفاعلة فإن التيار الكلي للنظام الكهربي سيقل. ولدراسة كيفية تحسين معامل القدرة في الدوائر الحثية نضع مكثف على التوازي مع ملف يغذى من مصدر كهربي كما في شكل (٢,٦).



شكل (٢,٦) وضع مكثف على التوازي مع ملف

التيار الأولى بالدائرة قبل توصيل المكثف هو I_L ويتآخر عن جهد المصدر بزاوية ٩٠ وهو التيار الكلي المسحوب من المصدر وعند وضع المكثف على التوازي مع الملف فإن ه يسحب تيارا سعويا مقداره I_c يتقدم عن جهد المصدر بزاوية مقدارها ٩٠ درجة وفي هذه الحالة يكون التيار الكلي المسحوب من المصدر هو مجموع التيارات في الملف والمكثف:

$$I = I_L - I_C$$

و الإشارة السالبة تعني أن I_C على ١٨٠ درجة من I_L .لذلك فإن القدرة المفاعلة الكلية في هذه الحالة تساوي :

$$Q = V\,(I_L - I_C) = Q_L - Q_C \qquad (١٤)$$

وبالنظرة العامة للمفاعلة الكلية نجد أن جزءاً من المفاعلة الحثية قد عودلت بالمفاعلة السعوية مما يقلل من المفاعلة الكلية المطلوبة من المصدر. هذا التقليل من المفاعلة المطلوبة يؤدي إلى تحسين معامل القدرة الكلية للدائرة.

وتعتبر المكثفات من أكثر الأجهزة المستخدمة في تحسين معامل القدرة وتصنع مكثفات القدرة حاليا بأشكال وأحجام مختلفة.

(٨-٤) - المكثفات الكهربية

المكثف الكهربي عبارة عن موصلين كهربيين بينهما عازل كهربي. سعة المكثف الكهربي وكذلك الجهد على الموصلات الكهربية هي العوامل المحددة لكمية الشحنات الكهربية التي تخزن بالمكثف الكهربي:

$$C = \frac{Q}{V} \qquad \text{farad} \qquad (١٥)$$

حيث Q هي الشحنة الكهربية بالكولوم وV الجهد على المكثف.

وتعتمد سعة المكثف على مادة العزل بين الموصلين والتي تحدد قيمة النفاذية لهذا العازل.

سعة مكثف كهربي ذي لوحين متوازيين بينهما عازل هي:

$$C = \frac{\varepsilon_o \varepsilon_r A}{d} = \frac{\varepsilon A}{d} \qquad \text{farad} \qquad (١٦)$$

حيث أن ε هي النفاذية المطلقة لمادة العزل و A مساحة اللوح المعدني و d هي المسافة بين اللوحين.

ويبين جدول (٢-٢) القيم المتوسطة للنفاذية النسبية لبعض المواد العازلة وشدة العزل لهذه المواد في حالة الجهود المترددة وكذلك الجهود المستمرة. وتعني شدة العزل أقصى جهد يتحمله العازل الكهربي. وتلعب درجة الحرارة والتردد العامل عنده المكثف دورا هاما في اختيار العازل المستخدم.

جدول (٢-٢)

مادة العزل	التفاذية النسبية	شدة العزل للتيار المتردد (MV/m)	شدة العزل للتيار المستمر (MV/m)
الهواء	١,٠٠	٢-٣	٤-٩
السيراميك	٣٠٠٠,٠	٠,٣٥	٩,٤
السليولوز	٦,٥٠	١٦-١٨	٢٠٠-٢٢٠
الزجاج	٧,٠٠	١٦-١٨	٧٦,٥
الزيوت المعدنية	٢,١٣	٨٠-١٠٠	١٥٠
الميكا	٥,٦٠	٤٨-٥٢	٦٥٠
البولي بروبلين	٢,٢٠	not used in a.c.	١٥٨
البوليستر	٢,٩٠		

وتحدد قيمة القدرة لمكثفات القوى بالمعادلة التالية:

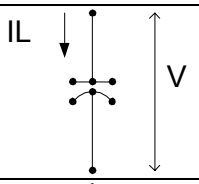
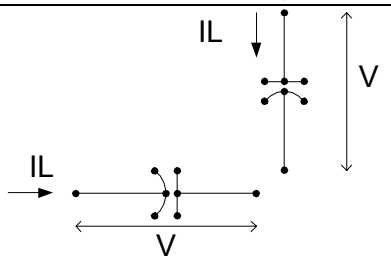
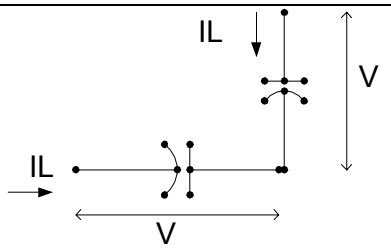
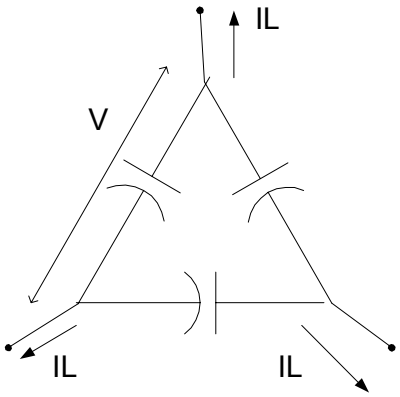
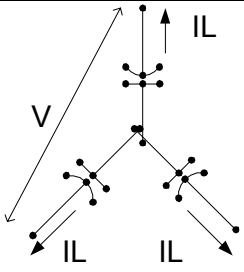
$$Q = ٢ \pi f C V^{٢} \times ١٠^{-٩} \quad kVAR \qquad (١٧)$$

ويبين شكل (٢,٧) يبين قدرة مكثفات القوى لمختلف توصيلات المكثفات.

(١-٨-٤) - أنواع المكثفات المستخدمة عمليا

في أوائل القرن العشرين استخدمت مكثفات العناصر الأسطوانية المغموسة بالزيت العازل بأحجام تتراوح بين ١,٠ إلى ٥٠٠ kVAR وكانت هذه المكثفات تناسب الجهد المتوسط وأخيرا باستخدام مجموعات عناصر التوالي -التوازي أصبحت هذه المكثفات تستخدم حتى ٣٣ kV. وفي النصف الثاني من القرن العشرين بدأ استخدام مكثفات الورق المشبع بالزيت وقد طور الأوربيون تصميم المكثفات ليجمع بين الكترودات الورق المعدني والشرائح الرقيقة من البولي بروبلين والمغموسة في زيت عازل غير ضار بالصحة. مكثفات القوى تتكون من عدد من العناصر الأساسية والتي تبنى بلف طبقتين من شرائح الألومنيوم بين عدد من الطبقات من ورق رقيق عازل أو عازل مختلط من الورق وشريحة بلاستيكية.

شكل (٤,٧)

الشكل	نوع التوصيل	معادلة حساب القدرة (VAR)
	وجه واحد	VI_L
	وجهان ذوا أربعة أسلاك	$٢VI_L$
	وجهان ذوا ثلاثة أسلاك	$٢VI_L$
	ثلاثة أوجه متصلة دلتا	$\sqrt{٣}VI_L$
	ثلاثة أوجه متصلة نجمة	$\sqrt{٣}VI_L$

(٩-٤) - طرق تحسين معامل القدرة

يمكن استخدام إحدى الطريقتان الآتيتين لتحسين معامل القدرة:

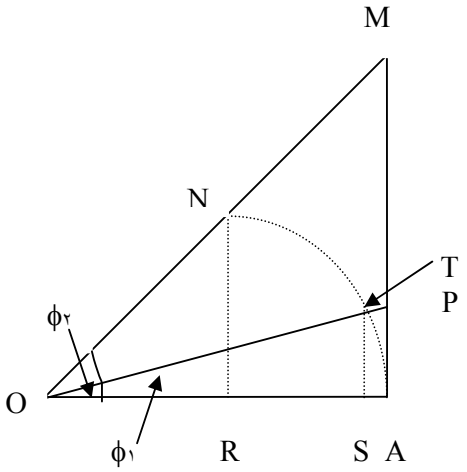
(أ) بتثبيت القدرة الفعالة

(ب)بتثبيت القدرة الظاهرية

(أ) طريقة تثبيت القدرة الفعالة

في هذه الطريقة يتم تثبيت القدرة الفعالة وتغيير القدرة الظاهرية. وبفرض تثبيت قيمة القدرة الفعالة للنظام فإن القدرة المفاعلة للمكثف المطلوبة لرفع معامل القدرة من $\cos\phi_1$ إلى $\cos\phi_2$ هي حاصل ضرب القدرة الفعالة للحمل ومماسات الزوايا ϕ_2 و ϕ_1 كما بشكل (٢,٨).

بفرض أن OA يمثل القدرة الفعالة عند معامل قدرة ١,٠ و OR و Os يمثلان $\cos\phi_1$ و $\cos\phi_2$ على الترتيب. PM تمثل القدرة المفاعلة للقدرة الفعالة لرفع معامل القدرة من $\cos\phi_1$ إلى $\cos\phi_2$ وبمعنى آخر PM يمثل بمقياس $(\text{Tan}\phi_1-\text{Tan}\phi_2)$.

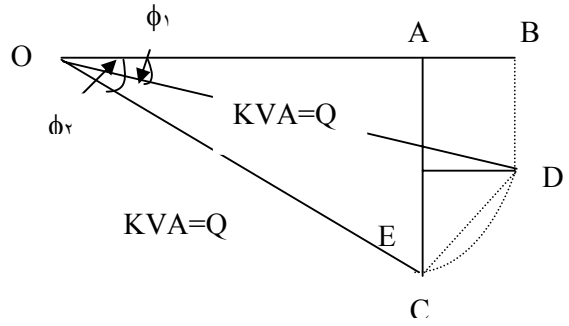


شكل (٢,٨) حساب السعة المفاعلة للمكثفات المطلوبة

(أ) طريقة تثبيت القدرة الظاهرية

في هذه الطريقة يتم تثبيت القدرة الظاهرية وتغيير القدرة الفعالة. وبفرض تثبيت قيمة القدرة الظاهرية للنظام فإن القدرة المفاعلة للمكثف المطلوبة نسبة إلى القدرة الظاهرية لرفع معامل القدرة من $\cos\phi_1$ إلى $\cos\phi_2$ هي الفرق بين جيب الزوايا ϕ_2 و ϕ_1 كما بشكل (٢,٩).

عند تثبيت القدرة الظاهرية بالمركز O ونصف القطر OC يرسم من نقطة C قوس يقطع المستقيم OD في نقطة D ويرسم DE يوازي OA ليقطع AD في E :



شكل (٢,٩)

$$CE = Q \sin \phi_1 - Q \sin \phi_2$$
$$= Q (\sin \phi_1 - \sin \phi_2)$$

القدرة الزائدة نتيجة تحسين معامل القدرة هي AB وتعطى بالعلاقة:

$$AB = Q (\cos \phi_1 - \cos \phi_2)$$

أمثلة محلولة

مثال ١ : ارسم مثلث القوى لكل فرع من أفرع الدائرة المبينة بالشكل ثم ارسم مثلث القوى الكلي للدائرة.

الحل: الفرع الأول: تيار الفرع الأول $= Z_1/V = (٢٠\angle ٦٠^o) / (٤\angle ٣٠^o) = ٥\angle ٣٠^o$ A

القدرة الظاهرية $= I^* \times V = (٥\angle \square ٣٠^o) \times (٢٠\angle ٦٠^o) = ١٠٠\angle ٣٠^o$ VA

القدرة الفعالة $= ١٠٠ \times \cos ٣٠ = ٨٦,٦$ W

القدرة المفاعلة $= ١٠٠ \times \sin ٣٠ = ٥٠$ VAR متآخرة

الفرع الثاني: تيار الفرع الثاني $= Z_2/V = (٢٠\angle ٦٠^o) / (٥\angle ٦٠^o) = ٤\angle ٠^o$ A

القدرة الظاهرية $= I^* \times V = (٤\angle ٠^o) \times (٢٠\angle ٦٠^o) = ٨٠\angle ٦٠^o$ VA

القدرة الفعالة $= ٨٠ \times \cos ٦٠ = ٤٠$ W

القدرة المفاعلة $= ٨٠ \times \sin ٦٠ = ٦٩,٢$ VAR متآخرة

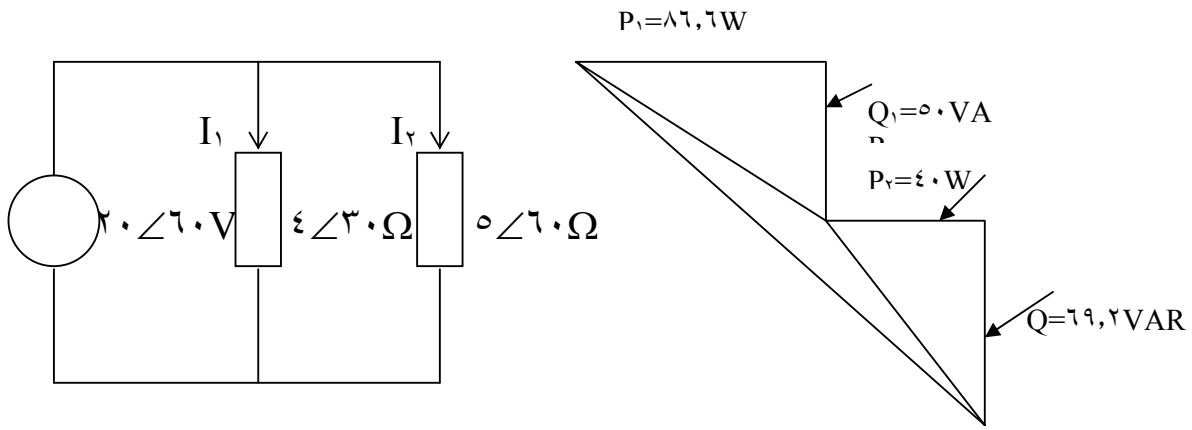
∴ القدرة الفعالة الكلية $= ٨٦,٦ + ٤٠ = ١٢٦,٦$ W

القدرة المفاعلة الكلية = ٥٠ + ٦٩,٢ = ١١٩,٢ VA

القدرة الظاهرية الكلية = ((القدرة الفعالة)^{٢} +(القدرة المفاعلة)^{٢})$^{١/٢}$ = $(١٢٦,٦)^{٢}+(١١٩,٢)^{٢}))^{١/٢}$

= ١٧٤ VA

معامل القدرة الكلي للدائرة = القدرة الفعالة / القدرة الظاهرية = ١٢٦,٦ / ١٧٤ = ٠,٧٢٧ متآخر



شكل (٢,١٠)

مثال ٢: حدد مكونات القدرة الكهربية الكلية ومعامل القدرة لمجموعة مكونة من ثلاثة أحمال منفصلة لها المواصفات التالية:

حمل رقم ١: ٢٥٠VA ومعامل قدرة ٠,٥ متآخر.

حمل رقم ٢: ١٨٠ watt ومعامل قدرة ٠,٨ متقدم.

حمل رقم ٣: ٣٣٠٠VA و ١٠٠VAR متآخر.

الحل: حمل ١: القدرة الفعالة= P = القدرة الظاهرية x معامل القدرة = ٠,٥x٢٥٠ = ١٢٥ watt

Cos ϕ = معامل القدرة = ٠,٥ ∴ ٦٠^{o} = ϕ

القدرة المفاعلة=القدرة الظاهريةx Sinϕ = ٢٥٠ x Sin ٦٠ =٢١٦ VAR

حمل ٢: القدرة الظاهرية = القدرة الفعالة/معامل القدرة= ٠,٨/١٨٠ = ٢٢٥ VA

Cos ϕ = معامل القدرة = ٠,٨ ∴ $٣٦,٩^{o}$= ϕ

القدرة المفاعلة=القدرة الظاهريةx Sinϕ = ٢٢٥ x Sin٣٦,٩ = ١٣٥ VAR

حمل ٣: sinϕ = القدرة المفاعلة/القدرة الظاهرية = ٣٠٠/١٠٠ = ٠,٣٣٣ ∴ $١٩,٥^{o}$ = ϕ

القدرة الفعالة = القدرة الظاهرية x cos ϕ = ٣٠٠ x cos١٩,٥ = ٢٨٣ watt

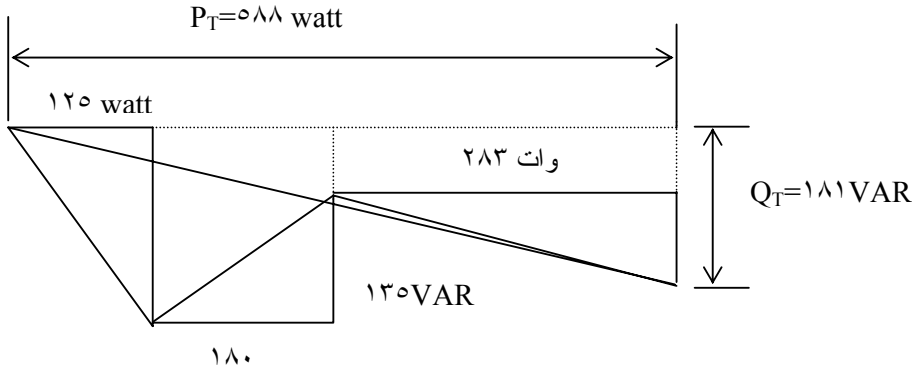
∴ القدرة الفعالة الكلية = ١٢٥ + ١٨٠ + ٢٨٣ = ٥٨٨ watt

القدرة المفاعلة الكلية = ٢١٦ – ١٣٥ + ١٠٠ = ١٨١ VAR متآخر

القدرة الظاهرية الكلية = [(القدرة الفعالة)^{٢} +(القدرة المفاعلة)^{٢}] = [(٥٨٨)^{٢} + (١٨١)^{٢}]

= ٦١٦ VA

معامل القدرة الكلي=القدرة الفعالة/القدرة الظاهرية = ٥٨٨/٠,٩٥٥=٦١٦ متآخر



شكل (٢,١١)

مثال ٣: محول قدرته ٥٠٠ kVA يعمل عند الحمل الكامل بمعامل قدرة ٠,٦ متآخر. تم تحسين معامل القدرة إلى ٠,٩ متآخر بإضافة مكثفات. حدد القدرة المفاعلة المطلوبة للمكثفات. بعد تحسين معامل القدرة ما هي نسبة الحمل الكامل التي يحملها المحول.

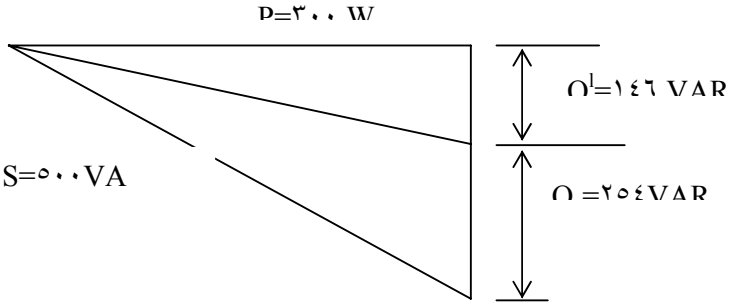
الحل: القدرة الفعالة=P=القدرة الظاهرية x معامل القدرة=٥٠٠ x ٠,٥ = ٣٠٠ kWatt

$\phi = \cos^{-1}$ ٠,٦ = ٥٣,١^{o}

القدرة المفاعلة=Q=القدرة الظاهرية x $\sin\phi$= ٥٠٠ x $\sin$٥٣,١=٤٠٠ kVAR

عند تحسين معامل القدرة إلى ٠,٩ متآخر

ϕ= Cos^{-1}٠,٩ = ٢٦^{o} ∴ القدرة الظاهرية=S^{1}=٣٠٠ / ٠,٩ = ٣٣٣ kVA



شكل (٢,١٢)

القدرة المفاعلة=Q^1 = ٣٣٣ x sin(٢٦) = ١٤٦ kVA متآخر

لذلك فإن القدرة المفاعلة للمكثفات=$Q - Q^1$ = ٤٠٠ – ١٤٦ = ٢٥٤ kVAR

نسبة الحمل الكامل = ٣٣٣ / ٥٠٠ = ٦٦,٧ ٪

مثال ٤: محرك حثي ثلاثي الأوجه له البيانات الآتية: ٥٠ h.p. و ٤٤٠ V و ٥٠ Hz يعمل عند الحمل الكامل بكفاءة ٨٩٪ ومعامل قدرة ٠,٨٥ متأخر. احسب القدرة الظاهرية الكلية للمكثفات لرفع معامل القدرة عند الحمل الكامل إلى ٠,٩٥متآخر. وما هي قيمة سعة المكثفات لكل وجه لو وصلنا المكثفات (أ) على شكل دلتا (ب) على شكل نجمة

الحل: القدرة الداخلة للمحرك = P = ٥٠ x ٠,٨٩/٧٤٦ = ٤١٩١٠ watt =٤١,٩١ kwatt

- **عند معامل القدرة ٠,٨٥متآخر** ϕ_1 = $\cos^{-1}$٠,٨٥ = ٣١,٨°

القدرة المفاعلة للمحرك=Q_1 = P x tan(ϕ_1) = ٤١,٩١ x tan(٣١,٨) = ٢٥,٩٨ kVAR

- **عند معامل قدرة ٠,٩٥ متآخر** ϕ_2 = $\cos^{-1}$(٠,٩٥) = ١٨,٢°

القدرة المفاعلة للمحرك=Q_2= P x tan ϕ_2 = ٤١,٩١ x tan(١٨,٢) = ١٣,٧٩ kVAR

القدرة الكلية المفاعلة للمكثفات=Q_1 - Q_2 = ٢٥,٩٨ - ١٣,٧٩= ١٢,١٩ kVAR

∴ القدرة المفاعلة للمكثف الواحد=Q_c = ١٢,١٩/٣ = ٤,٠٦٣ kVAR

(أ) عند توصيل المكثفات على هيئة دلتا فإن الجهد على كل مكثف هو ٤٤٠ V

التيار المار في كل مكثف=I_c=Q_c/ V = ٤٠٦٣/٤٤٠ = ٩,٢٣ A

وبما أن $I_c = X_c/V = V\omega C$

فإن سعة المكثف=C= I_c/Vω = (٢πx٥٠x٤٤٠)/٩,٢٣= ٦٦,٨x١٠$^{-٦}$ F

(ب) عند توصيل المكثفات على هيئة نجمة فإن الجهد على كل مكثف هو ٤٤٠/√٣ V

التيار المار في كل مكثف=I_c=Q_c/ V = ٢٥٤/٤٠٦٣ = ١٦ A

وبما أن $I_c = X_c/V = V\omega C$

فإن سعة المكثف=C= I_c/VωC = (٢πx٥٠x٢٥٤)/١٦= ٢٠٠,٤x١٠$^{-٦}$ F

ملاحظة: يلاحظ أنه في توصيلة النجمة فإن سعة المكثف المطلوبة تساوي ثلاثة أمثال تلك المطلوبة في حالة التوصيل دلتا.

مثال ٥: محول كهربي قدرته ٢٥kVA يغذى حمل كهربي ١٢kW عند معامل قدرة ٠,٦ متآخر. أوجد نسبة الحمل الكامل التي يحملها المحول. إذا أضيف حمل آخر للمحول عند معامل قدرة ١,٠ أوجد قيمة القدرة الفعالة لهذا الحمل حتى يصبح المحول يعمل عند حمله الكامل.

الحل: القدرة الظاهرية للحمل = القدرة الفعالة / معامل القدرة = ١٢ / ٠,٦ = ٢٠ kVA

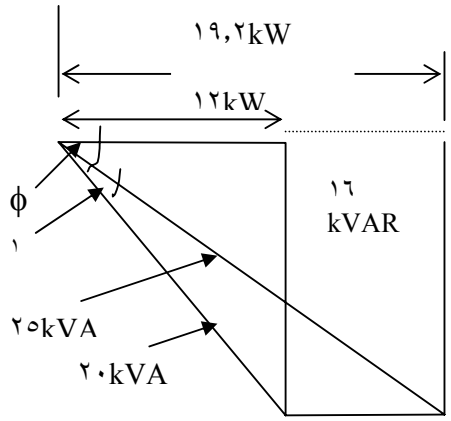
نسبة الحمل الكامل للمحول =(٢٠ / ٢٥) ١٠٠ = ٨٠٪

$\phi_1 = \cos^{-1} ٠,٦ = ٥٣,١^o$ و القدرة المفاعلة = ٢٠ x $\sin(٥٣,١)$ = ١٦ kVAR

$\phi_2 = \sin^{-1}(١٦/٢٥) = ٣٩,٨^o$

القدرة الفعالة الكلية = قدرة المحول x $\cos\phi_2$ = ٢٥ x $\cos(٣٩,٨)$ = ١٩,٢ kW

قيمة الحمل المضاف = ١٩,٢ – ١٢ = ٧,٢ kW



الحمل المضاف

شكل (٢,١٣)

(١٠-٤) - طريقة الجداول

وهي من الطرق شائعة الاستعمال وتعطي مقنن المكثف المطلوب لتحسين معامل القدرة من معامل القدرة الموجود بالفعل إلى معامل القدرة المراد الوصول إليه.

بفرض أن معامل القدرة المراد تحسينه هو PF_1 يمكننا كتابة المعادلات الآتية:

معامل القدرة = $PF_1 = \cos\phi_1$

القدرة الفعالة = (القدرة الظاهرية)$_1$ x $\cos\phi_1$

(القدرة المفاعلة)$_1$ = (القدرة الظاهرية)$_1$ x $\sin\phi_1$

∴(القدرة المفاعلة)$_1$ = القدرة الفعالة x $\tan\phi_1$

وبفرض أن معامل القدرة تم تحسينه إلى PF_2 فإن :

معامل القدرة = PF_2 = $\cos \phi_2$

القدرة الفعالة = (القدرة الظاهرية)$_2$ x $\cos \phi_2$

(القدرة المفاعلة)$_2$ = (القدرة الظاهرية)$_2$ x $\sin \phi_2$

∴ (القدرة المفاعلة)$_2$ = القدرة الفعالة x $\tan \phi_2$

لذلك فإن قدرة المكثف المطلوبة = Q_c = (القدرة المفاعلة)$_1$ – (القدرة المفاعلة)$_2$

= (القدرة الفعالة) ($\tan \phi_2$ - $\tan \phi_1$)

= (القدرة الفعالة) (معامل الضرب)

أي أن معامل الضرب = $\tan \phi_2$ - $\tan \phi_1$

ويبين جدول ٢ معامل الضرب لتحسين معامل القدرة من قيمة لآخرى.

مثال ٦: حمل كهربي قدرته الفعالة ٤٠٠ kwatt بمعامل قدرة ٠,٨ متآخر. حدد القدرة الظاهرية المقننة للمكثف لرفع معامل القدرة إلى ٠,٩ متآخر باستخدام طريقة الجداول.

الحل: معامل القدرة المراد تحسينه = ٠,٨ معامل القدرة المراد الوصول إليه = ٠,٩

من الجدول نجد أن معامل الضرب= ٠,٢٦٦

∴ القدرة الظاهرية المطلوبة للمكثف=القدرة الفعالة x معامل الضرب

= ٤٠٠ x ٠,٢٦٦ = ١٠٦,٤ kVAR

مثال ٧: مغذي كهربي قدرته الفعالة ١٠٠٠ كيلو وات وعامل القدرة له ٠,٧٥ متآخر. حدد القدرة الظاهرية المقننة للمكثف لرفع معامل القدرة للمغذي إلى ٠,٩٥ متآخر باستخدام طريقة الجداول.

الحل: معامل القدرة المراد تحسينه = ٠,٧٥ معامل القدرة المراد الوصول إليه = ٠,٩٥

من الجدول نجد أن معامل الضرب= ٠,٥٥٣

∴ القدرة الظاهرية المطلوبة للمكثف=القدرة الفعالة x معامل الضرب

= ١٠٠٠ x ٠,٥٥٣ = ٥٥٣ kVAR

جدول ٢

معامل القدرة المراد تحسينه	معامل الضرب لتحسين معامل القدرة إلي: ١,٠٠ ٠,٩٩	٠,٩٨	٠,٩٧	٠,٩٦	٠,٩٥	٠,٩٠	٠,٨٥	٠,٨٠
٠,٢٥	٣,٧٢٩	٣,٦٦٩	٣,٦٢١	٣,٥٨٠	٣,٥٤٣	٣,٣٣٨	٣,٢٥٢	٣,١٢٢
٠,٢٦	٣,٨٧٢							
٠,٢٧	٣,٥٧١	٣,٥١١	٣,٤٦٣	٣,٤٢٢	٣,٣٨٥	٣,٢٣٠	٣,٠٩٤	٢,٩٦٤
٠,٢٨	٣,٧١٤							
٠,٢٩	٣,٤٢٣	٣,٣٥٣	٣,٣١٥	٣,٢٧٤	٣,٢٣٧	٣,٠٨٢	٢,٩٤٥	٢,٨١٦
٠,٣٠	٣,٥٦٦							
٠,٣١	٣,٢٨٦	٣,٢٢٦	٣,١٧٨	٣,١٣٧	٣,١٠٠	٢,٩٤٥	٢,٨٠٩	٢,٦٧٩
٠,٣٢	٣,٤٢٩							
٠,٣٣	٣,١٥٧	٣,٠٩٧	٣,٠٤٩	٣,٠٠٨	٢,٩٧١	٢,٨١٦	٢,٦٨٠	٢,٥٥٠
٠,٣٤	٣,٣٠٠							
٠,٣٥	٣,٠٣٨	٢,٩٧٨	٢,٩٣٠	٢,٨٨٩	٢,٨٥٢	٢,٦٩٧	٢,٥٦١	٢,٤٣١
٠,٣٦	٣,١٨١							
٠,٣٧	٢,٩٩٢	٢,٨٦٢	٢,٨١٤	٢,٧٧٣	٢,٧٣٦	٢,٥٨١	٢,٤٤٥	٢,٣١٥
٠,٣٨	٣,٠٦٥							
٠,٣٩	٢,٨١٧	٢,٧٥٧	٢,٧٠٩	٢,٦٦٧	٢,٦٣١	٢,٤٧٦	٢,٣٤٠	٢,٢١٠
٠,٤٠	٢,٩٦٠							
٠,٤١	٢,٧١٨	٢,٦٥٨	٢,٦١٠	٢,٥٦٩	٢,٥٣٢	٢,٣٧٧	٢,٢٤١	٢,١١١
٠,٤٢	٢,٨٦١							
٠,٤٣	٢,٦٦٢	٢,٥٦٢	٢,٥١٤	٢,٤٧٣	٢,٤٣٦	٢,٢٨١	٢,١٤٥	٢,٠١٥
٠,٤٤	٢,٧٦٥							
٠,٤٥	٢,٥٣٤	٢,٤٧٤	٢,٤٢٦	٢,٣٨٥	٢,٣٤٨	٢,١٩٣	٢,٠٥٧	١,٩٢٧
٠,٤٦	٢,٦٧٧							
٠,٤٧	٢,٤٤٩	٢,٣٨٩	٢,٣٤١	٢,٣٠٠	٢,٢٦٣	٢,١٠٨	١,٩٧٢	١,٨٤٢
٠,٤٨	٢,٥٩٢							
٠,٤٩	٢,٣٦٣	٢,٣٠٨	٢,٢٦٠	٢,٢١٩	٢,١٨٢	٢,٠٢٧	١,٨٩١	١,٧٦١
٠,٥٠	٢,٥١١							
٠,٥١	٢,٢٩١	٢,٢٣١	٢,١٨٣	٢,١٤٢	٢,١٠٥	١,٩٥٠	١,٨١٤	١,٦٨٤
٠,٥٢	٢,٤٣٤							
٠,٥٣	٢,٢١٩	٢,١٥٩	٢,١١١	٢,٠٧٠	٢,٠٣٣	١,٨٧٨	١,٧٤٢	١,١٦٢
٠,٥٤	٢,٣٦٢							
٠,٥٥	٢,١٤٨	٢,٠٨٨	٢,٠٤٠	١,٩٩٩	١,٩٦٢	١,٨٠٧	١,٦٧١	١,٥٤١
٠,٥٦	٢,٢٩١							
٠,٥٧	٢,٠٨٢	٢,٠٢٢	١,٩٧٤	١,٩٣٣	١,٨٩٦	١,٧٤١	١,٦٠٥	١,٤٧٥
٠,٥٨	٢,٢٢٥							
٠,٥٩	٢,٠١٨	١,٩٥٨	١,٩١٠	١,٨٦٩	١,٨٣٢	١,٦٧٧	١,٥٤١	١,٤١١
٠,٦٠	٢,١٦١							
٠,٦١	١,٩٥٧	١,٨٩٧	١,٨٤٩	١,٨٠٨	١,٧٧١	١,٦١٦	١,٤٨٠	١,٥٣٠

٠,٦٢	٢,١٠٠							
٠,٦٣	١,٨٩٨	١,٨٣٨	١,٧٩٠	١,٧٤٩	١,٧١٢	١,٥٥٦	١,٤٢١	١,٢٩١
٠,٦٤	٢,٤١٠							
٠,٦٥	١,٨٤١	١,٧٨١	١,٧٣٣	١,٦٩٢	١,٦٥٥	١,٥٠٠	١,٣٦٤	١,٢٣٤
٠,٦٦	١,٩٨٤							
٠,٦٧	١,٧٨٧	١,٧٢٧	١,٦٧٩	١,٦٣٨	١,٦٠١	١,٤٤٦	١,٣١٠	١,١٨٠
٠,٦٨	١,٩٣٠							
٠,٦٩	١,٦٣٥	١,٦٧٥	١,٦٢٧	١,٥٨٦	١,٥٤٩	١,٣٩٤	١,٢٥٨	١,١٢٨
٠,٧٠	١,٨٧٨							
٠,٧١	١,٦٨٥	١,٦٢٥	١,٥٧٧	١,٥٣٦	١,٤٩٩	١,٣٤٤	١,٢٠٨	١,٠٧٨
٠,٧٢	١,٨٢٨							
٠,٧٣	١,٦٣٦	١,٥٧٦	١,٥٢٨	١,٤٨٧	١,٤٥٠	١,٢٩٥	١,١٥٩	١,٠٢٩
٠,٧٤	١,٧٧٩							
٠,٧٥	١,٥٨٩	١,٥٢٩	١,٤٨١	١,٤٤٠	١,٤٠٣	١,٢٤٨	١,٢٢١	٠,٨٩٢
٠,٧٦	١,٧٣٢							
٠,٧٧	١,٥٤٣	١,٤٨٣	١,٤٣٥	١,٣٩٤	١,٣٥٧	١,٢٠٢	١,٠٦٦	٠,٩٣٦
٠,٧٨	١,٦٨٦							
٠,٧٩	١,٥٠٠	١,٤٤٠	١,٣٩٢	١,٣٥١	١,٣١٤	١,١٥٩	١,٠٢٣	٠,٨٩٣
٠,٨٠	١,٦٤٣							
٠,٨١	١,٤٥٧	١,٣٩٧	١,٣٤٩	١,٣٠٨	١,٢٧١	١,١١٦	٠,٩٨٠	٠,٨٥٠
٠,٨٢	١,٦٠٠							
٠,٨٣	١,٤١٦	١,٣٥٦	١,٣٠٣	١,٢٦٧	١,٢٣٠	١,٠٧٥	٠,٩٣٩	٠,٨٠٩
٠,٨٤	١,٥٥٩							
٠,٨٥	١,٣٧٦	١,٣١٦	١,٢٦٨	١,٢٢٧	١,١٩٠	١,٠٣٥	٠,٨٩٩	٠,٧٦٩
٠,٨٦	١,٥١٩							
٠,٨٧	١,٣٣٦	١,٢٧٧	١,٢٢٩	١,١٨٨	١,١٥١	٠,٩٩٦	٠,٨٦٠	٠,٧٣٠
٠,٨٨	١,٤٨٠							
٠,٨٩	١,٢٢٩	١,٢٣٩	١,١٩٠	١,١٥٠	١,١١٣	٠,٩٥٨	٠,٨٢٢	٠,٦٩٢
٠,٩٠	١,٤٤٢							
٠,٩١	١,٢٦٢	١,٢٠٢	١,١٥٤	١,١١٣	١,٠٧٦	٠,٩٢١	٠,٧٨٥	٠,٦٥٥
٠,٩٢	١,٤٠٥							
٠,٩٣	١,٢٢٦	١,١٦٦	١,١١٨	١,٠٧٧	١,٠٤٠	٠,٨٨٥	٠,٧٤٩	٠,٦١٩
٠,٩٤	١,٣٦٩							
٠,٩٥	١,١٩٠	١,١٣٠	١,٠٨٢	١,٠٤١	١,٠٠٤	٠,٨٤٩	٠,٧١٣	٠,٥٨٣
٠,٩٦	١,٣٣٣							
٠,٩٧	١,١٥٦	١,٠٩٦	١,٠٤٨	١,٠٠٧	٠,٩٧٠	٠,٨١٥	٠,٦٧٩	٠,٥٤٩
٠,٩٨	١,٢٢٩							
٠,٩٩	١,١٢٢	١,٠٦٢	١,٠١٤	٠,٩٧٣	٠,٩٣٦	٠,٧٨١	٠,٦٤٥	٠,٥١٥
	١,٢٦٥							
	١,٠٩٠	١,٠٣٠	٠,٩٨٢	٠,٩٤١	٠,٩٠٤	٠,٧٤٩	٠,٦١٣	٠,٤٨٣
	١,٢٣٣							
	١,٠٥٨	٠,٩٩٨	٠,٩٥٠	٠,٩٠٩	٠,٨٧٢	٠,٧١٧	٠,٥٨١	٠,٤٥١

	١,٢٠١						
	١,٠٢٦	٠,٩٦٦	٠,٩١٨	٠,٨٧٧	٠,٨٤٠	٠,٦٨٥	٠,٥٤٩	٠,٤١٩
	١,١٦٩						
	٠,٩٩٥	٠,٩٣٥	٠,٨٨٧	٠,٨٤٦	٠,٨٠٩	٠,٦٥٤	٠,٥١٨	٠,٣٨٨
	١,١٣٨						
	٠,٩٦٥	٠,٩٠٥	٠,٨٥٧	٠,٨١٦	٠,٧٧٩	٠,٦٢٤	٠,٤٨٨	٠,٣٥٨
	١,١٠٨						
	٠,٩٣٥	٠,٨٧٥	٠,٨٢٧	٠,٧٨٦	٠,٧٤٩	٠,٥٩٤	٠,٤٥٨	٠,٣٢٨
	٠,٠٧٨						
	٠,٩٠٦	٠,٨٤٦	٠,٧٩٨	٠,٧٥٧	٠,٧٢٠	٠,٥٦٥	٠,٤٢٩	٠,٢٩٩
	١,٠٤٩						
	٠,٨٧٧	٠,٨١٧	٠,٧٦٩	٠,٧٢٨	٠,٦٩١	٠,٥٣٦	٠,٤٩٩	٠,٢٧٠
	١,٠٢٠						
	٠,٨٤٩	٠,٧٨٩	٠,٧٤١	٠,٧٠٠	٠,٦٦٣	٠,٥٠٨	٠,٣٧٢	٠,٢٤٢
	٠,٩٩٢						
	٠,٨٢١	٠,٧٦١	٠,٧١٣	٠,٦٧٢	٠,٦٣٥	٠,٤٧٠	٠,٣٤٤	٠,٢١٤
	٠,٩٦٤						
	٠,٧٩٣	٠,٧٣٣	٠,٦٨٥	٠,٦٤٤	٠,٦٠٦	٠,٤٥٢	٠,٣١٦	٠,١٨٦
	٠,٩٣٦						
	٠,٧٦٦	٠,٧٠٦	٠,٦٥٨	٠,٦١٧	٠,٥٨٠	٠,٤٢٥	٠,٢٨٩	٠,١٥٩
	٠,٩٠٩						
	٠,٧٣٩	٠,٦٧٩	٠,٦٣١	٠,٥٩٠	٠,٥٥٣	٠,٣٩٨	٠,٢٦٢	٠,١٣٢
	٠,٨٨٢						
	٠,٧١٢	٠,٦٥٢	٠,٦٠٤	٠,٥٦٣	٠,٥٢٦	٠,٣٧١	٠,٢٣٥	٠,١٠٥
	٠,٨٥٥						
	٠,٦٨٦	٠,٦٢٦	٠,٥٧٨	٠,٥٣٧	٠,٥٠٠	٠,٣٤٥	٠,٢٠٩	٠,٠٧٩
	٠,٨٢٩						
	٠,٦٥٩	٠,٥٥٩	٠,٥٥١	٠,٥١٠	٠,٤٧٣	٠,٣٨١	٠,١٨٢	٠,٠٥٢
	٠,٨٠٢						
	٠,٦٣٣	٠,٥٧٣	٠,٥٢٥	٠,٤٨٤	٠,٤٤٧	٠,٢٩٢	٠,١٥٦	٠,٠٢٦
	٠,٧٧٦						
	٠,٦٠٧	٠,٥٤٧	٠,٤٩٩	٠,٤٥٨	٠,٤٢١	٠,٢٦٦	٠,١٣٠	-----
	٠,٧٥٠						
	٠,٥٨١	٠,٥٢١	٠,٤٧٣	٠,٤٣٢	٠,٣٩٥	٠,٢٤٠	٠,١٠٤	-----
	٠,٧٢٤						
	٠,٥٥٥	٠,٤٩٥	٠,٤٤٧	٠,٤٠٦	٠,٣٦٩	٠,٢١٤	٠,٠٧٨	-----
	٠,٦٩٨						
	٠,٥٢٩	٠,٤٦٩	٠,٤٢١	٠,٣٨٠	٠,٣٤٣	٠,١٨٨	٠,٠٥٢	-----
	٠,٦٧٢						
	٠,٥٠٣	٠,٤٤٣	٠,٣٩٥	٠,٣٥٤	٠,٣١٧	٠,١٦٢	٠,٠٢٦	-----
	٠,٦٤٦						
	٠,٤٧٧	٠,٤١٧	٠,٣٦٩	٠,٣٢٨	٠,٢٩١	٠,١٣٦	-----	-----

	٠,٦٢٠								
	٠,٤٥٠	٠,٣٩٠	٠,٣٤٢	٠,٣٠١	٠,٢٦٤	٠,١٠٩	-----	-----	
	٠,٥٩٢								
	٠,٤٢٤	٠,٣٦٤	٠,٣١٦	٠,٢٧٥	٠,٢٣٨	٠,٠٨٣	-----	-----	
	٠,٥٦٧								
	٠,٣٩٧	٠,٣٣٧	٠,٢٨٩	٠,٢٤٨	٠,٢١١	٠,٠٥٦	-----	-----	
	٠,٥٤٠								
	٠,٣٦٩	٠,٣٠٩	٠,٢٦١	٠,٢٢٠	٠,١٨٣	٠,٠٢٨	-----	-----	
	٠,٥١٢								
	٠,٤٨٤	٠,٣٤١	٠,٢٨١	٠,٢٣٣	٠,١٩٢	٠,١٥٥	-----	-----	-----
	٠,٤٥٦	٠,٣١٣	٠,٢٥٣	٠,٢٠٥	٠,١٦٤	٠,١٢٧	-----	-----	-----
	٠,٤٢٦	٠,٢٨٣	٠,٢٢٣	٠,١٧٥	٠,١٣٤	٠,٠٩٧	-----	-----	-----
	٠,٣٩٥	٠,٢٥٢	٠,١٩٢	٠,١٤٤	٠,١٠٣	٠,٠٦٦	-----	-----	-----
	٠,٣٦٣	٠,٢٢٠	٠,١٦٠	٠,١١٢	٠,٠٧١	٠,٠٣٤	-----	-----	-----
	٠,٣٢٩	٠,١٨٦	٠,١٢٦	٠,٠٧٨	٠,٠٣٧	-----	-----	-----	-----
	٠,٢٩٢	٠,١٤٩	٠,٠٨٩	٠,٠٤١	-----	-----	-----	-----	-----
	٠,٢٥١	٠,١٠٨	٠,٠٤٨	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	٠,٢٠٣	٠,٠٦٠	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	٠,١٤٣	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

(١١-٤) - تصحيح معامل القدرة للمحركات الكهربية

تستخدم المكثفات في عمليات تحسين معامل القدرة للدوائر الكهربية التي تحتوي على محركات حثية كوسيلة لتقليل المركبة الحثية للتيار ولذلك يقل الفقد في مصدر التغذى ة الكهربي ولكن يجب ألا يؤثر هذا على تشغيل المحرك نفسه.

المحركات الحثية تسحب تيارا من المصدر مكون من مركبتين أحدهما مركبة حثية والآخرى مركبة مقاومات وهما:

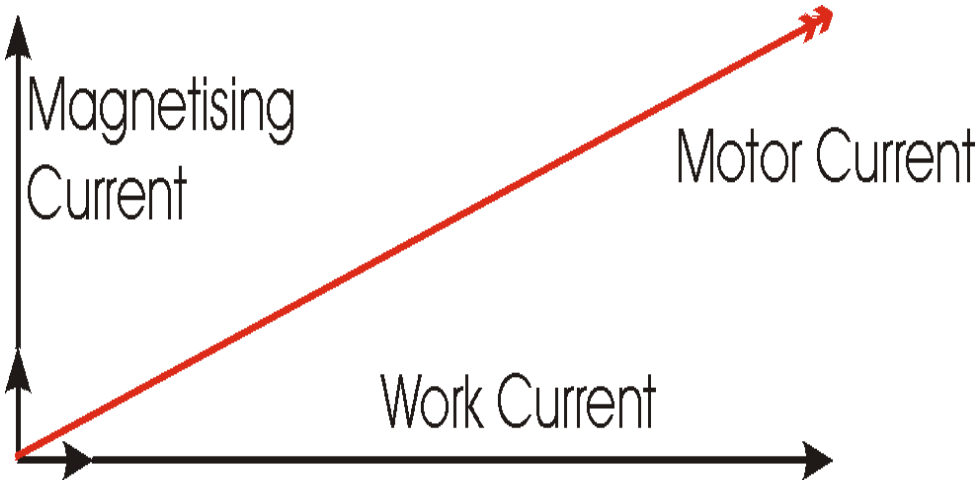
١) تيار الحمل

٢) تيار الفقد

ومكونات المركبة الحثية هي:

٣) مفاعلة الفيض المتسرب (leakage reactance)

٤) تيار التمغنط (magnetizing current)

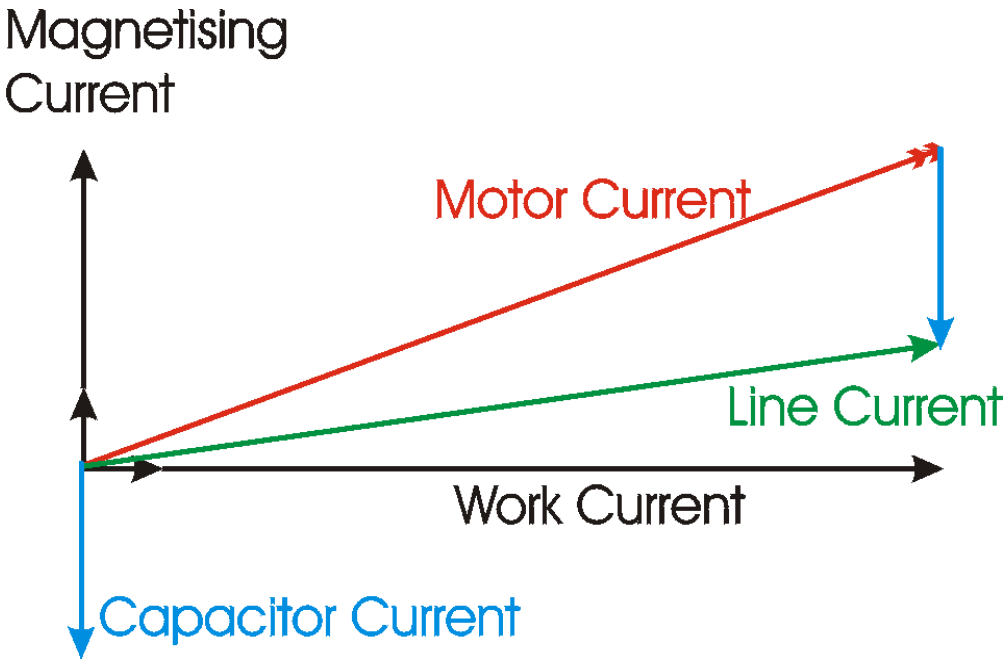


شكل (٢,١٤)

التيار خلال مفاعلة الفيض المتسرب يعتمد على قيمة التيار الكلي المسحوب بواسطة المحرك ولكن تيار التمغنط لا يعتمد على الحمل الموجود على المحرك. قيمة تيار التمغنط تقع بين ٢٠٪ إلى ٦٠٪ من القيمة المقننة للحمل الكامل للمحرك. تيار التمغنط هو التيار المطلوب لتثبيت الفيض المغناطيسي في الحديد وهذا هام جدا لعمل المحرك. ولا يساهم تيار التمغنط في العمل الحقيقي الناتج من المحرك. تيار التمغنط ومفاعلة الفيض المتسرب يعتبران مركبات حاملة للتيار الكهربي وهما لا يؤثران على القدرة المسحوبة بواسطة المحرك ولكن يساهمان في القدرة المفقودة في مصدر التغذى ة ونظام التوزيع الكهربي. على سبيل المثال، محرك يسحب تيارا مقداره ١٠٠ أمبير بمعامل قدرة مقداره ٠,٧٥ ومركبة المقاومات

للتيار هي ٧٥ أمبير فما هي قيمة الطاقة الكهربية المقاسة للمحرك. القيمة العالية للتيار الكهربي ينتج عنها زيادة في مفقودات التوزيع الكهربي بمقدار (٧٥x٧٥) /(١٠٠x١٠٠) وهي تساوي ١,٧٧٧ أو ٧٨٪ زيادة في مفقودات مصدر التغذى ة الكهربي. في إطار الاهتمام بتقليل الفقد في نظم التوزيع الكهربي تضاف معدات لتحسين معامل القدرة وذلك لمعادلة الجزء الخاص بتيار التمغنط للمحرك. ويقع معامل القدرة المصحح بين ٠,٩٢ إلى ٠,٩٥. بعض شركات التوزيع الكهربي تحث على استخدام معامل قدرة أفضل من ٠,٩ بينما بعض الشركات تعاقب المستهلكين ذوي معامل القدرة المنخفض. هناك عدة طرق للمعايرة ولكن النتيجة النهائية لخفض الطاقة المفقودة في نظم التوزيع الكهربي هي تشجيع المستهلك لاستخدام معدات تصحيح معامل القدرة.

من الممكن إنجاز تصحيح معامل القدرة بإضافة مكثفات على التوازي مع دوائر ا لمحرك ويمكن وضعها عند بادئ التشغيل أو عند لوحة المفاتيح أو لوحة التوزيع الكهربي. التيار السعوي الناتج يتقدم عن التيار ويستخدم لمعادلة التيار الحثي المتآخر القادم من المصدر.

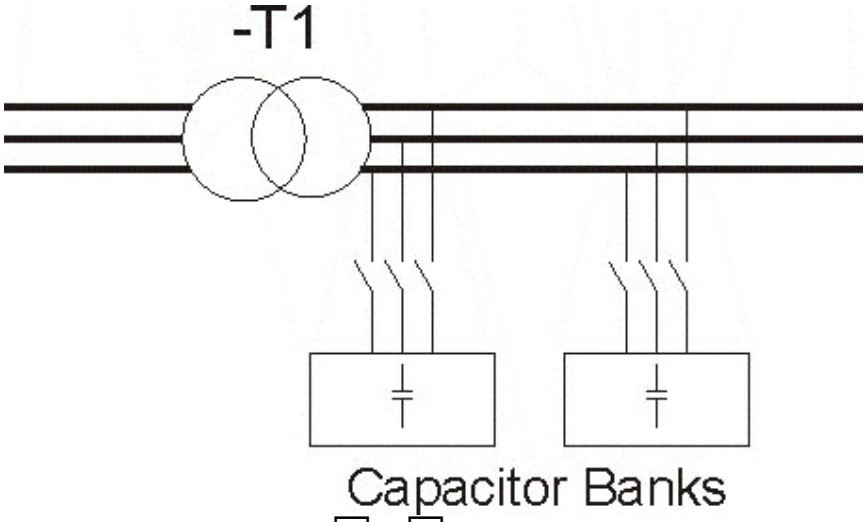


شكل (٢,١٥)

طريقة توصيل المكثفات عند كل بادئ تشغيل والتحكم فيها بواسطة بادئ التشغيل تسمى "تصحيح معامل القدرة الإستاتيكي " بينما المكثفات المتصلة عند لوحة التوزيع الكهربي ويتحكم فيها بطريقة منفصلة من بادئات التشغيل الفردية تسمى "التصحيح الكلي" (bulk correction).

(١-١١-٤)- التصحيح الكلي

معامل القدرة للتيار الكلي الذي يغذى لوحة التوزيع يتتبع بمتحكم والذي يشغل المكثفات بطريقة تلقائية للحفاظ على معامل قدرة أفضل من القيمة الموجودة. القيمة الفعلية لمعامل القدرة المصحح هي ٠,٩٥ بينما القيمة المثالية لأفضل معامل قدرة تقترب من الواحد الصحيح قدر الإمكان. وليس هناك أي مشكلة من استخدام طريقة التصحيح الكلي عند معامل قدرة مقداره ١,٠.



شكل (٢□١١□٢)

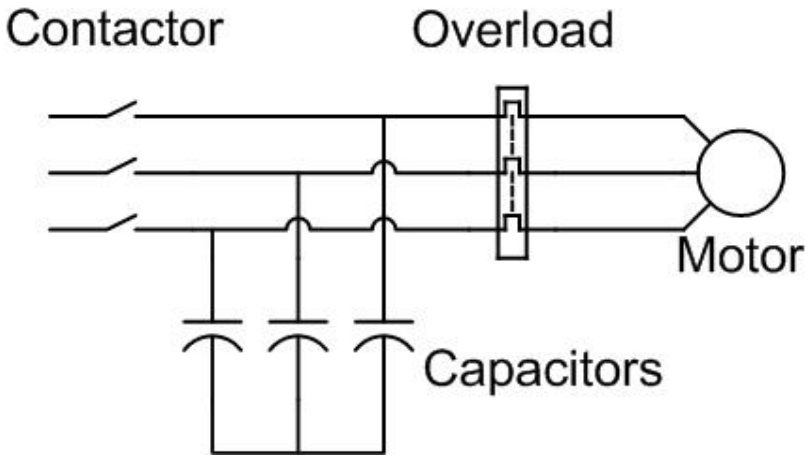
(٢□١١□٤) - التصحيح الإستاتيكي Static Correction

حيث أن الجزء الأكبر من التيار الحثي أو المتآخر على مصدر التغذى ة الكهربي ناتج عن تيار التمغنط للمحركات الحثية فإن ه من السهل تصحيح معامل القدرة لكل محرك وذلك بتوصيل مكثفات عند بادئات تشغيل المحرك. عند استخدام التصحيح الإستاتيكي فمن الهام أن يكون التيار السعوي أقل من تيار التمغنط الحثي للمحرك. في معظم التركيبات التي تستخدم التصحيح الإستاتيكي توصل المكثفات مباشرة على التوازي مع ملفات المحرك. عند فصل المحرك تفصل أيضا مكثفات التصحيح وعند توصيل المحرك بالمصدر الكهربي توصل أيضا المكثفات لتعطي تصحيح دائم لمعامل القدرة للمحرك. وهذا يلغي متطلبات أن يكون هناك أجهزة رصد معامل القدرة المكلفة وكذلك معدات التحكم. وفي هذا الإطار يبقى المكثف مرتبطاً بأطراف المحرك عندما تنخفض سرعة المحرك. يبدأ تشغيل المحرك عند توصيله بالمصدر عن طريق المجال المغناطيسي الدوار في العضو الثابت للمحرك (stator) والذي يولد تيارا حثيا في العضو الدوار للمحرك (rotor). وعند فصل المحرك من المصدر يكون هناك لفترة زمنية مجال مغناطيسي مرتبط بالعضو الدوار للمحرك ويتولد جهد كهربي على أطراف المحرك بتردد يعتمد على

سرعة المحرك وتكون المكثفات المتصلة على أطراف المحرك دائرة رنين مع المعاوقة الحثية للمحرك. وعند وضع المكثفات لتصحيح معامل القدرة إلى ١,٠ (التصحيح الحرج) تتساوي المعاوقة الحثية مع المعاوقة السعوية عند تردد الخط الكهربي وعندئذ يكون تردد الرنين مساويا لتردد الخط. إذا كان تردد الجهد المتولد من المحرك لحظة فصله تتساوى لحظيا مع تردد الرنين للمحرك فسيمر تيار ع إلى ويرتفع الجهد على دائرة المحرك والمكثفات والذي يمكن أن يؤدي إلى انهيار خطير للمكثفات والمحرك. لذلك لابد من التأكد من أن معامل القدرة للمحركات لا تصحح بقيمة أعلى أو إلى القيمة الحرجة عند تطبيق التصحيح الإستاتيكي .

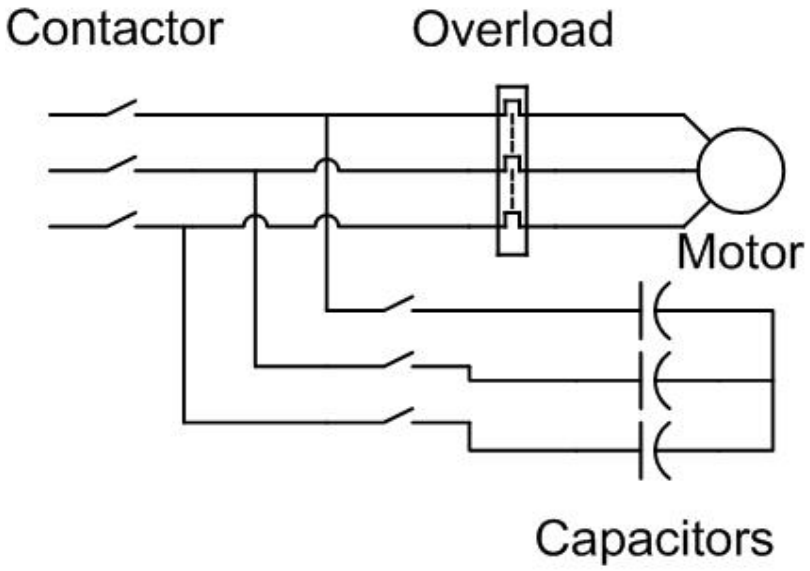
تصحيح معامل القدرة الإستاتيكي لابد أن يوفر تيارا سعويا يساوي ٨٠٪ من تيار التمغنط وهو بالضرورة تيار اللاحمل للمحرك.

يمكن تغيير تيار التمغنط للمحركات بصورة كبيرة حيث إن تيار التمغنط للمحركات الكبيرة ذات القطبين حو إلى ٢٠٪ من التيار المقنن للمحرك بينما المحركات الصغيرة ذات السرعات المنخفضة يكون تيار التمغنط لها حو إلى ٦٠٪ من تيار الحمل الكامل المقنن للمحرك. وعمليا فإن استخدام الجداول القياسية لتصحيح معامل القدرة للمحركات الحثية تعطي التصحيح الأمثل لجميع المحركات. وتتسبب الجداول في تصحيح أقل لمعظم المحركات وفي بعض الأحوال لا تعطي تصحيح أكبر. ومن الخطورة أن يبنى التصحيح على خصائص الحمل الكامل للمحرك كما في بعض الحالات تظهر بعض المحركات معاوقة متسربة عالية وتصحيح لمعامل القدرة يصل إلى ٠,٩٥ عند الحمل الكامل ويتسبب ذلك في تصحيح زائد عن الحد عند اللاحمل أو عند حالات الفصل.



شكل (٢-١٧)

التصحيح الإستاتيكي شائع التطبيق باستخدام مفاتيح الفصل الأوتوماتيكي (contactors) للتحكم في كل من المحرك والمكثفات. ومن الأفضل عمليا استخدام اثنين من مفاتيح الفصل الأوتوماتيكي أحدهما للمحرك والآخر للمكثفات لتجنب مشاكل الرنين بين المحرك والمكثفات.



شكل (٢,١٨)

(٣-١١-٤) - مغيرات التيار

لا يجب استخدام طريقة التصحيح الإستاتيكي لمعامل القدرة عندما تستخدم معدات تغيير السرعة أو مغيرات التيار للتحكم في المحركات. ويمكن أن يتسبب توصيل المكثفات عند خرج مغيرات التيار في مشاكل كبيرة لمغيرات التيار والمكثفات بسبب الجهد ع إلى التردد على خرج مغيرات التيار.

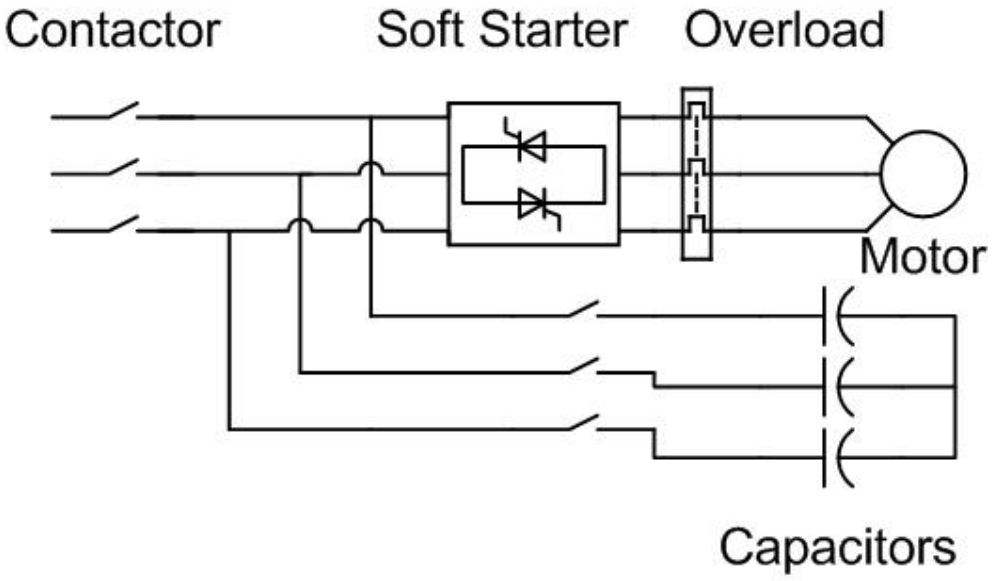
التيار المسحوب بواسطة مغيرات التيار له معامل قدرة منخفض وخاصة عند الأحمال المنخفضة، لكن تيار المحرك يعزل عن مصدر التغذى ة الكهربي بواسطة مغير التيار. زاوية الوجه للتيار المسحوب بواسطة مغير التيار من مصدر التغذى ة تكون قريبة من الصفر وتتسبب في تيار حثي صغير جدا بدون النظر للمحرك الكهربي لذلك فإن مغير التيار يعمل دائما عند معامل قدرة منخفض، حيث إن التيار المار في مغيرات التيار يكون غير جيبي والتوافقيات الناتجة عنها تتسبب في وجود معامل قدرة قريب من ٠,٧ معتمدا على التصميم الداخلي لمغير التيار. ولذلك تحث دائما شركات الكهرباء مصنعي مغيرات التيار لتحسين معامل القدرة لأفضل من ٠,٩٥. مغيرات التيار التي لها محاثات دخل (input reactors) و قضبأن محاثة تيار مستمر (DC bus reactors) يكون معامل قدرتها أفضل من تلك التي بدون.

توصيل المكثفات قريباً من دخل مغير التيار يمكن أن يتسبب في فقدان مغير التيار لأن المكثفات تتسبب في تكبير الجهود العابرة (transients) مما يتسبب في جهد دفعي ع إلى على دوائر الدخل لمغير التيار وطاقة الجهد الدفعي أكبر من طاقة التخزين للمكثف مما قد يؤدي لتدمير مغير التيار. ويفضل أن توضع المكثفات على بعد حو إلى ٧٥ متر من مغير التيار لتقليل أضرار الجهد الدفعي بواسطة معاوقة الموصل بين المكثفات ومغير التيار.

استخدام المكثفات ذات مفاتيح الغلق والفتح اليدوية أو الأوتوماتيكية تتسبب في وجود جهد عابر يمكن أن يدمر دوائر الدخل لمغير التيار وتتناسب الطاقة مع قيمة السعة للمكثف.

(٤-١١-٤) - بادئ التشغيل الناعم باستخدام المعدات الإلكترونية

لا يجب توصيل مكثفات التصحيح الإستاتيكي لمعامل القدرة عند خرج بادئ التشغيل الناعم باستخدام المعدات الإلكترونية ولكن يجب التحكم فيها بمفتاح فصل أوتوماتيكي منفصل ويبدأ إدخالها بالدائرة عندما يصل جهد الخرج لبادئ التشغيل لقيمة جهد الخط. ويمكن أن يتسبب توصيل المكثفات بالقرب من دخل بادئ التشغيل في تدميره إذا لم يستخدم مفتاح فصل أوتوماتيكي عازل. وتتسبب المكثفات في تكبير الجهود العابرة مما ينتج عنها جهود دفعية عالية لذلك فينصح بوضع المكثفات على بعد لا يقل عن ٥٠ مترا من بادئ التشغيل.



شكل (٢,١٩)

(٥-١١-٤) - اختيار المكثفات

يجب ن يعادل التصحيح الإستاتيكي لمعامل القدرة أقل من ٨٠٪ من تيار التمغنط للمحرك وإذا كان التصحيح ع إلى فهناك احتمالية كبيرة لفشل المعدات وتدمير المحرك والمكثفات. في المقابل فإن تيار التمغنط للمحرك الحثي يتغير بتغير تصميم المحرك ويكون تيار التمغنط حو إلى ٢٠٪ من تيار الحمل الكامل للمحرك ويمكن أن يصل إلى ٦٠٪ من تيار الحمل الكامل للمحرك. معظم تصحيح معامل القدرة يكون من خلال الجداول المنشورة بواسطة عدد من المصادر وهذه الجداول تفترض أقل قيمة لتيار التمغنط وتستنتج المكثف لهذا التيار. في الواقع يمكن أن يعني هذا في الغالب أقل من نصف القيمة التي يجب عليها.

(٦-١١-٤) - توافقيات المصدر

التوافقيات على المصدر تتسبب في تيار زائد يمر في المكثفات وذلك لأن معاوقة المكثف تقل مع زيادة التردد وهذه الزيادة تتسبب في تسخين إضافي للمكثف ويقلل ذلك من عمره الافتراضي. وتتولد هذه التوافقيات من وجود أحمال غير خطية مثل متحكمات السرعة المتغيرة ومفاتيح مصدر التغذى ة الكهربي ويمكن التقليل من توافقيات الجهد باستخدام معوضات التوافقيات وهي عبارة عن مغيرات تيار كبيرة وكذلك يمكن استخدام مرشحات التوافقيات السلبية (passive harmonic filters) والمكونة من مقاومات وملفات ومكثفات.

وللتقليل من الأضرار على المكثفات الناتجة عن تيارات التوافقيات أصبح من الشائع الآن استخدام مفاعلات حثية على التو إلى مع المكثفات وهذه المفاعلات الحثية تجعل دائرة التصحيح حثية عند

الترددات العالية (أعلى من التوافقيات الثالثة third harmonics). والهدف من استعمالها هو جعل دائرة التصحيح حثية قدر الإمكان عند التوافقيات الخامسة وأعلى وسعوية عند تردد القوى.

(٧□١١□٤) - رنين مصدر التغذى ة الكهربي

تصحيح معامل القدرة باستخدام المكثفات المتصلة على أطراف لمصدر تتسبب في حالة الرنين بين المصدر والمكثفات. لو أن تيار القصر للمصدر ع إلى جدا فإن تأثير الرنين سيكون أقل بينما في التركيبات الساذجة عندما يكون المصدر حثي بصورة كبيرة وله معاوقة عالية فيكون تأثير الرنين خطير جدا ويؤدي لتدمير المعدات الموجودة. الجهود العالية والعابرة والتي تكون أضعاف جهد المصدر غير معتادة مع مصادر التغذى ة الضعيفة وخاصة عندما يكون الحمل على المصدر منخفض. كما هو الحال في أنظمة الرنين فالتغير المفاجئ أو العابر في التيار ينتج طنيناً في دوائر الرنين وتوليداً للجهد العالي.

لتقليل مشاكل رنين مصادر التغذى ة يمكن تتبع بعض الخطوات مع الأخذ في الأعتبار كل ما هو متعلق بمصدر التغذى ة.

(١) تقليل قيمة تصحيح معامل القدرة خاصة عندما يكون الحمل خفيفا. ويقلل تصحيح معامل القدرة من الفقد في مصدر التغذى ة.

(٢) التقليل من الجهود العابرة عند عمليات الفتح. ويمكن إلغاء عمليات الفتح العابرة باستخدام مفاتيح المصدر متعاقبة التشغيل وبعض بادئات التشغيل الكهرو ميكانيكية مثل بادئ التشغيل نجمة/دلتا.

(٣) توصيل المكثفات مع المصدر في خطوات عديدة صغيرة بدلا من خطوات كبيرة وقليلة.

(٤) يتم إدخال المكثفات على المصدر بعد إدخال الأحمال وكذلك فصل المصدر قبل أو مع فصل الأحمال.

تصحيح معامل القدرة للتوافقيات لا يطبق للدوائر التي تسحب تيارا له موجات متقطعة و مشوهة.

معظم المعدات الإلكترونية تشتمل على وسائل لإيجاد تيار مستمر بتوحيد الجهد المتردد ، وهذا يتسبب في وجود تيارات للتوافقيات. وفي بعض الحالات يكون تيار التوافقيات غير ملحوظ نسبة لتيار الحمل الكامل ولكن في العديد من التركيبات الكهربية فإن جزءاً كبيراً من التيار المسحوب من المصدر يكون غنيا بالتوافقيات. فإذا كان تيار التوافقيات كبيراً بدرجة كافية فسوف ينتج تشوه لموجة مصدر التغذى ة والتي يمكن أن تتداخل مع التشغيل الصحيح للمعدات الآخرى. ويتسبب تيار التوافقيات في زيادة الفقد في مصدر التغذى ة.

تصحيح معامل القدرة لمصادر التغذى ة ذات الجهد المشوه لا يمكن تحقيقه بإضافة مكثفات. ويمكن التقليل من التوافقيات بتصميم المعدات مستخدما موحدات الجهد وإضافة مرشحات خاملة (passive filters LCR) أو بإضافة مغيرات الجهد الإلكترونية لتصحيح معامل الجهد والتي تعيد موجة الجهد إلى حالتها غير ا لمشوهة.

مسائل

١) استنتج مثلث القوى الكلي للأحمال الثلاثة الآتية: الحمل الأول ١٢٠٠VA عند معامل قدرة ٠,٧ متآخر، الحمل الثاني ٣٥٠VA عند معامل قدرة ٠,٥ متآخر، الحمل الثالث ٣٢٧٥VA عند معامل قدرة ١,٠.

(الإجابة :متآخر ٠,٧٩٨=p.f. ,S=٧٤٠VA ,Q=٤٤٦VAR ,P=٥٩٠W)

٢) حمل مقداره ٣٠٠ kW ومعامل قدرة ٠,٦٥ متآخر تم تحسين معامل القدرة إلى ٠,٩ متآخر بإضافة مكثفات على التوازي. احسب القدرة المفاعلة للمكثفات المطلوبة ونسبة الخفض في القدرة الظاهرية الكلية.

(الإجابة: ٢٨٪ ,٢٠٤VAR)

٣) محرك حثي ٢٠٠٠VA ومعامل قدرته ٠,٨ متآخر يعمل على التوازي مع محرك تزامني ٥٠٠VA إذا كان معامل القدرة الكلي ٠,٩ متآخر أوجد معامل القدرة للمحرك التزامني.

(الإجابة: ٠,٩٢ متقدم)

٤) محول كهربي ١٠٠ kVA يعمل عند ٨٠٪ من تيار الحمل الكامل ومعامل قدرة ٠,٨٥ متآخر احسب القدرة الظاهرية المطلوبة عند معامل قدرة ٠,٦ متآخر للوصول إلى الحمل الكامل للمحول الكهربي.

(الإجابة: ٢١,٣kVA)

٥) محول كهربي ٢٥٠ kVA يعمل عند الحمل الكامل بمعامل قدرة ٠,٨ متأخر . صحح معامل القدرة إلى ٠,٩ متآخر باستخدام مكثفات على التوازي احسب

(أ) القدرة المفاعلة للمكثفات المطلوبة.

(ب) قيمة الحمل عند معامل قدرة ١,٠ والذي يضاف الآن بدون الزيادة عن الحمل الكامل المقنن للمحول.

(الإجابة: ٣٠kW ,٥٢,٥ kVAR)

المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

تقنية التوزيع الكهربائي

حسابات الإنارة الكهربائية

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

(٥ -١) مقدمة

إن الإضاءة الطبيعية التي منحنا الله إياها عن طريق الشمس هي من نعم الله سبحانه وتعالى ولكن مع التقدم العلمي الهائل احتاج الإنسان إلى الإضاءة الصناعية وذلك لحاجته للإضاءة ليلاً ونهاراً في بعض الأحيان. ولأهمية الإضاءة في حياتنا يستعرض هذا الفصل بعض الأشياء الهامة عن الإضاءة.

وهذا الفصل يستعرض في البداية الوحدات والتعريفات المستخدمة في الإضاءة، وكذلك أنواع المصابيح واستخداماتها والجزء الت إلى يستعرض الإضاءة الخارجية أما الجزء الأخير فيستعرض الإضاءة الداخلية والإضاءة الخارجية. .في الإضاءة الداخلية بجب أن يكون هناك تعاون وتنسيق بين مهندس الإضاءة والمهندس المعماري. أما الإضاءة الخارجية فتشتمل على إضاءة الملاعب وإضاءة الطرق، وتجيء إضاءة الطرق لأسباب أمنية وتيسير العمل ليلاً.

(٥-٢) كميات ووحدات الإضاءة

(٥-٢-١) الفيض الضوئي (Luminous flux)

ويرمز له بالرمز (Φ) أو بالرمز (F) ويعبر عن حساسية العين للقدرة الضوئية الناتجة من الإشعاع ويعرف بأنه الكمية الكلية للضوء المنبعث في الثانية ، من مصدر ضوئي ، أو الطاقة الصادرة من مصدر ضوئي في الثانية . يقاس الفيض الضوئي بوحدة تسمى الليومن (Lumen) ويرمز لها بالرمز (Lm) وأما العلاقة بين الليومن ووحدة القدرة الكهربائية الوات (watt) فهي كالآتي:

١ Lumen = ٠,٠٠١٦ watt (٥-١)

or ١ watt = ٦٨١ Lumen (٥-٢)

(٥-٢-٢) الزاوية المجسمة أو الزاوية الفراغية (Solid angle)

ويرمز لها بالرمز (ω) ويوضح الشكل (٥,١) تمثيل للزاوية الفراغية ω والتي تعرف تبعًا للمعادلة الآتية:

$$\omega = \frac{A}{r^2} \text{ steradian} \qquad (5-3)$$

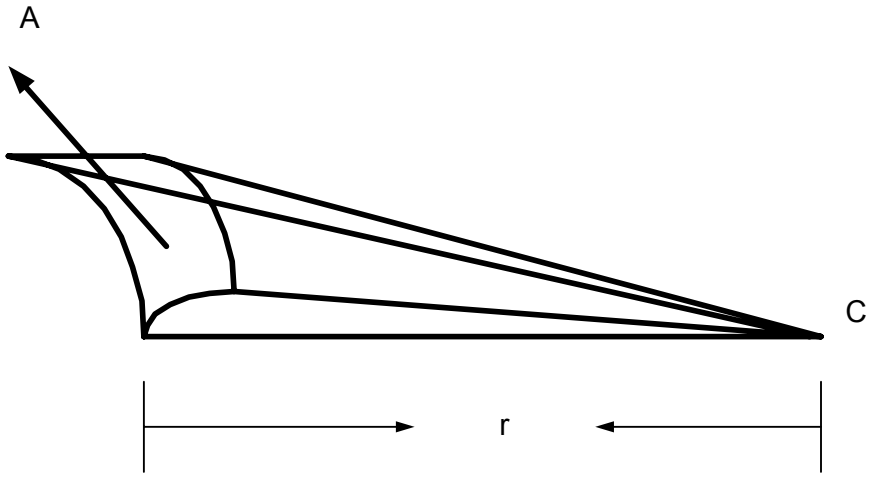
حيث : A = مساحة جزء من سطح كرة

r = نصف قطر كرة

c = مركز الكرة

وتكون وحدة الزاوية الفراغية (steradian) أي زاوية نصف قطرية مجسمة، ويرمز لها بالرمز (sr) ، وتعرف (steradian) بأنها الزاوية عند المركز المقابلة لجزء من سطح كرة (هذا الجزء له مساحة تساوي مربع نصف القطر أي أن $\omega = 1$ عندما $A=r^2$) وفي الهندسة الضوئية تكون ω هي الزاوية الفراغية المقابلة لمساحة السطح المضاء A .

وتعتبر أقصى قيمة للزاوية الفراغية ω هي 4π (st) ويمكن الحصول عليها عندما تتحقق المعادلة $A = 4\pi r^2$ (وهي المساحة الكلية لسطح الكرة)



الشكل (٥,١) تمثيل للزاوية الفراغية ω

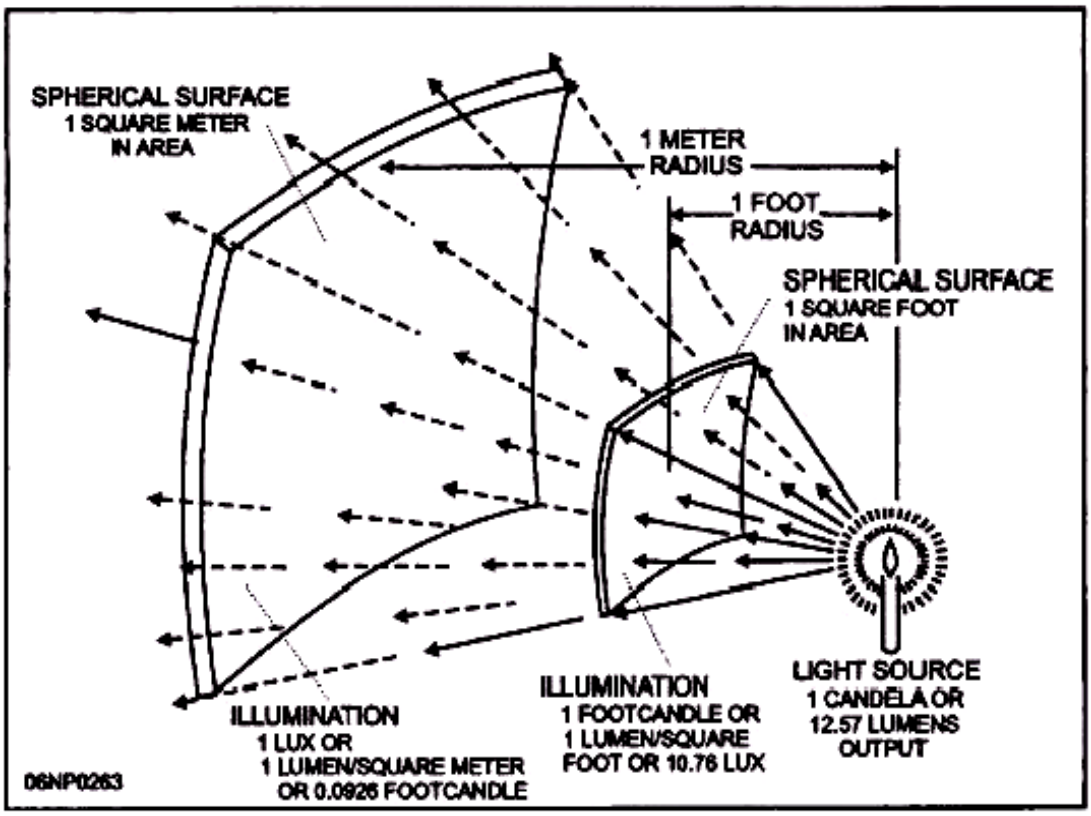
(٣□٢□٥) الكنديلا (Candela)

ويرمز لها بالرمز (cd) أو قدرة الشمعة (candela power) ومن الشائع أن يطلق عليها الشمعة فقط ويرمز لها بالرمز(cp) والكنديلا هي وحدة شدة الإضاءة (Luminous intensity)

(٤□٢□٥) الليومن (Lumen)

وبرمز له بالرمز (Lm) وهو وحدة الفيض الضوئي. إذا وضع ضوء له شدة استضاءة تساوي واحد كنديلا في جميع الاتجاهات، عند كرة نصف قطرها يساوي واحد متر، والزاوية الفراغية تساوي واحد (steradian)، فعنده ينتج فيض ضوئي يساوي واحد ليومن.

ويوضح شكل (٥,٢) كل من الليومن والشمعة.



شكل (٥,٢) يبين العلاقة بين الليومن والشمعة

(٥-٢-٥) كمية الضوء (Quantity of light)

ويرمز لها بالرمز Q وهي كمية الضوء الخارجية خلال ساعة نتيجة فيض يساوي واحد ليومن في مصباح معين ، ويعبر عنها كما يلي :

$$Q = \Phi . t \qquad Lm.hr \qquad (5-4)$$

ووحدة كمية الضوء هي ليومن -ساعة (Lm-hr) وهي تقابل أو تشبه وحدة الطاقة الكهربائية (وات -ساعة)

(٥-٢-٦) شدة الإضاءة (Luminous intensity)

ويرمز لها بالرمز (I)وهي قدرة المصدر الضوئي على انبعاث الفيض الضوئي (Φ) في اتجاه محدد وتمثل بالمعادلة التالية :

$$I = \frac{\Phi}{\omega} \qquad Lm/sr\ (candela) \qquad (5-5)$$

وتختلف شدة الإضاءة باختلاف الاتجاه حيث يكون متوسط شدة الإضاءة أو متوسط الكنديلا للمصدر هي القيمة المتوسطة لقيم الكنديلا في جميع الاتجاهات وتعرف أيضاً بأنها كمتوسط قدرة شمعة كروية (mean spherical candela –power) ويرمز لها بالرمز MSCP .

(٧-٢-٥) الاستضاءة (Illumination)

ويرمز لها بالرمز (E) وتعرف بأنها كمية الفيض الضوئي (ليومن) الساقطة عمودياً على وحدة المساحة من هذا السطح وتمثل بالمعادلة التالية:

$$E=\frac{\Phi}{A} \quad Lux \qquad (5-6)$$

وتكون وحدة الاستضاءة هي لاكس ($Lux = lm/m^2$)

(٨-٢-٥) النصوع (Luminance)

ويرمز له بالرمز (L) ويعرف النصوع بأنه النسبة بين شدة الإضاءة والمساحة الظاهرية لمصدر الضوء ويتم التعبير عن النصوع بالمعادلة التالية:

$$L=\frac{I}{S} \quad cd/m^2 \qquad (5-7)$$

حيث S = المساحة الظاهرية بوحدة m^2

(٥-٣-) قانون التربيع العكسي

ويمكن كتابة معادلة الاستضاءة (٦-٥) بصورة آخرى يطلق عليها معادلة قانون التربيع العكسي للضوء والتي تستنتج كالآتي:

$$I=\frac{\Phi}{\omega} \quad cd \qquad (5-8)$$

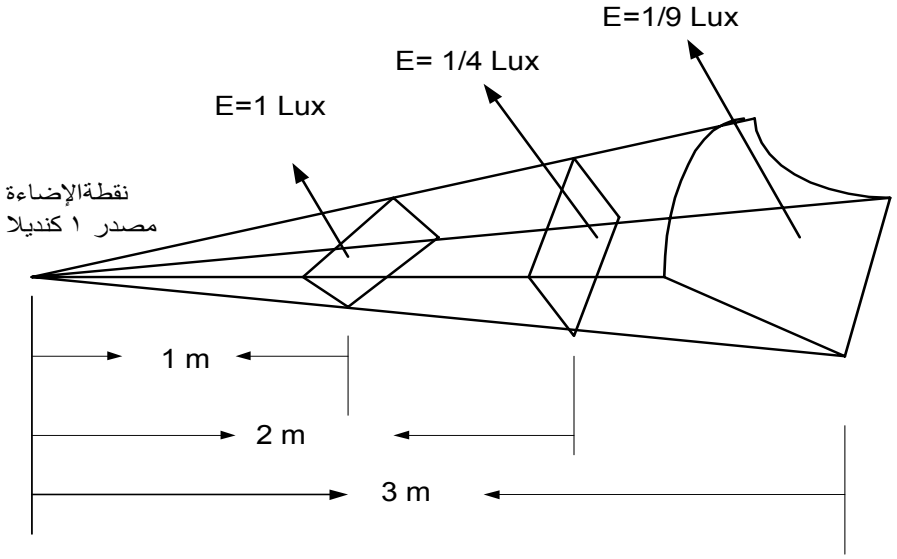
$$A=\omega r^2 \quad m^2 \qquad (5-9)$$

$$E=\frac{\Phi}{A}=\frac{I\omega}{\omega r^2}=\frac{I}{r^2} \quad Lux \qquad (5-10)$$

$$E=\frac{I}{r^2} \quad Lux \qquad (5-11)$$

ويوضح شكل (٥,٣) تمثيل قانون التربيع العكسي، ويتضح مما سبق أن الاستضاءة على سطح عمودي على اتجاه الضوء تتناسب ومربع المسافة بين المنبع والسطح، ويلاحظ أن قانون التربيع العكسي قد استنتج على أساس أن منبع الضوء مركز عند نقطة ، ولكن من الناحية العملية نجد أن الضوء يسقط

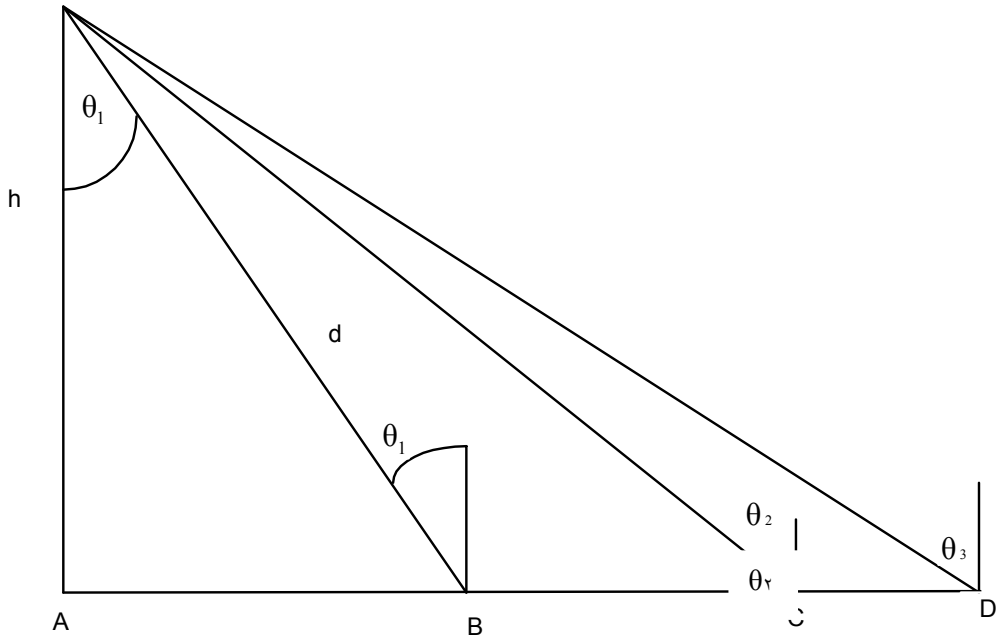
بزوايا ميل مختلفة على الأسطح المراد إضاءتها، وعندما تكون الاستضاءة أفقية كما في الشكل (٥,٤) فتكون المعادلة (١٠□٥) كما يأتي



شكل (٥,٣) تمثيل القانون التربيع العكسي

$$E_B = \frac{I\cos\theta_1}{d^2} \qquad (5-12)$$

$$E_B = \frac{I\cos^3\theta_1}{h^2} \qquad (5-13)$$



شكل (٥,٤) يبين الاستضاءة الأفقية لمنبع نقطي

حيث

E_p = الاستضاءة عند نقطة P

(١-٣-٥) تطبيقات على قانون التربيع العكسي

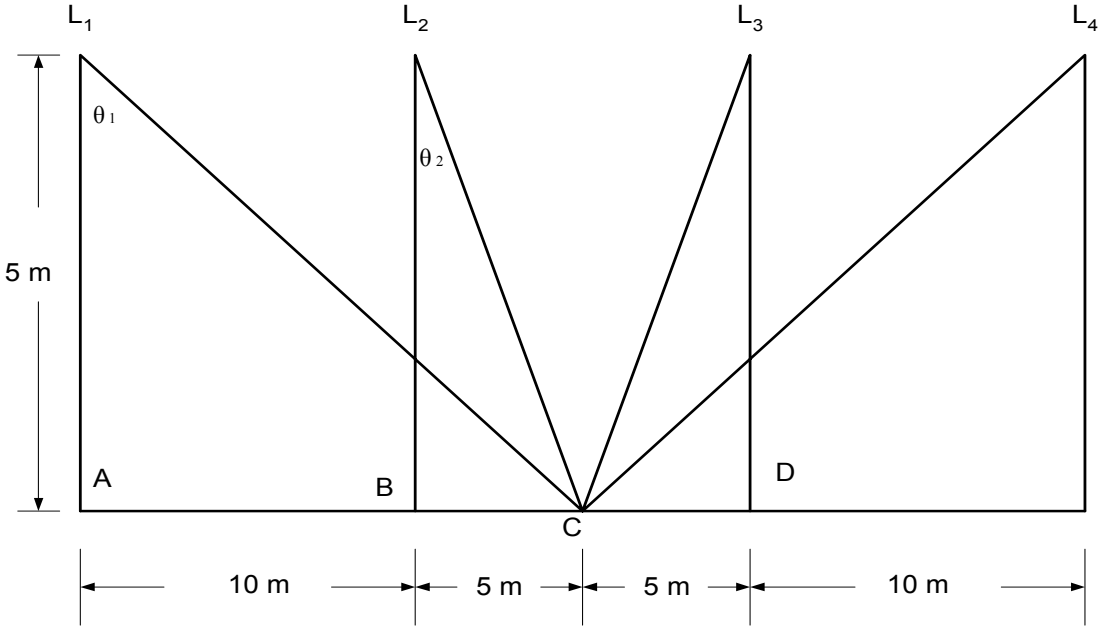
مثال (١)

يراد إضاءة ممر بأربعة مصابيح يبعد كل واحد عن الآخر m ١٠ وعلى ارتفاع m ٥ من سطح الأرض وأن شدة الإضاءة للمصباح cd ٢٠٠ في جميع الاتجاهات. أوجد الاستضاءة عند منتصف المسافة بين المصباحين الثاني والثالث.

الحل

لحل هذه المسألة نوجد الاستضاءة للمصباح الأول وكذلك الثاني ويوجد تماثل فنوجد الاستضاءة الكلية بضرب مجموع الإضاءة للمصباحين في ٢.

الاستضاءة نتيجة المصباح الأول $E_{L1}=\frac{I\cos\theta_1}{(L_1 C)^2}$



شكل (٥,٥)

$$L_1C = \sqrt{5^2 + 15^2} = 15.8\ m \qquad Cos\theta_1 = 5/15.8$$

$$E_{L1} = \frac{200 x 5/15.8}{15.8^2} = 0.253\ Lux$$

الاستضاءة نتيجة المصباح الثاني $E_{L2} = \frac{I Cos\theta_2}{(L_2C)^2}$

$$L_2C = \sqrt{5^2 + 5^2} = 5\sqrt{2}\ m \qquad Cos\theta_2 = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$E_{L2} = \frac{200 x 1/\sqrt{2}}{(5\sqrt{2})^2} = 2.83\ Lux$$

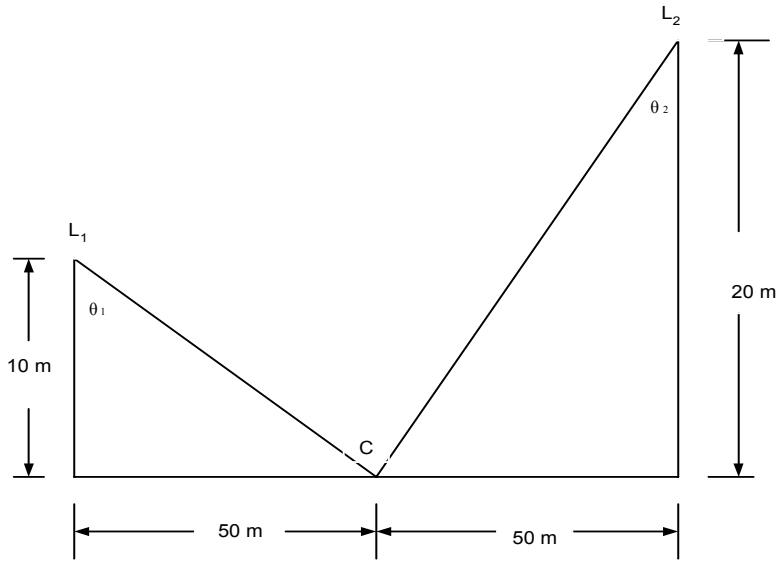
مجموع الاستضاءة للمصباحين $= E_{L1} + E_{L2} = 0.253 + 2.83 = 3.08\ Lux$

الاستضاءة الكلية Lux ٦,١٦ = ٢ x ٣,٠٨ =

مثال (٢)

مصباحان يبعدان عن بعضهما ١٠٠ m وشدة الإضاءة ٢٠٠ cd للمصباح A و ٤٠٠ cd للمصباح B ويرتفع المصباح A عن الأرض ١٠ m والمصباح B يرتفع ٢٠ m. ووضع جهاز فوتوميتر لقياس الاستضاءة بين نقطة المنتصف من سطح الأرض أوجد قراءة الجهاز.

الحل



شكل (٥,٦)

$$(L_1C)^2=\sqrt{10^2+50^2}=51\,m \qquad \text{Cos}\ \theta_1=10/51$$

$$E_{L1}=\frac{200x10/51}{51^2}=0.0151\ \text{Lux}$$

$$(L_2C)^2=\sqrt{20^2\ +50^2}=53.9m \qquad \text{Cos}\ \theta_2=20/53.9$$

$$E_{L2}=\frac{400x20/53.9}{53.9^2}=0.051\,\text{Lux}$$

$$=E_{L1}+E_{L2}=0.0151+0.051=0.066\ \text{Lux}$$ قراءة جهاز فوتميتر

(٤-٥) مصابيح الإضاءة

تعتبر المصابيح الكهربية هي مصدر الإضاءة الكهربية حيث تقوم بتحويل القدرة الكهربية إلى قدرة ضوئية ويوجد أنواع كثيرة من المصابيح الكهربية تختلف في تركيبها وطرق تشغيلها. .وفيما يلي تصنيف المصابيح الكهربية.

١ - مصابيح الفتيلة (Filament lamps) وتتضمن ما يلي :

أ - المصابيح المتوهجة Incandescent lamps

ب - مصابيح التنجستن الهالوجينية Tungsten halogen lamps

جـ - المصابيح العاكسة Reflection lamps

٢ - مصابيح التفريغ الغازي (Gas-discharge lamps) وتتضمن ما يلي

أ - مصابيح الفلورسنت Fluorescent lamps

ب - مصابيح الصوديوم ذات الضغط المنخفض
Low pressure sodium lamps (SOX)

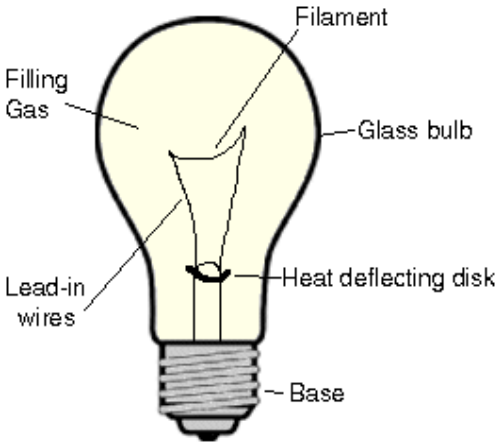
جـ - مصابيح الصوديوم ذات الضغط الع إلى
High pressure sodium lamps (HPS)

د - مصابيح الزئبق ذات الضغط العالي
High pressure mercury lamps (HPM)

هـ - مصابيح الهاليد المعدني Metal halide lamps

(١-٤-٥) المصابيح المتوهجة (Incandescent lamps)

تنتج مصابيح الفتيلة المتوهجة ضوءا عند تسخين الفتيلة ، ويتوهج عند مرور تيار كهربي به. وتعمل الفتيلة المتوهجة في وسط مفرغ من الهواء أو وسط يحتوي على غاز خامل ويوضح شكل (٥,٧) مكونات المصباح المتوهج. الكفاءة الضوئية للمصابيح المتوهجة المستخدمة في إضاءة الطرق حو إلى ٢١ lm/w المصابيح المتوهجة المستخدمة لإضاءة الطرق تتصل مع بعضها على التو إلى وعلى التوازي . توجد أنواع مختلفة من الكشافات تستخدم مع المصابيح المتوهجة.



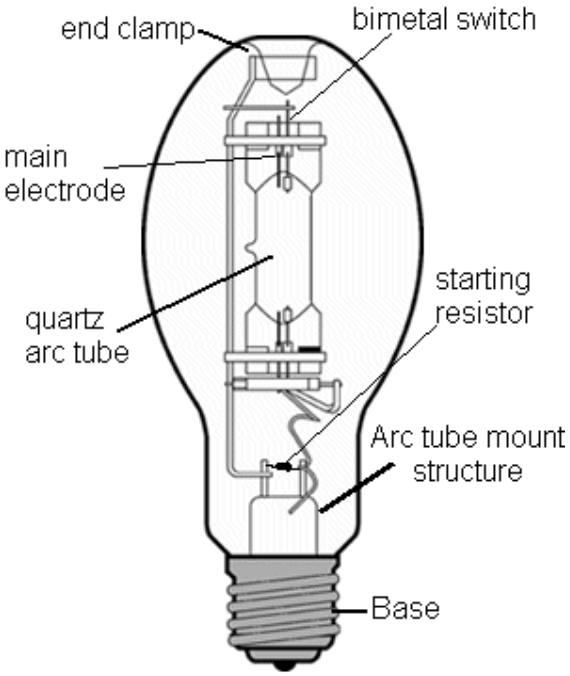
شكل (٥,٧) مكونات المصباح المتوهج

(٢-٤-٥) مصابيح الزئبق (Mercury lamps)

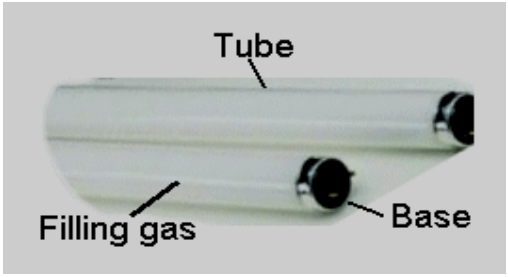
توجد أنواع متعددة من مصابيح بخار الزئبق ، والتي تتكون من بوصيلتين (bulb)، إحداهما بوصيلة داخلية (أو أنبوبة قوس) والتي يحدث بها القوس الكهربي والآخرى الخارجية تحفظ أنبوبة القوس من تغيرات درجات الحرارة وفي بعض الأحيان تعمل كمرشح لإبعاد بعض أطوال الموجات من إشعاعات القوس . كذلك بعض البوصيلات الخارجية تحتوي على طبقة من الفسفور وتعرف هذه المصابيح بمصابيح الزئبق الفلورسنتية (Fluorescent-mercury lamps) ويوضح شكل (٥,٨) مصباح زئبقي.

(٣-٤-٥) مصابيح الفلورسنت (Fluorescent lamps)

يتكون المصباح من أنبوبة مملوءة بغاز الأرجون عند ضغط منخفض ونقط من الزئبق، وقطبين عبارة عن فتيلة سلك مكسوة بالتنجستن كما في شكل (٥,٩) ويجهز مع المصباح ملف خانق (ballast) كما في شكل (٥,١٠). ويبين شكل (٥,١١) طرق توصيل المصابيح الفلورسنت



شكل (٥,٨) مكونات المصباح الزئبقي



شكل (٥,٩) مكونات مصباح الفلورسنت

شكل (٥,١٠) الملف الخانق لمصباح الفلورسنت

(٥ -٥) إضاءة الطرق (Road lighting)

مميزات إضاءة الطرق ليلاً هي الارتقاء بعوامل الأمان وتناسب عمل رجال الأمن والأعمال الليلية لتوفير الرؤية الكافية، وأيضاً للارتقاء بالتقدم المدني والحضاري. وقد أوضحت الإحصائيات أن الطرق المضاءة إضاءة مناسبة تقل بها حوادث المرور والجريمة وتنشط الأعمال التجارية بالمناطق التجارية. توجد عدة عوامل تشارك في تحديد مستوى الاستضاءة المطلوبة للطرق.ومن أهم هذه العوامل ، اعتبارات الأمان بالطرق ، وحجم حركة مرور السيارات والمارة ، وكلما زاد حجم المرور زادت نسبة التعرض للحوادث وتصبح الرؤية غير جيدة عند ارتباك حركة المرور والمارة ، لذا وجب الإدراك والاهتمام بالمخاطر الناتجة عن حوادث المرور.

(١□٥□٥) طرق توصيل مصابيح إضاءة الطرق

يوجد نظامان لتوصيل مصابيح إضاءة الطرق هما:

١ - نظام التو إلى (Series system)

إن جميع المصابيح في نظام إضاءة الطرق توصل على التو إلى في دائرة الإضاءة، ويتم تغذية هذه الدائرة بالتيار من محول ثابت التيار (constant-current transformer) ويكون خرج المحول ثابت مع تغير الحمل كما في شكل (٥,١٣)

يحتاج هذا النظام إلى دائرتين لتغذى ته :

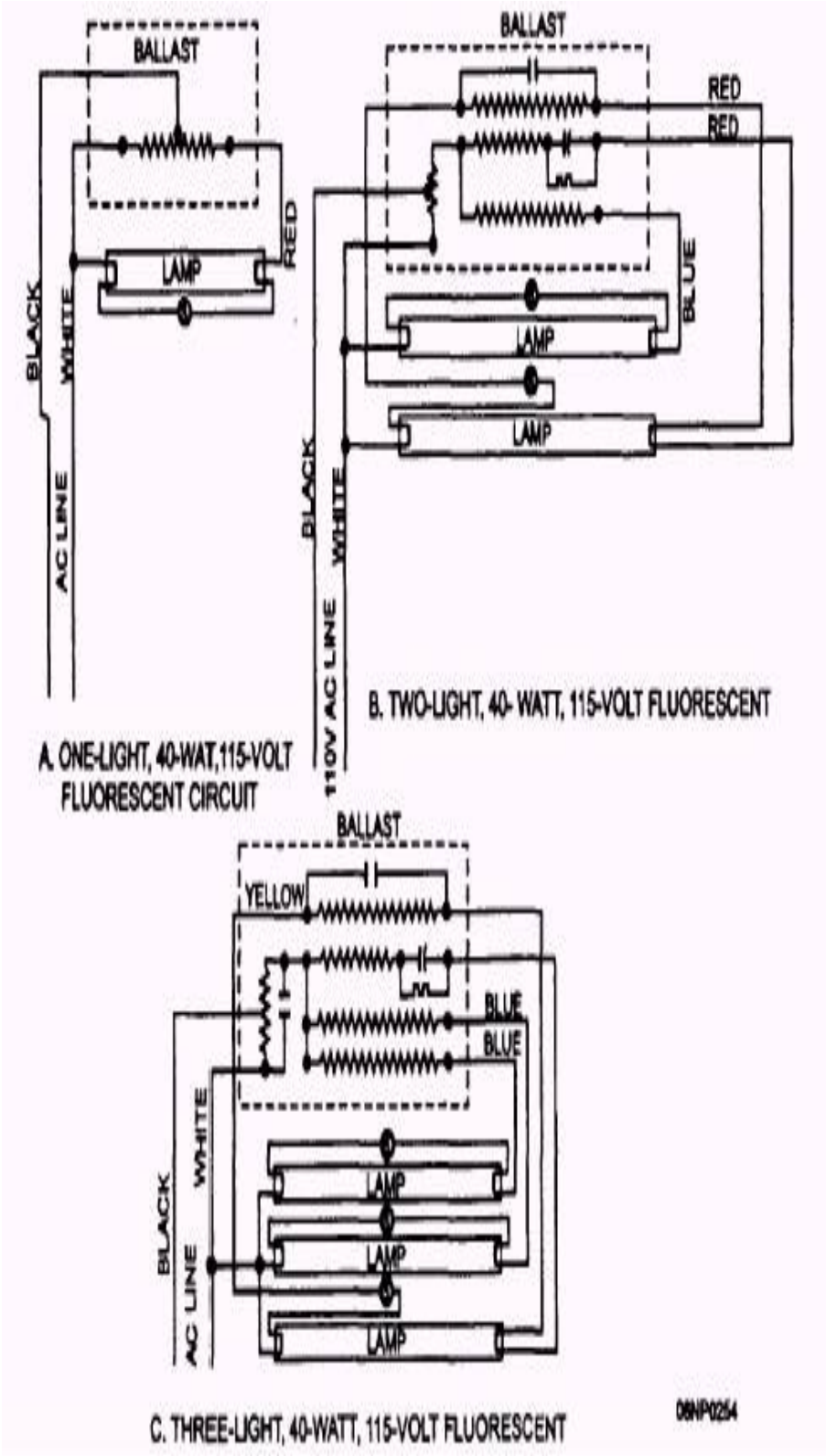
أ - دائرة تغذى ة محول التيار الثابت والتي تعرف بدائرة الجهد الع إلى وتغذى عادة من مصدر أحادي الوجه يكون موجوداً في نفس المنطقة المراد إضاءتها

ب - دائرة التحكم وتعرف بدائرة الجهد المنخفض

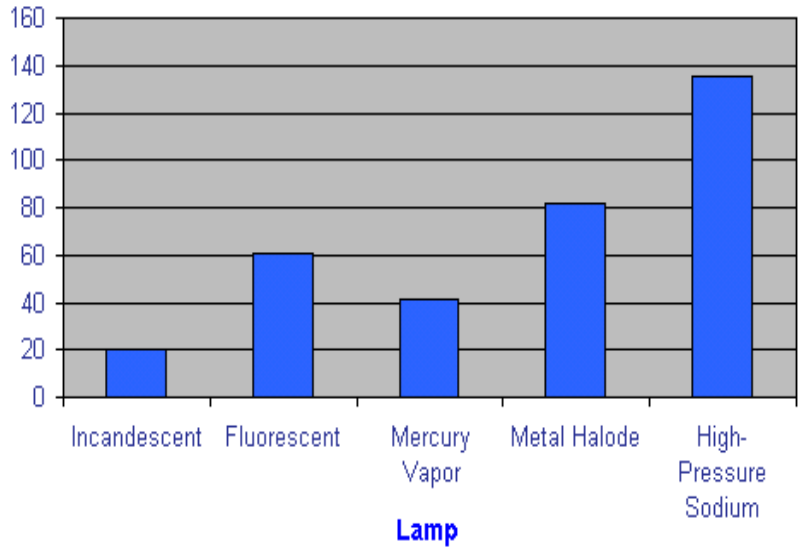
يصمم محول التيار الثابت عند قيمة جهد ثابتة وتكون حدودها من ٢,٤ kV إلى ١٣,٢kV للحصول على تيار ثابت بقيمة ٦,٦,٧,٥,١٥,٢٠ أمبير يستخدم هذا التيار لتشغيل المصابيح . ويجب ألا يقل التيار المار بدائرة التوالي للمصابيح عن مقنن المصابيح. وذلك للحفاظ على عمر تشغيل مناسب للمصابيح (لأن زيادة التيار عن التيار المقنن ١٪ يخفض من عمر المصابيح بمقدار ٢٠٪)

٢ - نظام التوازي المتعدد (Multiple system)

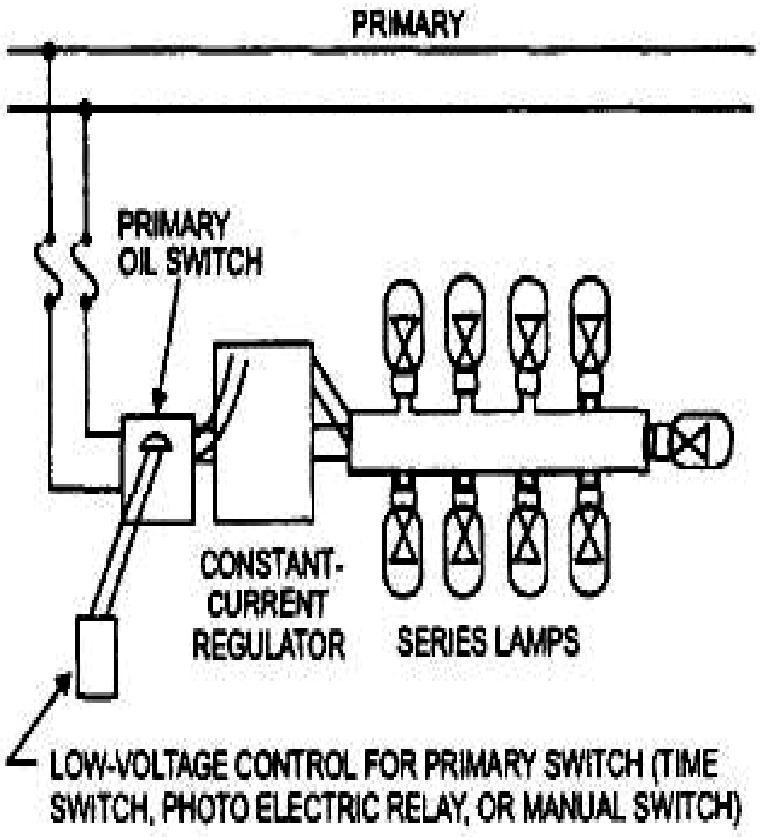
في هذا النظام توصل المصابيح على التوازي وتوزع بأنتظام على مخرجات الثلاثة أوجه لمحول التوزيع وهناك طريقتان لنظام التوازي، في إحداهما يتم التحكم في مصدر التغذى ة الرئيسية لمحول التوزيع، بينما في النظام الآخر يتم التحكم من خلال قاطع تيار في الدوائر الثانوية لمحول التوزيع كما في شكل (٥,١٤).



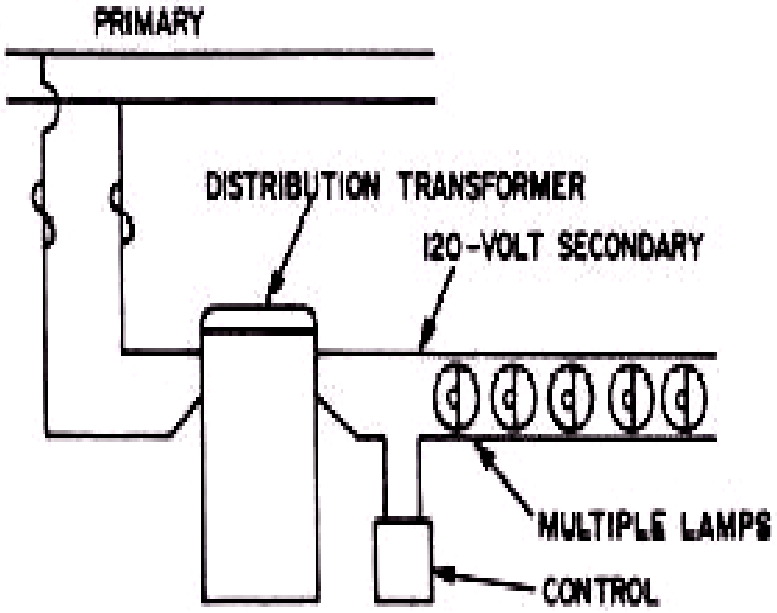
شكل (٥,١١) طرق توصيل المصابيح الفلورسنت



شكل (٥,١٢) مقارنة يبين الأنواع المختلفة للمصابيح من حيث توفير الطاقة في حالة استخدام مصابيح ذات قدرة ٢٠٠ watt



شكل (٥,١٣) توصيل المصابيح على التو إلى في إضاءة الطرق



شكل (٥,١٤) توصيل المصابيح على التوازي في إضاءة الطرق

(٢□٥□٥) حسابات الاستضاءة

في هذا الجزء سنستعرض الطرق السريعة والدقيقة لحساب كل من النصوع والاستضاءة

١ -الاستضاءة عند نقطة

تبعاً للشكل (٥,١٥) فإن الاستضاءة الكلية عند نقطة تعطي من العلاقة الآتية

$$E_p=\sum\frac{I_{\gamma c}}{h^2}\cos^3\gamma \qquad (5-14)$$

حيث E_p = الاستضاءة عند نقطة P

$I_{\gamma c}$ = شدة الإضاءة للكشاف في اتجاه النقطة P بدلالة الزاويتين γ ،

C

n = عدد الكشافات المستخدمة

h = ارتفاع عمود الإضاءة

بعد حساب الاستضاءة من نقطة إلى نقطة، عادة باستخدام الكمبيوتر، ويرسم الرسم البياني لتساوي الإضاءة (Isolux diagram) ويوضح شكل (٥,١٦) رسم بياني لخط تساوي الإضاءة وفيه

جميع الإحداثيات بدلالة الارتفاع h الكشاف. ويمكن قراءة الاستضاءة النسبية عند أي نقطة من الشكل مباشرة .

وتحسب القيمة المطلقة للاستضاءة عند نقطة من العلاقة الآتية:

$$E_p = E_r \frac{a \Phi n}{h^2} \qquad (5-15)$$

حيث : E_r - الاستضاءة النسبية عند نقطة P

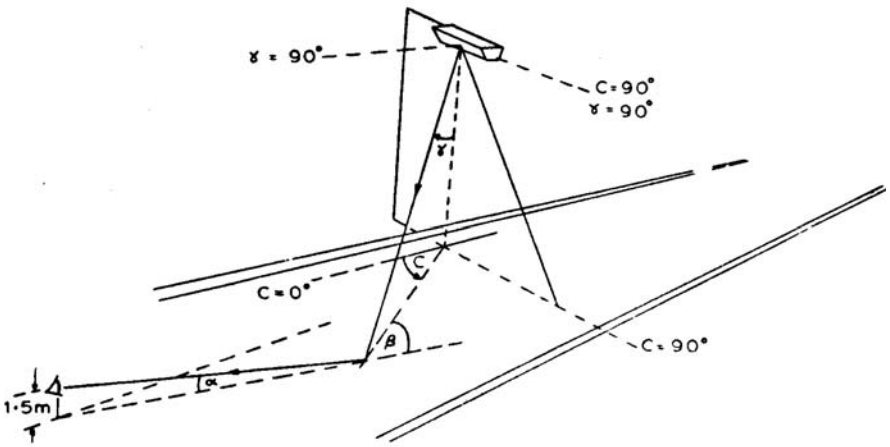
n= عدد المصابيح في الكشاف

Φ = الفيض الضوئي للمصباح

a = معامل خاص بوسائل الإضاءة المستخدمة ونحصل عليه من الرسم البياني لخط

تساوي الإضاءة

h = ارتفاع عمود الإضاءة



شكل (٥,١٥) يبين الاستضاءة عند نقطة P لكشاف

٢ - متوسط الاستضاءة

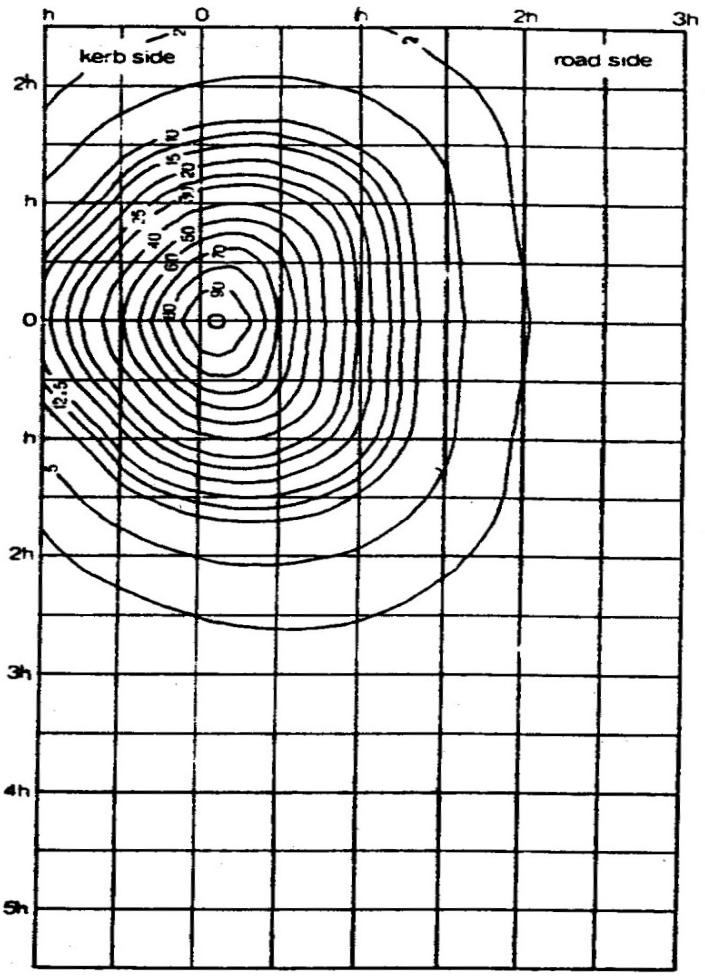
تحسب كمتوسط الاستضاءة من العلاقة الآتية :

$$E_{av} = \frac{\sum E_p}{N} \qquad (5-16)$$ حيث :

E_p = الاستضاءة عند كل نقطة

N = العدد الكلي للنقط المحسوب عندها الاستضاءة E_p وكلما كان عدد النقط أكبر

كانت E_{av} أكثر دقة



شكل (٥,١٦) منحنى تساوي شدة الاستضاءة

كذلك يمكن حساب متوسط الاستضاءة باستخدام منحنيات عامل الانتفاع، وذلك باستخدام العلاقة الآتية:

$$E_{av} = \frac{\eta \Phi n}{WS} \qquad (5-17)$$

حيث : W = عرض الطريق

S= المسافة بين عمودين

η= عامل الانتفاع

ويعرف عامل الانتفاع بالنسبة بين الفيض الضوئي الفعال والفيض الضوئي الكلي. تعطى منحنيات عامل الانتفاع في إحدى الصورتين الآتيتين:

أ -بدلالة الارتفاع h وباستخدام الشكل (٥,١٧b).

عند $\frac{h}{4}$ نحصل على عامل انتفاع =٠,٠٧٥

عند $\frac{3}{2}h$ نحصل على عامل انتفاع =٠,٣٢

ويكون عامل الانتفاع الكلي

η= ٠,٠٧٢٥+٠,٣٢= ٠,٣٩٥

ب -بدلالة الزاويتين γ_1 ، γ_2

فمن الشكل (٥,١٧a)

$$\gamma_1 = \tan^{-1}\frac{h}{4h} = 14^0$$

$$\gamma_2 = \tan^{-1}\frac{3h}{2h} = 56.5^0$$

ومن الشكل (٥,١٧c) نحصل على

عند $\gamma_1 = 14^o$ فإن عامل الانتفاع = ٠,٠٧٥

عند $\gamma_2 = 56..5^o$ فإن عامل الانتفاع = ٠,٣٢

ويكون عامل الانتفاع الكلي

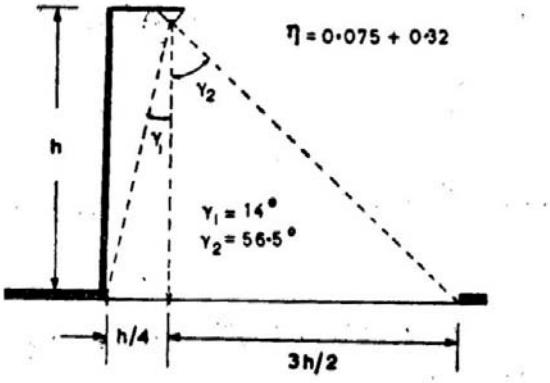
η= ٠,٠٧٢٥+٠,٣٢= ٠,٣٩٥

مثال (٣)

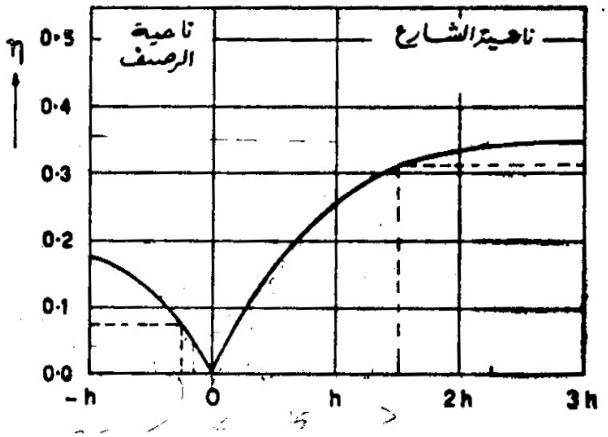
في الشارع المبين في الشكل (٥,١٨) الفوانيس تعلو m ١٠عن سطح الشارع وكل فإن وس به فيضه الضوئي Lm ٤٠٠٠ ومنحنيات تساوي شدة الاستضاءة هي المبينة في الشكل (٥,١٩) المطلوب إيجاد الاستضاءة عند النقطة P على سطح الشارع علماً بأن معامل وسيلة الإضاءة ٠,١٨٧=a

الحل:

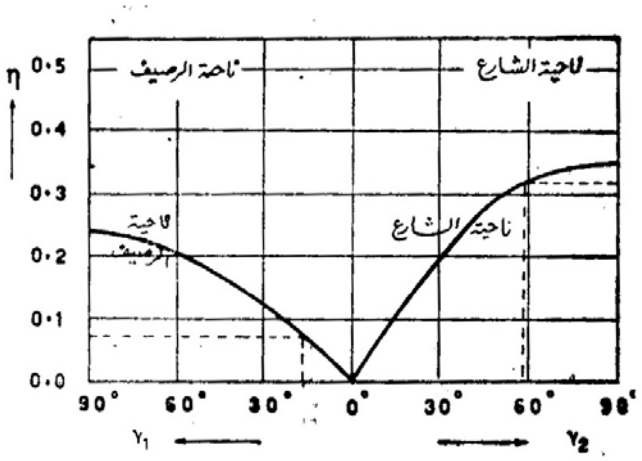
نرسم الخط المثبت عليه الأعمدة وتكون بعد نقطة P عن محور الفوانيس m ٦ (٠,٦h) ، وهو الخط (A-A) على الرسم البياني لخط تسا الإضاءة كما في شكل (٥,١٩)، نوجد المسافة لكل عمود بدلالة الارتفاع h



شكل (٥,١٧a)

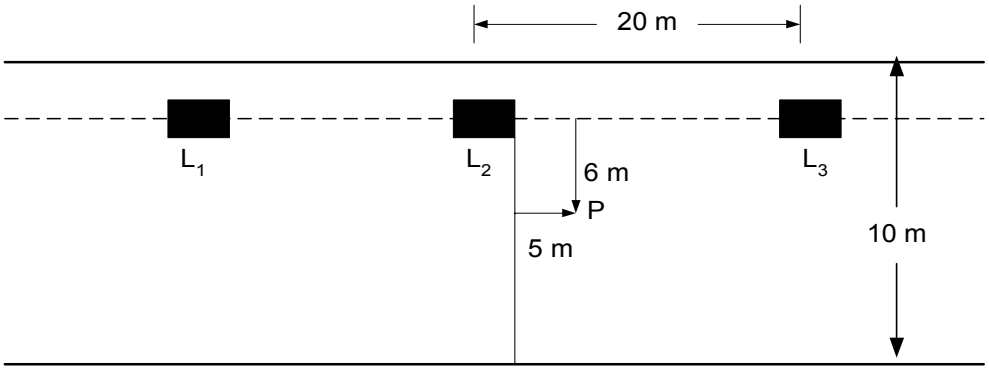


شكل (٥,١٧b)



شكل (٥,١٧c)

شكل (٥,١٧) منحنيات عامل الانتفاع



شكل (٥,١٨)

$L_{١}$ to P =٢٥ m =٢,٥h

$L_{٢}$ to P =٥ m =٠,٥ h

$L_{٣}$ to P = ١٥ m= ١,٥ h

ونحدد من الشكل (٥,١٩) قيمة الاستضاءة النسبية عند هذه النقاط

$E_{L١}$ = ٣٪ of E_{max}

$E_{L٢}$ = ٥٣٪ of E_{max}

$E_{L٣}$ = ١٣٪ of E_{max}

الاستضاءة الكلية عند P

$E_p = E_{L١+} E_{L٢} + E_{L٣}$

=٣٪+٥٣٪+١٣٪

=٦٩٪

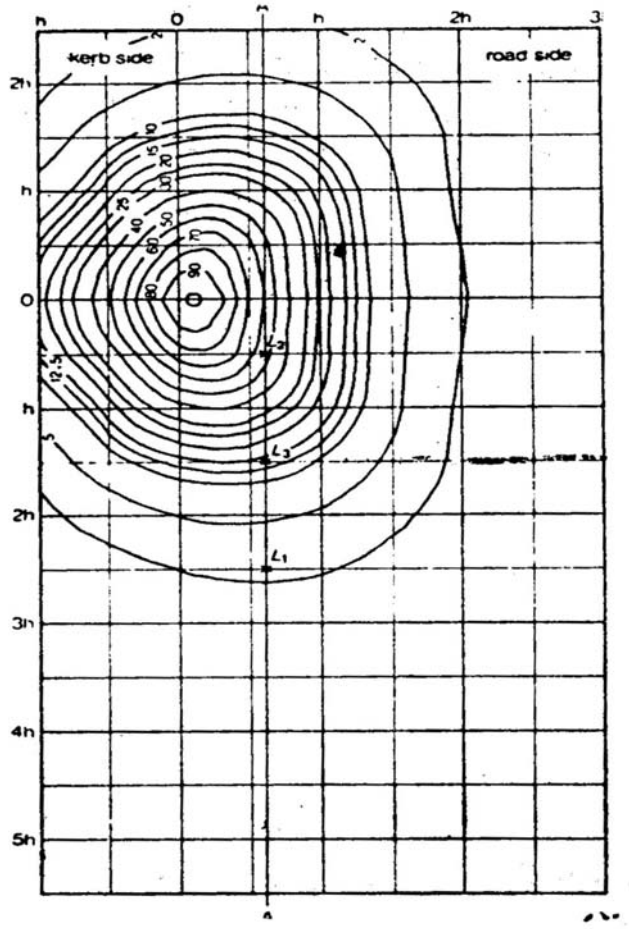
وحيث إن

$$E_{max} = \frac{a\Phi}{h^2}$$

$$= \frac{0.187 x 40000}{10^2} = 74.8 \quad Lux$$

الاستضاءة الكلية عند P هي

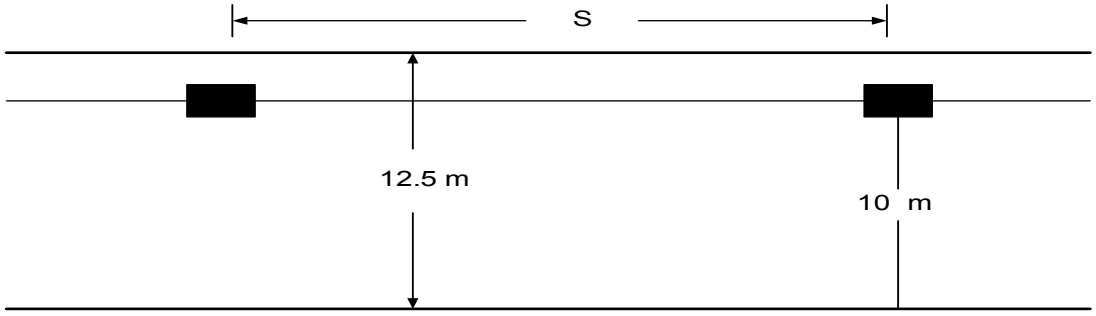
E_p =٠,٦٩ x ٧٤,٨= ٥١,٦ Lux



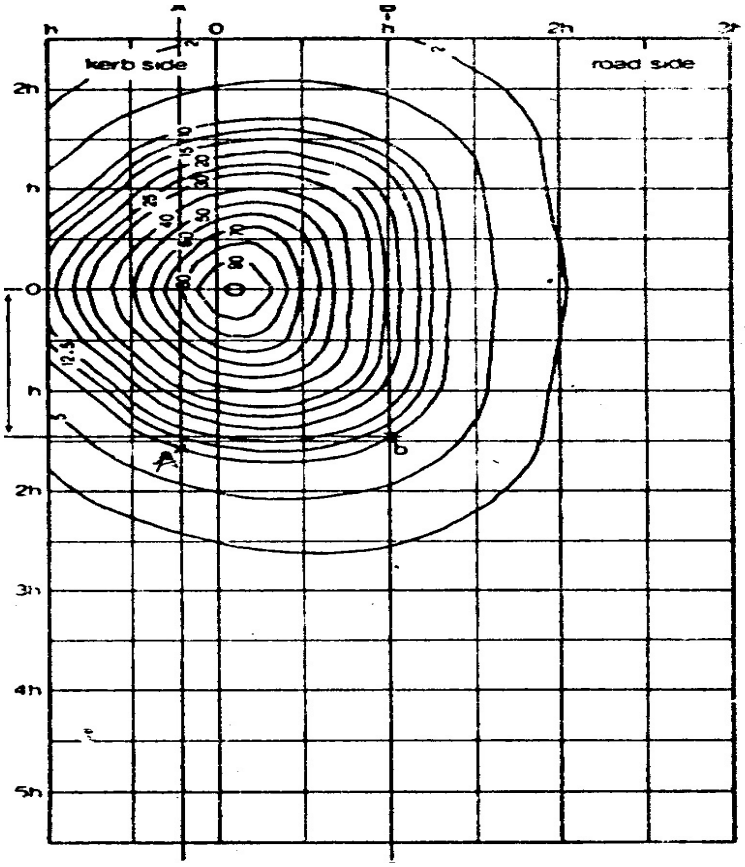
شكل(٥,١٩)

مثال (٤)

المطلوب إيجاد أقصى تبأعد ممكن للفوانيس بالنسبة للشارع المبين في الشكل (٥,٢٠) بحيث لا يقل انتظام الاستضاءة (E_{max} / E_{min}) عن ٠,٢ إذا كان ارتفاع الفوانيس ١٠ m ، علماً أن منحنى تساوي شدة الاستضاءة كما في شكل (٥,٢١)



شكل (٥,٢٠)



شكل (٥,٢١)

الحل

تحسب المسافة بين الخط المثبتة عليه وسائل الإضاءة وحافتي الطريق بدلالة الارتفاع h ويوقع الخط A-A على بعد h (٢٥/١٠) والخط B-B على بعد h(١٠/١٠) بشكل (٥,٢٠) بفرض وجود عمودين L_1 L_2 يمكن كتابة المعادلة الآتية :

$$E_{min}(L1) + E_{min}(L2) \geq 0.2 E_{max}$$

وعلى الاعتبار أن أقل استضاءة بين العمودين هي نقطة المنتصف وتكون لكل عمود هي $0.1E_{max}$ نوقع النقطتان على المنحنى ١٠٪ بالرسم البياني والمتقاطعتان مع الخطين A-A , B-B وهما النقطتان a, b . إذا فإن نصف المسافة بين الفان وسين هي المسافة بين المحور المستعرض للفانوس وأقرب هاتين النقطتين له أي النقطة b وذلك

$$S/٢ = ١,٥h$$

$$S = ٣\ h$$

$$= ٣٠\ meters$$

مثال (٥)

شارع يراد إضاءته وارتفاع عمود الإضاءة من سطح الشارع ١٠ m وتتدلى m ٢,٥ نحو محور الشارع والفيض الضيائى لكل مصباح Lm ٤٠٠٠٠ احسب متوسط الاستضاءة في الحالات الآتية :

أ - الشارع مضاء بصف فوانيس على الجانب الأيسر كما في الشكل (٥,٢٢)

ب -الشارع مضاء بصف فوانيس على الجانب الأيمن كما في الشكل (٥,٢٢)

جـ - الشارع مضاء بصفين متقابلين من الفوانيس كما في الشكل (٥,٢٢)

الحل

أ - يتم إيجاد عامل الانتفاع من الشكل (٥,١٧b)

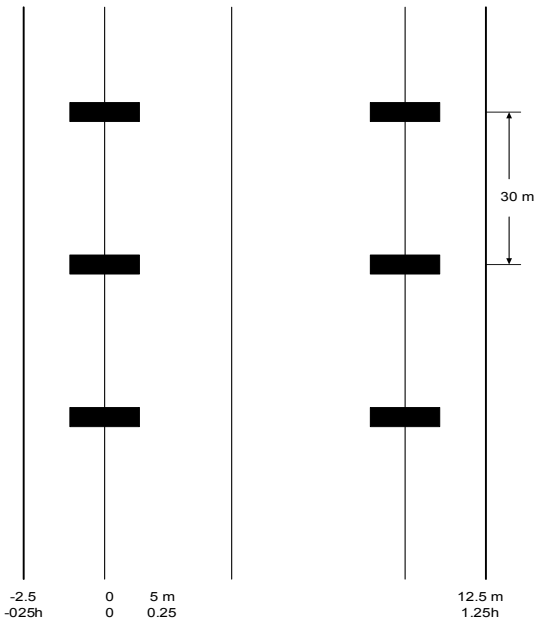
$$\eta_{0\to 1.25h} = 0.3$$

$$\eta_{0\to 0.5h} = 0.17$$

معامل الإنتفاع الكلي هو

$$\eta_{0.5h\to 1.25h} = 0.3 - 0.17 = 0.13$$

متوسط الاستضاءة من المعادلة الآتية:



شكل (٥,٢٢)

$$E_{av} = \frac{\eta \Phi}{WS}$$

$$E_{av} = \frac{0.13 X 40000}{7.5 X 30} = 23.1 \ \ Lux$$

ب -يتم إيجاد عامل الانتفاع من الشكل (٥,١٧b)

$$\eta_{0 \to 0.25h} = 0.075$$

$$\eta_{0 \to 0.5h} = 0.17$$

معامل الانتفاع الكلي هو

$$\eta_{0.25\,h \to 0.5\,h} = 0.075 + 0.17 = 0.245$$

متوسط شدة الاستضاءة من المعادلة الآتية:

$$E_{av} = \frac{\eta \Phi}{WS}$$

$$E_{av} = \frac{0.245 X 40000}{7.5 X 30} = 43.5 \ \ Lux$$

جـ -الاستضاءة الكلية هو مجموع الحالة أ ، والحالة ب

E_{av} = ٢٣,١+ ٤٣,٥= ٦٦,٦ Lux

(٦□٥) الإضاءة الداخلية

تعتمد أساس كمية ونوعية الإضاءة المطلوبة لإنارة مساحة معينة على الأغراض المستخدمة لهذا المبنىونوعية العمل ويبين الجدول (١□٥) قيم الاستضاءة الموصى بها عالمياً ، وذلك عند مستوى التشغيل(بأن مستوى مساحته مساوية لمساحة أرضية الغرفة ومرتفع عنها بمسافة تتراوح بين ٧٠ إلى ٩٠ cm)

النظم المختلفة لتوزيع الإضاءة هي:

١ - إضاءة مباشرة

٢ - إضاءة غير مباشرة

٣ -إضاءة شبه مباشرة

٤ -إضاءة تناثرية

(١-٦-٥) خطوات حساب الإضاءة الداخلية (طريقة الليومن)

تعتبر طريقاً لليومن أكثر الطرق شيوعاً لحسابات الإضاءة الداخلية والمعادلة الآتية هي المعادلة المستخدمة في طريقة الليومن

$$E = \frac{n \ \Phi \ \eta \ LLF}{A} \qquad (5-18)$$

حيث أن E= الاستضاءة المطلوبة ووحداتها Lm/m^2

A= مساحة مستوى التشغيل ووحداتها m^2

Φ =الفيض الضوئي لكل مصباح ووحداتها بالليومن

η = معامل الاستفادة

LLF = معامل فقد الضوء

n = عدد المصابيح لكل وحدة إضاءة

وعند استخدام المعادلة (١٨-٥) يجب اتباع الخطوات الآتية:

الخطوة الأولى: وهي تعيين مستوى الاستضاءة ويتم تحديدها من الجدول (١-٥) وذلك بعد تحديد نوع الإضاءة المطلوبة.

الخطوة الثانية: وهي تعين معامل الانتفاع

$$\text{ويعرف معامل الانتفاع} = \frac{\text{الفيض الضوئي عند مستوى التشغيل}}{\text{الفيض الضوئي الكلي المتولد من المصباح}}$$

ولحساب معامل الانتفاع يجب معرفة النسب الفجوية للغرفة ويبين الشكل (٥,٢٢) الفجوات الثلاث، فجوة السقف وفجوة الغرفة وفجوة الأرض كما يلي:

جدول (١-٥) قيم الاستضاءة الموصى بها عالميا

المكان	أقل استضاءة (لوكس)	المكان	أقل استضاءة (لوكس)
١ - صالة عرض فنية عامة	٣٠٠	٦ - الجراجات وخدمة السيارات تصليح	١٠٠٠
للرسومات	٣٠٠	منطقة نشطة للمرور	٢٠
بها تماثيل ومعروضات	١٠٠٠	مدخل الجراج	٥٠٠
صالة لتجمع الجمهور	١٥٠	خطوط انتظار السيارات	٥٠
معرض	٣٠٠	٧ - المستشفيات	
محل عرض سيارات	٣٠٠	غرف التحضير والبنج	٣٠٠
٢ -بنك		غرف العمليات: عام	١٠٠
دهليز	٥٠٠	موضعي	٢٠٠٠
مساحة بها مكتبة	٧٠	معامل : عام	٣٠٠
مكتب صيارفة	١٥٠٠	موضعي	١٠٠٠
مكتب بريد	١٠٠	عناية مركزة : عام	٣٠٠
مكاتب عادية	١٠٠	موضعي	١٠٠٠

٣ - محكمة	
مكان جلوس الجمهور	٣٠٠
مكان المرافعات	٧٠٠
الممرات	٢٠٠
٤ - غرف الرسم	
رسم تخطيطي	١٥٠٠
رسم دقيق	٢٠٠٠
٥ - المحطات	
غرف انتظار	٣٠٠
مكتب قطع التذاكر	١٠٠٠
المحاسب	١٠٠٠
غرفة راحة	٣٠٠
أرصفة	٢٠٠
أماكن رفع العفش	٢٠٠
سلالم متحركة	٢٠٠

غرف المرضى	
عام	٢٠٠
قراءة	٣٠
فحص	١٠٠٠
ليلي	٥
الحمام	٣٠٠
غرف تشريح :	١٠٠٠
عام	١٠٠٠٠
موضعي	
الممرات أثناء النهار	٣٠٠
أثناء اليل	٣٠
٨ - مكاتب البريد	
غرفة الصراف	٣٠٠
غرفة فرز الخطابات	١٠٠٠

تابع جدول (١-٥)

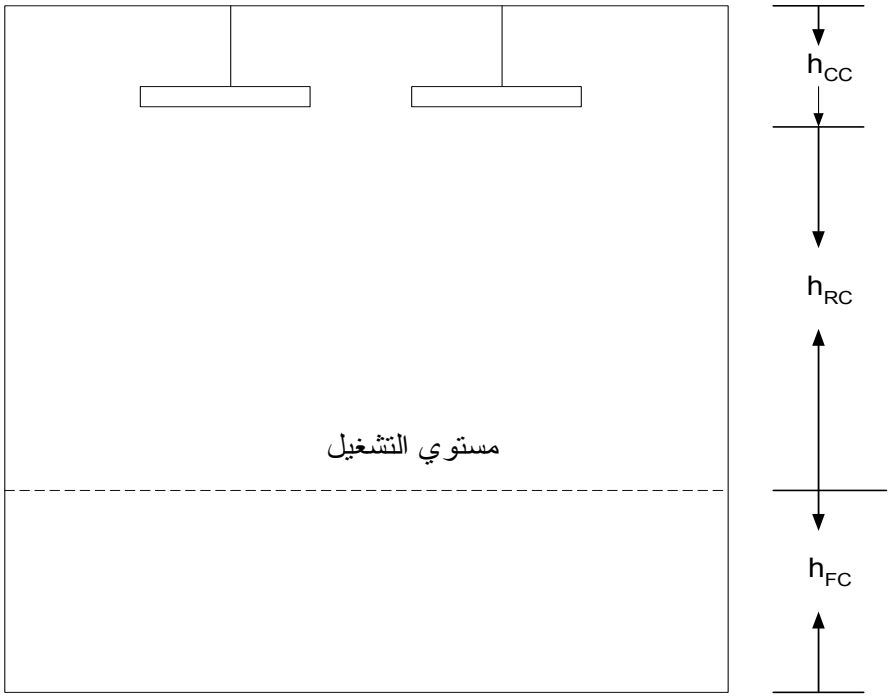
المكان	أقل استضاءة (لوكس)	المكان	أقل استضاءة (لوكس)
٩ - الفنادق		١٣ - عيادات عامة	
غرفة استحمام	٣٠٠	غرفة استقبال	٣٠٠
غرفة كتابة	٣٠٠	غرف انتظار	١٥٠
ممرات وسلالم	٢٠٠	غرف قراءة	٣٠٠
مداخل	٣٠٠	فحص وعلاج	٥٠٠
غرف البياضات	٢٠٠	سرير فحص	١٠٠٠
غرف خياطة	٧٥٠	كرسي فحص أسنان	١٠٠٠٠
منطقة قراءة	٣٠٠	معمل	١٠٠٠
١٠ - مكتبات		غرفة فحص عيون	٥٠٠
غرفة مذاكرة	٧٠٠	١٤ - مطاعم	
غرفة قراءة عادية	٥٠٠	غرفة الصراف	٥٠٠
تجليد كتب	٥٠٠	غرفة النظافة	٣٠٠
كتالوجات	٧٠٠	خدمة سريعة	١٠٠٠
مكان ترتيب كروت	٧٠٠	عرض طعام	٥٠٠
مائدة مراجعة	٧٠٠	مطبخ	٧٠٠
١١ -أقسام الشرطة والبلدية والإطفاء		غرفة غذاء	١٠٠٠
غرفة تعارف	٨٠٠	١٥ - المدارس	

غرفة السجن	٣٠٠	قـــراءة كتـــاب مطبوع	٣٠٠
غرفـــة الإطفـــاء (مخزن)	٣٠٠	قـــراءة كتـــاب بـــالقلم الرصاص	٧٠
		غرفة شف رسم	١٠٠٠
		غرفـــــة رســـــم تخطيطي	١٠٠٠
غرفـة السـيارات الخاصة بالإطفاء	٣٠٠	غرفة خياطة	٧٥٠
١٢ -المتـــاحف وصالات العرض		فصل دراسي	١٠٠٠
		السبورة	١٢٠٠
		غرفـــــــــــة سكرتارية	٤٠٠
غـــرف تصـــميم وتخطيط	٣٠٠٠	غرفة معمل	٥٠٠
مكاتب	١٠٠	غرفة مخزن	٢٠٠
		غرفة آلة كاتبة	٧٠٠
كتابة	٧٠٠	صـــالة ألعـــاب رياضية	٥٠٠

تابع جدول (١□٥)

المكان	أقـــل استضـــاءة (لوكس)	المكان	أقـــل استضـــاءة (لوكس)
١٦ - منـــــازل سكنية		غرفة إعاشة	٣٠٠
غرفة مكتب	٣٠٠	سلالم	١٠٠
غرفة خياطة	٧٥٠	غرفة انتظار	٢٥٠
غرفة طبخ	٥٠٠	ممرات	١٠٠

غرفة شاي	٧٠٠	غرفة نوم أطفال (أثناء النوم)	١٠
غرفة مذاكرة	٥٠٠	غرفة نوم	١٥٠
حمام	١٠٠	غرفة كي ملابس	٥٠٠



شكل(٥,٢٢) الفجوات الثلاث في الحجرة

$$CCR = 5\, h_{cc}\, \frac{L + W}{L \times W}$$

$$RCR = 5\, h_{RC}\, \frac{L + W}{L \times W}$$

$$FCR = 5\, h_{FC}\, \frac{L + W}{L \times W}$$

حيث h_{CC} فجوة السقف و CCR النسبة الفجوية للسقف

h_{RC} فجوة الغرفة وRCR النسبة الفجوية للغرفة

h_{Fc} فجوة الأرضية و FCR النسبة الفجوية للأرض

ولتحديد معامل الانتفاع يجب تحديد أولاً النسب الفجوية ومن النسب الفجوية ومعاملات الانعكاس للسقف والحوائط والأرضيات من الجداول الخاصة بذلك.

الخطوة الثالثة: وهي تعيين معامل فقد الضوء

عندما تكون المصابيح جديدة يختلف الليومن الخارج عنها بعد فترة نتيجة لعدة عوامل أهمها

- أداء الكابح - جهد التشغيل - تغير معاملات الانعكاس
- احتراق المصابيح - قدم المصابيح
- اتساخ وحدة الإضاءة

الخطوة الرابعة: حساب عدد المصابيح وتعيين أماكنها

$$N = \frac{E\ A}{\Phi\ LLF\ \eta}$$

عدد وحدات الإضاءة= عدد المصابيح الكلية / عدد المصابيح في كل وحدة إضاءة

(٢-٦-٥) تطبيقات على الإضاءة الداخلية

مثال (٦)

حجرة مساحتها ٨ m x ١٢ m ويراد إضاءتها بعدد ١٥ مصباح ويراد أيضا انتظام الاستضاءة بمقدار ١٠٠ Lm/m^2 احسب معامل الانتفاع إذا كان خرج المصباح ١٦٠٠ Lm .

الحل

الفيض الضوئي المنبعث من المصابيح

$$15 \times 1600 = 24000 \quad Lm$$

الفيض الضوئي الساقط على مستوى التشغيل في الحجرة

$$8 \times 12 \times 100 = 9600 \quad Lm$$

معامل الانتفاع ٠,٤٪ = ٩٦٠٠/٢٤٠٠٠ =

مثال (٧)

احسب إجم إلى التوفير في الحمل الكهربي ومقدار الزيادة المئوية في الاستضاءة في حالة استبدال ١٢ مصباح متوهج قدرة كل مصباح W ١٥٠ بعدد ١٢ مصباح فلورسنت قدرة كل مصباح W ٨٠ مع افتراض الآتي:

أ - أن مفاقيد الملف الخانق ٢٥٪ من قدرة المصباح

ب - متوسط الكفاءة للمصابيح المتوهجة Lm/W ١٥ ,للفلورسنت Lm/W ٤٠

جـ - معامل الانتفاع واحد للمصباحين

الحل

الحمل الكلي للمصابيح المتوهجة = ١٢X ١٥٠

١٨٠٠ W

الحمل الكلي للمصابيح الفلورسنت = ١٢(٨٠ + ٠,٢٥X٨٠)

١٢٠٠ W

الوفر الكلي في الحمل الكلي ١٨٠٠ –١٢٠٠ = ٦٠٠

W

نفرض أن مساحة الحجرة A وأن عامل الانتفاع η ، نحسب الاستضاءة في الحالتين

$E_1 = \frac{12X150X15\eta}{A} = 27000\ \eta/A \quad Lm/m^2$ المتوهجة للمصابيح

$E_2 = \frac{12X80X40\eta}{A} = 38400\eta/A \quad Lm/m^2$ للمصابيح الفلورسنت

الزيادة في الاستضاءة $= \frac{38400-27000}{27000} = 0.42 \; or \; 42\%$

مثال (٨)

ملعب لكرة القدم مساحته ١٢٠m x ٦٠m يراد إضاءته ليلاً بمصابيح W ١٠٠٠ وأن تكون الاستضاءة منتظمة حول الملعب وتكون الإضاءة على أبراج عددها ١٢ برج وبفرض أن % ٤٠ من الإضاءة تصل إلى الملعب وأن الاستضاءة لأغراض البث التليفزيوني Lm/m^2 ١٠٠٠ وأن كفاءة المصابيح المستخدمة Lm/m^2 ٣٠. احسب عدد المصابيح في كل برج.

الحل

مساحة الملعب m^2 ٧٢٠٠ = ١٢٠ X ٦٠ =

الفيض المطلوب Lm $٧,٢ X ١٠^٦$ = ٧٢٠٠ X ١٠٠٠ =

وحيث إن % ٤٠ من الفيض يصل إلى أرض الملعب فإن

الفيض الكلي Lm $١٨ X ١٠^٦ = ٧,٢ X ١٠^٦ / ٠,٤$ =

الفيض المطلوب من كل برج Lm $١,٥ X ١٠^٦ = ١٢ / ١٨X ١٠^٦$ =

الفيض الخارج من كل مصباح Lm $٣ X ١٠^٤ = ٣٠X ١٠٠٠$ =

عدد المصابيح في كل برج ٥٠ = $٣ X ١٠^٤ / ١٥X ١٠^٦$ =

مثال (٩)

يراد إضاءة صالة رسم في إحدى الكليات التقنية ومساحتها ٨m X ٢٠ m x ٣٠ m والمصابيح معلقة على ارتفاع ٥ m والاستضاءة ١٤٤ Lm/m^2 علماً بأن

- معامل الانتفاع =٠,٦ - معامل الصيانة = ٠,٧٥ - النسبة بين الفراغ والارتفاع = ١

- الكفاءة =١٣ Lm/watt لمصباح ٣٠٠ watt
- الكفاءة =١٦ Lm/watt لمصباح ٥٠٠ watt

الحل

$$\Phi = \frac{E.A}{\eta.p}$$

$$\Phi = \frac{30X20X144}{0.6X0.75} = 192000 \quad Lm$$

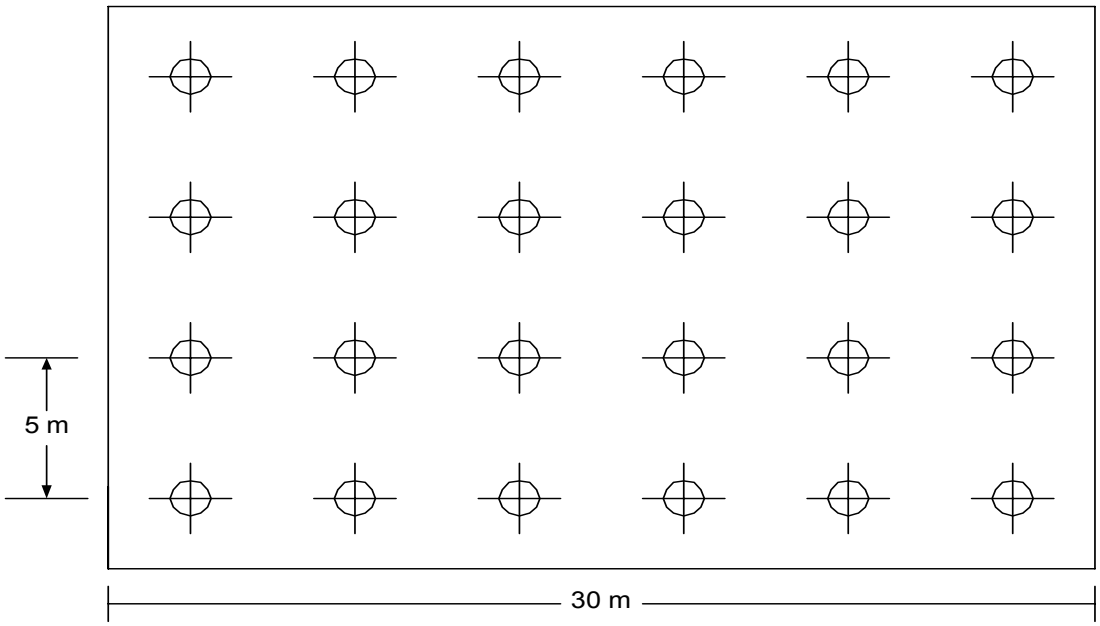
٥٠٠ W الليومن الخارج من مصباح Lm ٨٠٠٠ = ١٦ X ٥٠٠ =

عدد المصابيح المطلوبة ٢٤= ٨٠٠٠/١٩٢٠٠٠ = ٥٠٠ W

٣٠٠ W الليومن الخارج من مصباح Lm ٣٩٠٠ = ١٣ X ٣٠٠ =

عدد المصابيح المطلوبة ٤٩= ٣٩٠٠/١٩٢٠٠٠ = ٣٠٠ W

من الواضح عدم استخدام المصابيح ٣٠٠W لأنه لا يمكن تنظيمها، ويمكن استخدام المصابيح ٥٠٠W و تنظيمها في ٤ صفوف و ٦ أعمدة والمسافة بين كل مصباح والآخر ٥ m كما هو موضح في الشكل (٥,٢٣)



شكل (٥,٢٣)

تقنية التوزيع الكهربائي

التأريض

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

(١-٦) - مقدمة

يعرف التأريض بأنه عمل توصيلة بالكتلة العامة للأرض. ويستخدم التأريض على نطاق واسع في الشبكات الكهربائية من محطة التوليد الكهربائية مرورا بمحطات التحويل وخطوط النقل الكهربائية حتى المستهلك والأجهزة المنزلية.

ويمنع التأريض حدوث المضاعفات الخطيرة للجهد أثناء الاضطرابات داخل الشبكة الكهربائية ويوجد التأريض مساراً ذي مقاومة صغيرة للأرض للصواعق الكهربائية.

ولحماية المبأني ومحطات المحولات من الصواعق الكهربائية تستخدم مانعات الصواعق والتي توفر مساراً ذي مقاومة قليلة للأرض وذلك لتفريغ التيارات العالية جدا المصاحبة للصواعق للأرض.

(٢-٦). تعريفات

- **التأريض** : - التوصيل بالكتلة العامة للأرض باستخدام إلكترود أرضي (earthing electrode). ويطلق على أي عنصر داخل المنظومة الكهربائية بأنه مؤرض وذلك عندما يوصل هذا العنصر بالإلكترود الأرضي. ويتم تأريض المعدات الكهربائية مباشرة بالإلكترود الأرضي (solidly grounded) أو خلال مقاومة (resistance grounding) أو معاوقة (impedance grounding).
- **إلكترود التأريض** : - قضيب معدني أو ماسورة معدنية أو مستوى معدني أو أي موصل آخر يدفن أو يوضع داخل الأرض ويستخدم للتأريض.
- **المقاومة الأرضية** : - هي المقاومة الأومية بين نظام الإلكترودات الأرضية والكتلة العامة للأرض.
- **المقاومة النوعية للأرض** : - هي المقاومة النوعية للأرض بـ أوم/سم^{٢} لعينة من الأرض.
- **وصلة الأرضي** : - هو الكابل الموصل بين المعدة المراد تأريضها وبين الإلكترود الأرضي.
- **خط التعادل** : - هو الخط الرابع من المصدر أو الشبكة والموصل بنقطة التعادل لملفات الجهد المنخفض للمحول.

(٣-٦). أنواع نظم التأريض للتركيبات الكهربائية

تحدد أنواع نظم التأريض طبقا لطريقة التوصيل بالأرض وأكثر نظم التأريض شيوعا في التوصيلات ثلاثية الأوجه هي TN و TT و IT . ويشير الحرف الأول من اليسار إلى علاقة توصيل نقطة تعادل مصدر التغذى ة بالأرض أما الحرف الآخر فيشير إلى العلاقة بين الأجزاء المعرضة للمس في التركيبات الكهربائية وبين الأرض. حرف T الموجود على اليسار يعني التوصيل المباشر لنقطة التعادل بالأرض وحرف I الموجود كذلك على اليسار يعني عزل كل الأجزاء المكهربة عن الأرض مع توصيل نقطة التعادل بالأرض من خلال مقاومة. أما الحروف التي على اليمين فيعني حرف N التوصيل المباشر للأجزاء المعرضة للمس والقابلة للتكهرب إلى النقطة المؤرضة في نظام القوى الكهربائية و حرف T يعني توصيل كل الأجزاء المعرضة للمس والقابلة للتكهرب إلى الأرض مباشرة وهي نقطة مستقلة عن نقطة أرضي القوى.

يقسم النظام TN إلى أقسام مختلفة طبقا للعلاقة بين خط التعادل N وخط التأريض الوقائي PE ويرمز لذلك بحروف لاحقة على النحو التالي:

C : يكون خط التعادل N وخط التأريض الوقائي PE مندمجان في موصل واحد مثل موصل PEN

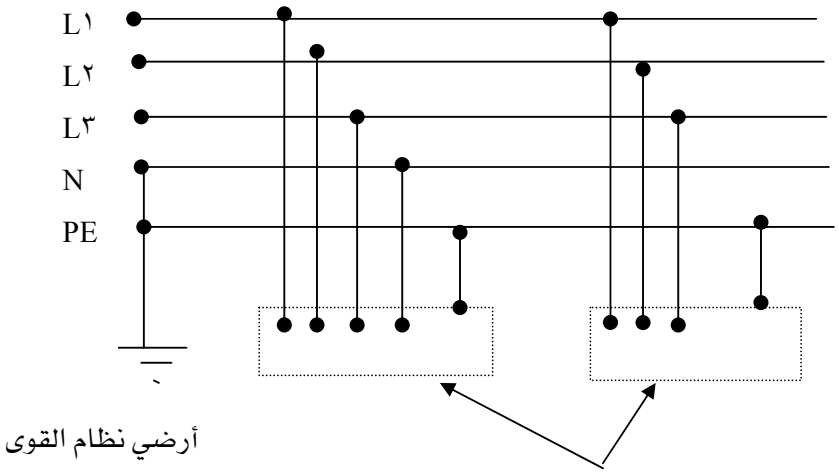
S : يكون كل من خطي التعادل N والتأريض الوقائي PE منفصلين.

(أ) **نظم التأريض TN** : يحتوي نظام التأريض TN على نقطة واحدة مؤرضة مباشرة على أن يتم توصيل الأجزاء المعرضة للمس والمكشوفة من التركيبات إلى هذه النقطة بواسطة موصلات وقاية ويقسم هذا النظام حسب ترتيبات موصل التعادل وموصلات التأريض الوقائي على النحو التالي:

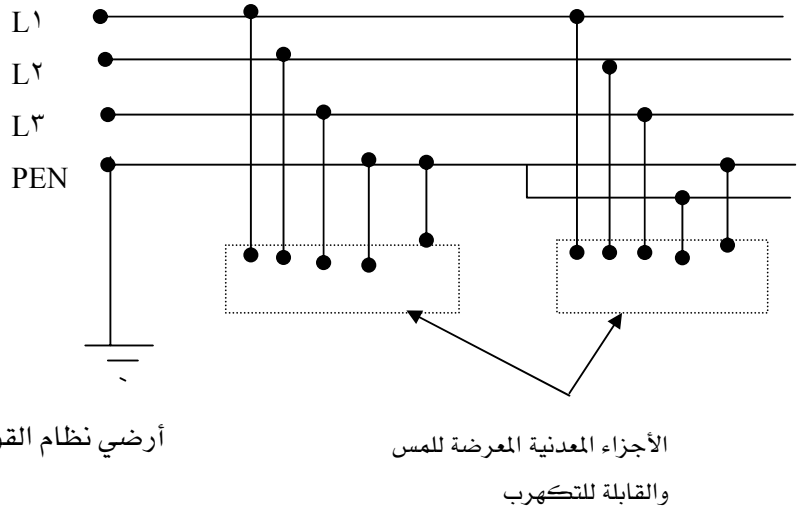
١ - نظام TN-S يكون فيه موصل التعادل منفصلا عن موصلات التأريض الوقائي.

٢ - نظام TN-C-S تكون فيه وظائف كل من موصل التعادل وموصلات التأريض الوقائي في جزء من نظام التوزيع مندمجة في موصل واحد.

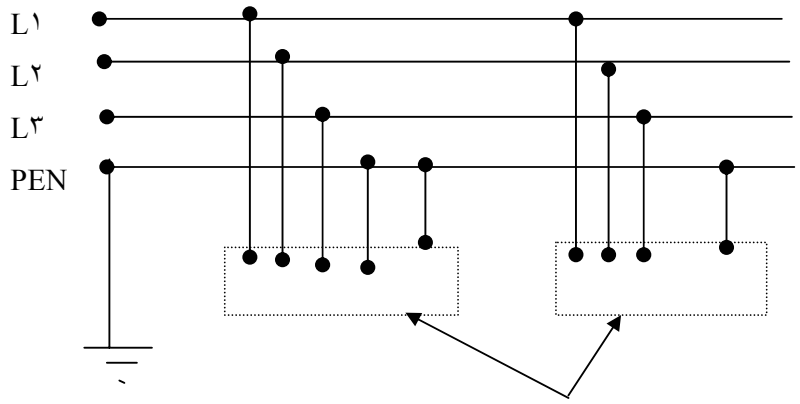
٣ - نظام TN-C تكون فيه وظائف كل من موصل التعادل وموصلات التأريض الوقائي في كل النظام مندمجة في موصل واحد.



شكل (٦,١) نظام TN-S

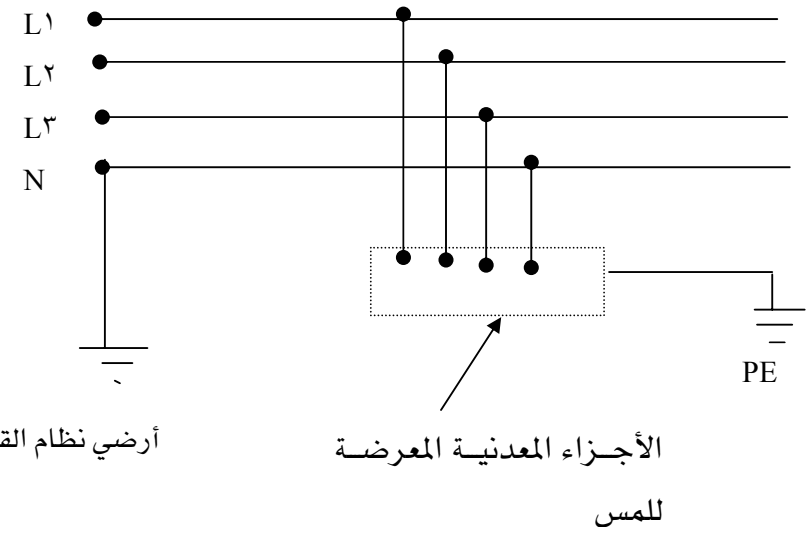


شكل (٦,٢) نظام TN-C-S



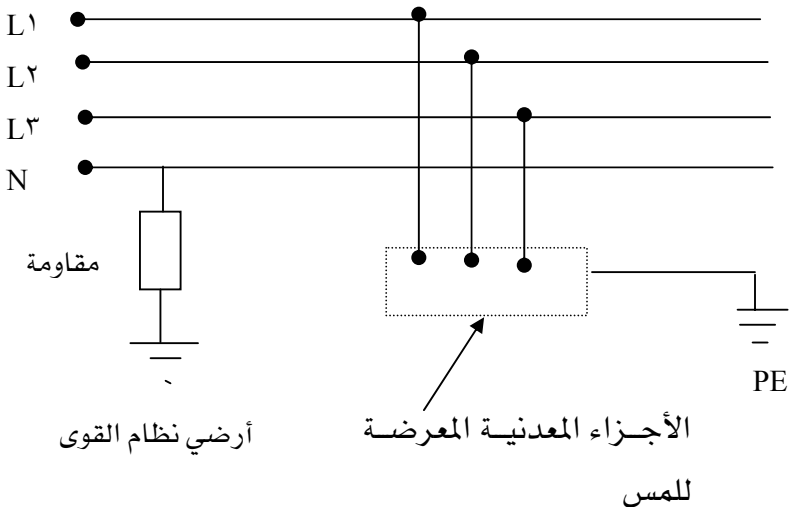
شكل (٦,٣) نظام TN-C

(ب) **نظام التأريض TT** : هذا النظام به نقطة واحدة مؤرضة مباشرة ويتم توصيل كل الأجزاء في التركيبات والمعرضة للمس إلى أقطاب تأريض خاصة لا تعتمد على أقطاب التأريض في النظام الكهربي.



شكل (٦,٤) نظام TT

(ت) **نظام التأريض IT** : لا يحتوي هذا النظام على اتصال مباشر بين الأجزاء الكهربية والأرض ويتم تأريض الأجزاء المعدنية في التركيبات الكهربية المعرضة للمس.



شكل (٦,٥) نظام IT

. الخصائص الفيزيقية للأرض (٤-٦)

العوامل الآتية تؤثر تأثيرا مباشرا على المقاومة الأرضية للإلكترود الأرضي أو نظم الإلكترودات الأرضية:

١ - مكونات التربة الأرضية
٢ - درجة حرارة التربة
٣ - نسبة الرطوبة بالتربة
٤ - حجم وشكل وعدد الإلكترودات الأرضية والمسافة بينهما.
٥ - عمق الدفن للإلكترود

(٥-٦). مكونات التربة الأرضية

مكونات التربة الأرضية تعطي انطباعا جيدا عن القيمة التقريبية للمقاومة النوعية المتوقعة. ويبين الجدول الت إلى العلاقة بين مكونات التربة والمقاومة النوعية.

جدول (١-٦)

مكونات التربة	المقاومة النوعية (أوم.متر)
التربة الطينية	٤٠-١٥٠
الصلصال	Above ٢٠٠
التربة الرملية	٢٥٠-٥٠٠
الأرض الصخرية	Above ١٠٠٠

(٦-٦). تأثير درجة حرارة ورطوبة التربة

درجة الحرارة للتربة المحيطة بإلكترودات التأريض لها تأثير كبير على قيمة المقاومة النوعية للتربة وخاصة عندما تنخفض درجة الحرارة لأقل من درجة التجمد. ويبين الجدول الت إلى العلاقة بين درجة الحرارة والمقاومة النوعية للتربة الطينية والتي تحتوي على رطوبة نسبية مقدارها ٢ و١٥٪.

جدول (٢-٦)

درجة الحرارة	المقاومة النوعية (أوم.متر)
٢٠	٧٢
١٠	٩٩
صفر (ماء)	١٣٨
صفر (جليد)	٣٠٠
□٥	٧٩٠
□١٥	٣٣٠٠

وكذلك يبين جدول (٣-٦) العلاقة بين نسبة الرطوبة بالتربة والمقاومة النوعية للرمل المبلل.

ومتوسط محتوي الرطوبة يكون تقريبا من ١٠ إلى ١٥٪ والتغير البسيط جدا في نسبة الرطوبة يغير بشكل كبير قيمة المقاومة النوعية للتربة. ومن الهام جدا أن تكون التربة المحيطة والملامسة لإلكترود التأريض تحتوي على رطوبة عالية وذلك لتقليل قيمة المقاومة الأرضية.

جدول (٣□٦)

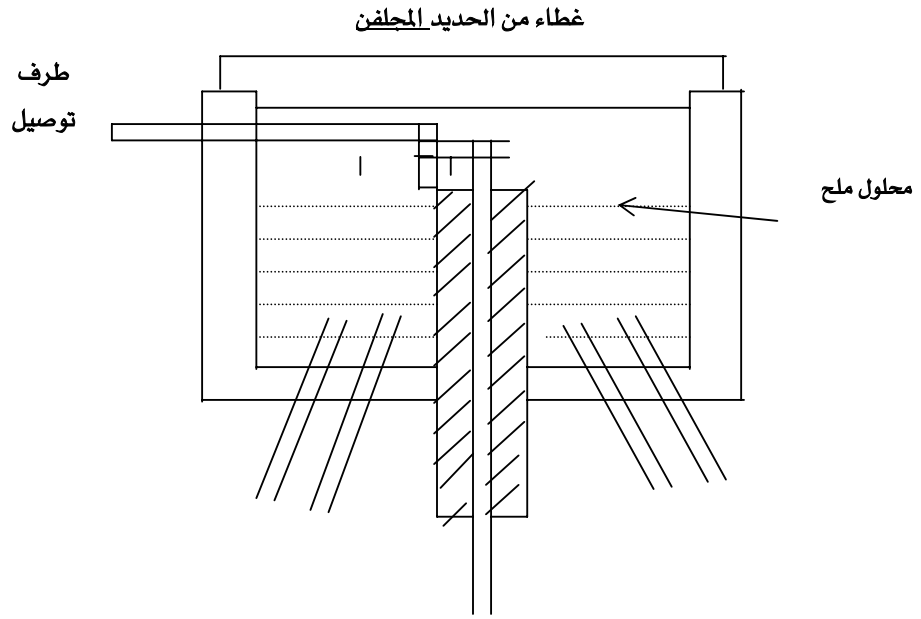
نسبة الرطوبة (٪) بالوزن	المقاومة النوعية (أوم. متر)
Zero	١٠٦x١٠
٢,٥	١٥٠٠
٥	٤٣٠
١٠	١٨٥
١٥	١٠٥
٢٠	٦٣
٣٠	٤٢

□

(٧□٦). المعالجة الكيميائية للتربة

عندما يكون من المستبعد الحصول على القيمة المطلوبة للمقاومة الأرضية طبيعيا (بوجود تربة رملية جافة أو صخرية) فإن ه من الممكن الحصول على القيمة المطلوبة وذلك بمعالجة التربة كيميائيا. ويمكن تقليل قيمة المقاومة الأرضية إلى درجة كبيرة قد تصل إلى ٩٠٪ وذلك باستخدام المعالجة الكيميائية للتربة. ويمكن ذلك بإضافة الأملاح مثل:

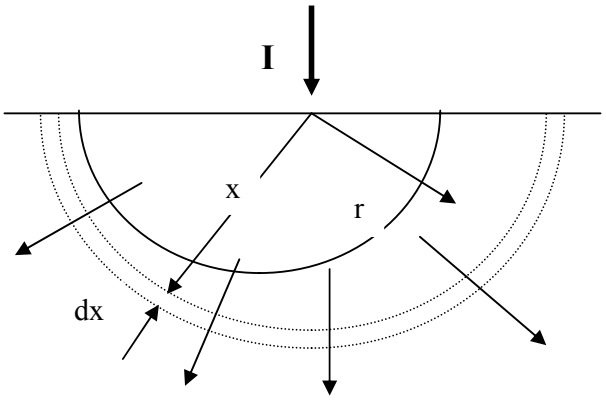
- كبريتات الماغنسيوم
- كبريتات النحاس
- الكربون أو الفحم
- إضافة برادة الحديد



المعالجة الكيميائية للتربة(٦,٦)شكل

(٦□٨). مقاومة إلكترود التأريض

أبسط شكل للإلكترود هو الشكل نصف كروي والموضح بشكل (٦,٧). المقاومة الأرضية لهذا الإلكترود هي عبارة عن مجموع مقاومات عدد لانهائي من المسطحات الكروية من التربة حول الإلكترود. بفرض أن تيارا مقداره I يمر للأرض من خلال هذا الإلكترود فإن هذا التيار سوف ينساب بصورة منتظمة في كل الاتجاهات خلال شرائح نصف كروية متحدة المركز ومتسلسلة. وبفرض أن كل شريحة لها نصف قطر x وسمك dx فإن المقاومة الكلية R لنصف القطر الأكبر r_1 هي:



شكل (٦,٧)

$$R = \int_{r2}^{r1} \frac{\rho dx}{2\pi x^2} = \frac{\rho}{2\pi}\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_1}\right)$$

$$R_{\infty} = \frac{\rho}{2\pi r}$$

حيث أن ρ هي المقاومة النوعية للتربة. وعندما تكون $r_1 \leftarrow \infty$

(٦□٩). مقاومة قضيب التأريض

قضيب التأريض واحد من أبسط وأقل أنواع إلكترودات التأريض تكلفة اقتصادية والمستخدم بكثرة في عمليات التأريض للشبكات الكهربائية. يمكن حساب المقاومة الأرضية لقضبأن التأريض لو تم تبسيطه إلى قطع ناقص (Ellipsoid) كامل الدوران طول محوره الأكبر يساوي ضعف طول قضيب التأريض L وطول محوره الأصغر يساوي قطر قضيب التأريض d

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{4L}{d}$$

إذا أعتبر القضيب على أنه أسطواني الشكل بنهاية نصف كروية فالعلاقة التحليلية للمقاومة الأرضية R تأخذ الشكل :

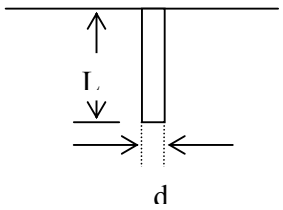
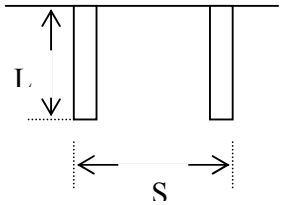
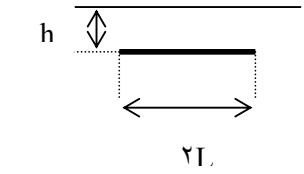
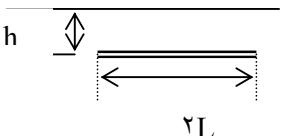
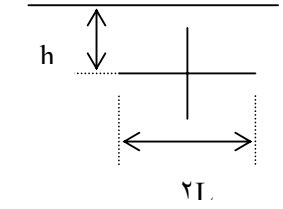
$$R = \frac{\rho}{2\pi L}\ln\frac{2L}{d}$$

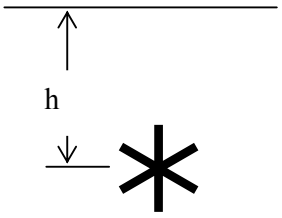
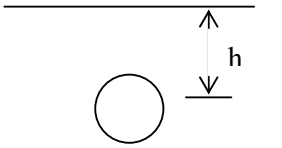
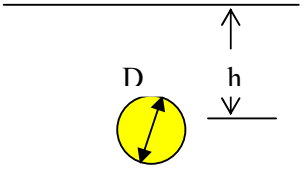
ولو اعتبر قضيب التأريض على أنه يحمل تيارا منتظما على طول القضيب فتصبح المعادلة كما يلي:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L}[\ln(\frac{8L}{d}) - 1]$$

ويعطى جدول (٤-٦) المعادلات التقريبية للمقاومة الأرضية لمختلف أشكال الإلكترودات الأرضية.

جدول(٤-٦)

إلكترود أرضي	$R = \frac{\rho}{2\pi L}[\ln(\frac{8L}{d}) - 1]$	
إلكترودين أرضيين		
	$R = \frac{\rho}{4\pi L}[\ln(\frac{8L}{d}) - 1] + \frac{\rho}{2\pi S}\{1 - \frac{L^2}{3S^2}\}$ (S>L)	
	$R = \frac{\rho}{4\pi L}[\ln\frac{32L^2}{ds} - 2 + \frac{S}{2L} - \frac{S^2}{16L^2}]$ (S<L)	
سلك أفقي	$R = \frac{\rho}{4\pi L}(\frac{16L^2}{dh} - 2 + \frac{h}{L} - \frac{h^2}{4L^2})$	
شريحة فقية (سمك a والعرض b)	$R = \frac{\rho}{4\pi L}\left[\ln\frac{8L^2}{ah} + \frac{a^2 - \pi ab}{2(a+b)^2} - 1 + \frac{h}{L} - \frac{h^2}{4L^2}\right]$	
		

أربع نقاط على هيئة نجمة $R = \frac{\rho}{8\pi L}\left(\ln\frac{4L^2}{dh} + 2.9 - 2.14\frac{h}{L} + 2.6\frac{h^2}{L^2}\right)$	
ست نقاط على هيئة نجمة $R = \frac{\rho}{12\pi L}\left(\ln\frac{4L^2}{dh} + 6.85 - 6.26\frac{h}{L} + 7\frac{h^2}{L^2}\right)$	
حلقة سلكية قطرها D $R = \frac{\rho}{2\pi^2 D}\ln\frac{16D^2}{dh}$	
لوح معدني دائري موضوع أفقيا $R = \frac{\rho}{4D} + \frac{\rho}{8\pi h}\left(1 - 0.036\frac{D^2}{h^2}\right)$ لوح معدني دائري موضوع رأسيا $R = \frac{\rho}{4D} + \frac{\rho}{8\pi h}\left(1 + 0.018\frac{D^2}{h^2}\right)$	

. جهد الخطوة وجهد اللمس بالقرب من محول واقع عليه خطأ(١٠□٦)

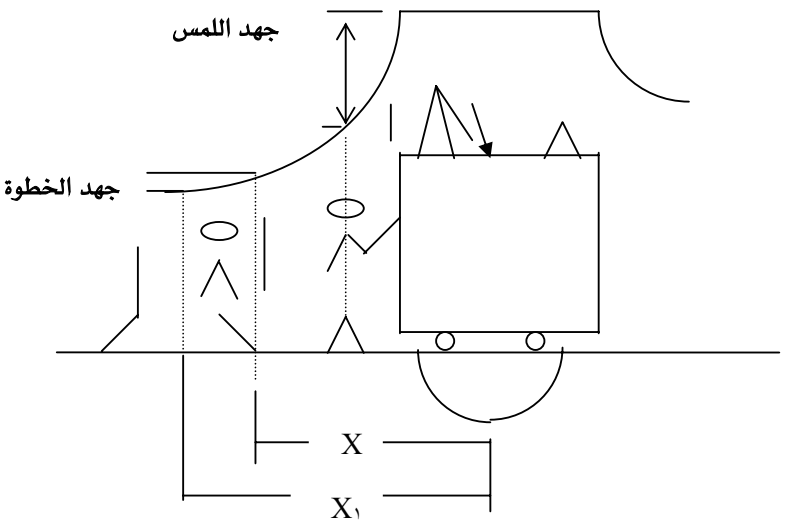
نفترض أن هناك محول بمحطة محولات موصل جسمه الخارجي (Tank) بالأرض خلال إلكترود أرضي نصف كروي ، شكل (٨□٦). لو حدث قصر على عاذلات المحول ذات الجهد الع إلى فسوف يمر تيار مقداره I للأرض.

بافتراض أن نصف قطر نصف الكرة R فإن جهد جسم المحول يكون:

$$V = I\frac{\rho}{2\pi R}$$

لذلك إذا وجد شخص بجوار المحول لحظة حدوث القصر ويكون ملامسا لجسم المحول فإن الجهد الواقع على جسمه يكون مساويا لجهد جسم المحول ويسمى في هذه الحالة بجهد اللمس.

أما إذا كان الشخص واقفا على مسافة من المحول وإحدى قدميه على مسافة x والآخرى على مسافة x_1



شكل (٨□٦)

فان الجهد الواقع على جسمه يسمى جهد الخطوة ويساوي :

$$V_{step} = \frac{\rho I}{2\pi}\left(\frac{1}{X} - \frac{1}{X_1}\right)$$

هذه الجهود الواقعة على الجسم يمكن أن تصل إلى قيم خطيرة على حياة الأشخاص والفنيين المتواجدين بالمحطات الكهربائية ولذلك يجب أن يصمم نظام التأريض ليكون امنا للأشخاص والفنيين العاملين داخل محطات الكهرباء.

مثال: محول قوى كهربية تم تأريضه بواسطة إلكترود نصف كروي نصف قطره ٠,٥ متر في تربة لها مقاومة نوعية ١٢٠ أوم.متر حدث قصر بين موصل الجهد الع إلى والأرض ومر تيار قصر مقداره ١٥٠٠ أمبير احسب.

(أ) جهد جسم المحول عند لحظة القصر.

(ب) فرق الجهد عبر شخص واقف بالقرب من المحول بحيث أن إحدى قدميه على بعد ٤ متر من المحول والآخرى على بعد ٤,٨ متر من المحول.

الحل: r=٠,٥ m, ρ=١٢٠ Ω.m, I=١٥٠٠ A

(أ) جهد اللمس

$$V = \frac{\rho}{2\pi r} = \frac{120x1500}{2\pi x0.5} = 57295.8 \quad v$$

$$= ٥٧,٢٩٥٨ \text{ kV}$$

$$V = \frac{\rho I}{2\pi}\left(\frac{1}{x_1} - \frac{1}{x_2}\right) = \frac{120x1500}{2\pi}\left(\frac{1}{4} - \frac{1}{4.8}\right) = 1193.66 \quad v$$

(ب) جهد الخطوة

$$= ١,١٩٣ \text{ kV}$$

(١١□٦). الملاحظات الفنية على التأريض باستخدام قضبأن التأريض

من النظرة العملية فإن أنسب أنواع إلكترودات التأريض هي قضبأن التأريض. والمزايا العملية لقضبأن التأريض على الأنواع الآخرى يمكن تلخيصها في الآتي:

١. رخص سعرها مقارنة بالأنواع الآخرى
٢. عندما تكون الرطوبة الدائمة بالأرض على مسافات بعيدة فإن قضبأن التأريض يمكن أن تصل إلى الأعماق المطلوبة مما يؤدي إلى تقليل قيمة المقاومة.
٣. التوصيل بين قضيب التأريض وطرف التوصيل للأجهزة في منتهى البساطة ويمكن أن يوضع فوق سطح الأرض.
٤. المعالجة الكيميائية بالمحاليل الملحية تعتبر هامة جدا، وطريقة المعالجة في حالة قضبأن التأريض بسيطة وسهلة عن بقية الأنواع.
٥. يمكن وضع العدد المطلوب والكافي للمقاومة الأرضية المطلوبة وفي المساحة المعينة.
٦. الطول الأكبر من قضيب التأريض له الميزة بإعطاء مقاومة نوعية أقل للتربة الأرضية.

(١٢□٦). نظم الإلكترودات المتعددة

للحصول على قيمة منخفضة للمقاومة الأرضية يمكن أن نستعمل أكثر من إلكترود أرضي. توصل الإلكترودات الأرضية على التوازي لتقليل قيمة المقاومة.

في حالة استخدام عدد (n) إلكترود متماثلين وكانت R هي قيمة المقاومة الأرضية للإلكترود الواحد وبفرض أن الإلكترودات الأرضية لا تؤثر على بعضها فإن المقاومة الكلية للإلكترودات هي:

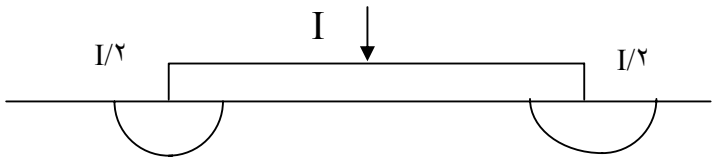
$$R_n = R/n$$

ولكن التأثير المتبادل (mutual effect) للإلكترودات لها تأثير مباشر على القيمة المقاسة للمقاومة الأرضية. وفي هذه الحالة تكون قيمة المقاومة الكلية للإلكترودات هي:

$$R_{system} = R/(n\eta) = R_n / \eta$$

حيث أن η هي معامل الحجب (screening coefficient) وهي دائما أقل من ١.

ويمكن حساب معامل الحجب للإلكترودين نصف كرويين، شكل (٦,٩):



شكل (٦,٩)

بفرض أن I هو تيار القصر وللتماثلية بين الإلكترودين فإن التيار المار في كل إلكترود سوف يكون I/٢ وجهد الإلكترودين المتصلين على التوازي متساويين:

$$\therefore V = V_I = V_{II}$$

الجهد V يساوي الجهد أثناء مرور التيار I/٢ مضافا إليه الجهد خلال مجال الإلكترود الآخر.

$$V = \frac{I}{2}\frac{\rho}{2\pi r} + \frac{I}{2}\frac{\rho}{2\pi d} = \frac{\rho I}{4\pi}\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{d}\right)$$

حيث أن d هي المسافة بين الإلكترودين و r هي نصف قطر الإلكترود. ويمكن حساب قيمة مقاومة النظام كما يلي:

$$R_{system} = \frac{V}{I} = \frac{\rho}{4\pi}\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{d}\right)$$

ويمكن حساب معامل الحجب كما يلي:

$$\eta = \frac{R/2}{R_{system}} = \frac{\frac{\rho}{4\pi r}}{\frac{\rho}{4\pi}\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{d}\right)} = \frac{1}{1 + (r/d)}$$

من المعادلة السابقة نجد أن معامل الحجب η يقل بزيادة نصف قطر الإلكترود الأرضي وكذلك يقل بتقليل المسافة بين الإلكترودين.

(١٣□٦). شبكة التأريض

الطريقة المثلى للحصول على قيمة صغرى للمقاومة الأرضية لمحطات الكهرباء ذات الجهد الع إلى هي استخدام شبكة تأريض للمحطة. تستخدم في هذه الحالة مجموعة إلكترودات نحاسية تدفن بالأرض بدءا من مسافة تتراوح بين ٣٠ إلى ٦٠ سم من سطح الأرض وتترك مسافة تتراوح بين ٣ إلى ١٠ متر بين الإلكترود والآخر المجاور له. و توصل الإلكترودات ببعضها بشبكة أرضية جيدة اللحام.

تصميم حجم موصلات الشبكة الأرضية يتطلب تجنب الانصهار تحت ظروف تيار القصر. وتحسب قيمة مساحة المقطع كما يلي (IEEE, ١٩٨٧) :

$$a = 5x10^{-4} I \sqrt{\frac{76t}{\ln\{(234 + T_m)/(234 + T_a)\}}}$$

حيث أن a هي مساحة المقطع بالمم^{٢} ، t هو زمن القصر بالثانية و T_m هي أقصى قيمة لدرجة الحرارة يسمح بها و T_a هي درجة حرارة الوسط المحيط.

(١٤-٦). المقاومة الأرضية لشبكة الأرضي

مقاومة التأريض تحدد أقصى قيمة لارتفاع الجهد لنظام التأريض أثناء حدوث القصر. ويمكن استعمال المعادلة التالية لتحديد قيمة المقاومة الأرضية لشبكة التأريض:

$$R = \frac{\rho}{L}(\ln\frac{2L}{\sqrt{dh}} + K_1\frac{L}{\sqrt{A}} - K_2)$$

حيث أن L هي طول كل إلكترودات التأريض بالشبكة و A هي المساحة الكلية للشبكة و d هي قطر إلكترودات التأريض و $K_١$ و $K_٢$ هي العوامل المعطاة بيانيا والدالة في النسبة بين الطول والمسافة.

. قياس مقاومة الأرضي(١٥-٦)

تتكون المقاومة الأرضية عمليا من إلكترود التأريض محاطا بجسم الأرض والتي تمتد نظريا إلى ما لانهاية. عمليا فإن حو إلى ٩٨٪ من المقاومة الكلية الفعالة تكون في حدود مسافة محددة من التربة. لتحديد المسافة حول الإلكترود التي تحتوي على النسبة المعنية من المقاومة الأرضية نفترض وجود إلكترود نصف كروي. مقاومة هذا الإلكترود لمسافة $r_١$ هي:

$$R_1 = \frac{\rho}{2\pi}(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_1})$$

مقاومة الإلكترود لمسافة ما لانهاية هي :

$$R = \frac{\rho}{2\pi}.\frac{1}{r}$$

لذلك فإن ٥:

$$\frac{R_1}{R} = \frac{\frac{1}{r} - \frac{1}{r_1}}{\frac{1}{r}} = 1 - \frac{r}{r_1}$$

فإذا كانت النسبة بين $R_١$ إلى R هي ٩٨٪ فإن :

$$r_1 = \frac{100r}{100 - 98} = 50r$$

لذلك فإن المساحة المحيطة بالإلكترود وتحتوي على تقريبا ٩٨٪ من المقاومة الكلية هي مساحة المقاومة لهذا الإلكترود.

لعمل أي نوع من القياسات فلابد من أخذ حقيقتين هامتين في الاعتبار هما :

١. كل مساحة المقاومة المطلوبة لابد أن تتضمن في القياسات.
٢. لو استخدم إلكترود أرضي مسأعد فمن الضروري أن نتأكد أن مساحة المقاومة للإلكترود المسأعد لا تتداخل مع مساحة المقاومة للإلكترود الرئيسي.

هناك نقطة أخرى هامة يجب أن تؤخذ في الاعتبار هو عدم السماح باستخدام التيار المستمر في القياس لأنه يسبب استقطاب وتحليل للتربة. لذلك من الممكن أن ينتج غازات والتي تؤثر في سريان التيار الكهربي في التربة. لذلك فهي لا تعطي القيمة الحقيقية للمقاومة تحت الظروف العادية.

كذلك لا يسمح باستخدام قيم عالية من التيار المتردد حيث إن الفقد الكبير في القدرة الكهربية يعطي نفس تأثيرات التيار المستمر.

. طريقة الثلاث نقاط(١٥١٥٦)

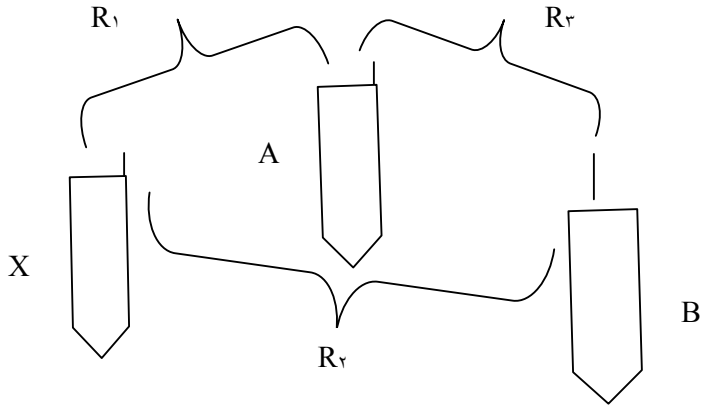
في هذه الطريقة نستخدم اثنين من الإلكترودات المسأعدة مع الإلكترود الرئيسي وتقاس المقاومة لكل الإلكترودات.

$$R_1 = X + A$$
$$R_2 = X + B$$
$$R_3 = X + B$$

حيث أن R١ المقاومة بين الإلكترود المسأعد A والإلكترود الرئيسي X و R_2 المقاومة بين الإلكترود المسأعد B والإلكترود الرئيسي X و R_3 المقاومة بين الإلكترود المسأعد A والإلكترود المسأعد B .

ومن العلاقات السابقة نستنتج أن:

$$X = (R_1 + R_2 + R_3)/2$$



شكل (٦,١٠) طريقة الثلاث نقاط

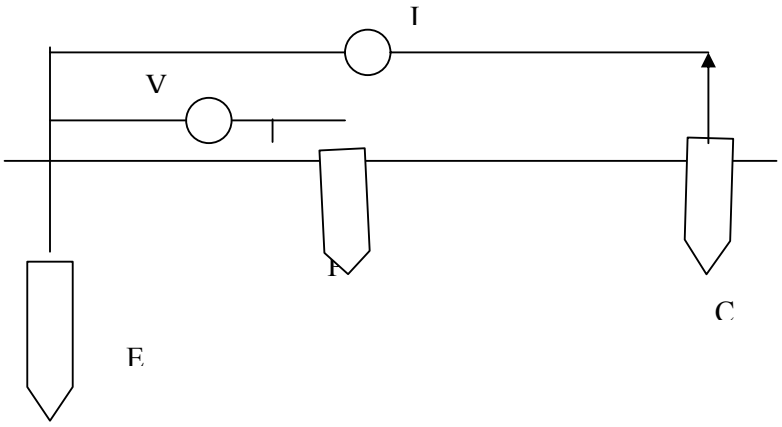
ومن الضروري زيادة المسافة بين الإلكترودات حتى تصبح قيمة المقاومة المقاسة ثابتة وأي خطأ في قيم المقاومات المقاسة يؤدي إلى خطأ أكبر في قيمة المقاومة المحسوبة X.

(٢-١٥-٦). طريقة انخفاض الجهد

هذه الطريقة هي الشائعة الاستعمال في قياس المقاومة الأرضية. في هذه الطريقة يستعمل إلكترودان مساعدان P و C على مسافة مناسبة للإلكترود الرئيسي E.

بوضع مصدر كهربي له تيار معرف بين الإلكترودين E و C ويقاس فرق الجهد بين الإلكترودين E و B إذا كان التيار المار I و فرق الجهد المقاس V فإن قيمة المقاومة الأرضية تكون:

$$R_e = V/I$$



شكل ١١ طريقة انخفاض الجهد

ومن الواضح في هذه الطريقة أن مقاومة الإلكترودات المساعدة لا تتضمن في هذه الطريقة. وإن كانت مقاومة الإلكترود C هو أحد العوامل المحددة لقيمة التيار I لكن هذا بدوره يحدد قيمة فرق الجهد V لذلك فإن المعادلة V/I غير معتمدة على قيمة مقاومة الإلكترود C

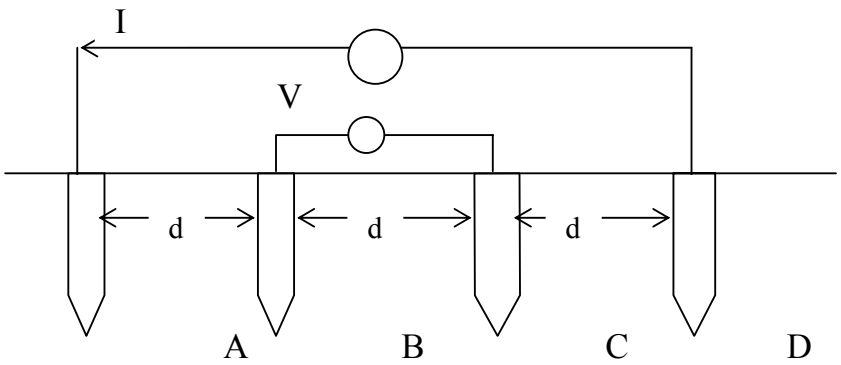
(١٦-٦). قياس مقاومية الأرض

لغرض قياس مقاومية الأرض تستخدم طريقة الأربعة إلكترودات المبينة بشكل (٦,١٢).

بإمرار تيار بين الإلكترود A و الإلكترود D وقياس الجهد بين الإلكترود B و الإلكترود C يمكن معرفة قيمة مقاومية الأرض.

$$\rho = ٢ \pi d (V/I)$$

حيث أن ρ هي مقاومية الأرض بالأوم متر و V فرق الجهد المقاس بين B و C بالفولت وI هو التيار المار بين A و B.



شكل (٦,١٢) طريقة الأربعة إلكترودات لقياس مقاومية الأرض

مثال : لقياس مقاومية تربة داخل محطة توليد كهربية جديدة استخدمت طريقة الأربعة الكترودات المسافة بين كل إلكترود والإلكترود المجاور ٢٠ متر وقراءة جهاز قياس المقاومة الأرضية يشير إلى ١,٢ أوم. احسب مقاومية التربة.

الحل : $d=٢٠\ m, \qquad R=١,٢\ \Omega$

$$R = \frac{\rho}{2\pi d} \qquad \therefore \rho=R.٢\pi d=١,٢x٢\pi x٢٠=١٥٠,٨\ \Omega.m$$

(١) د. أسر على ذكي و د. أحمد حلمي راشد ، نظم التوزيع وتنظيم الجهد ، منشأة المعارف بالأسكندرية ، ١٩٨٤.

(٢) د. عبد المنعم موسى، المكثفات (تحسين معامل القدرة)، دار الراتب الجامعية ، بيروت، ١٩٩٤.

(٣) م. أحمد عبد المتعال ، الأسس العملية في التركيبات الكهربية، دار النشر للجامعات، مصر، ١٩٩٩.

(٤) د. أسر على ذكي و د. حسن الكمشوشي ، التأريض والتحجيب لمنع التداخل في النظم الكهربية، منشأة المعارف بالأسكندرية ، ١٩٩٧.

(٥) د. أسر على ذكي و د. أحمد حلمي راشد ، التأريض الوقائي، منشأة المعارف بالأسكندرية ، ١٩٨٣.

(٦) د. هاني عبيد ود. محمد عالية ، التمديدات الكهربائية وحمايتها ، المؤسسة العربية للدراسات والنشر ، ١٩٩٢

(٧) د. اسر على و د. حسن الكشوشمي ، الإضاءة ، منشأة المعارف الأسكندرية ، ١٩٨٦

(٨) د. كاميليا يوسف ، الإضاءة وتوفير الطاقة ، شركة توزيع الإسكندرية ، ٢٠٠١

(٩) د. عبد المنعم موسي إضاءة المصانع والأبنية العامة دار الراتب الجامعية ، ١٩٩٥

(١٠) د.كاميليا يوسف ، المحولات الكهربية ، شركة توزيع الإسكندرية ، ٢٠٠١

(١١) م. أحمد عبد العال ، التركيبات الكهربية في المنشآت الصناعية والتجارية والعامة ، دار النشر للجامعات مصر ، ٢٠٠٠

(١٢) T. Longland, T. W. Hunt and W. A. Brecknell, Power Capacitor Handbook, Butterworth & Co (Publishers) Ltd., ١٩٨٤.

(١٣) Theraja Text-Book , Electrical Technology , B.L S. Chanh and Co. (Pvt) LTD. ١٩٧٦

(١٤) D. C. Pritchard , Lighting , Addisison Wesley Longman Limited ,١٩٩٩

(١٥) John P. Frier , Industrial lighting systems , McGraw-Hill ١٩٨٠

(١٦) Turan Gonen, Electrical power distribution system engineering , McGraw-Hill ١٩٨٦.

المحتويات

صفحة

تمهيد

المحتويات

الفصل الأول: نظم التوزيع

١ ١ مقدمة ١
٢ ١ نظم التوزيع ١
٣ ١ خطوط مادون النقل ٣
٤ ١ محطات التوزيع ٦
٥ ١ أشكال قضبأن التوزيع في المحطات الفرعية ٩
٦ ١ نظم المغذيات الأولية ١٢
١ ٦ ١ نظام نصف قطري أولي ١٣
٢ ٦ ١ نظام حلقي أولي ١٦
٣ ٦ ١ نظام شبكي أولي ١٧
٤ ٦ ١ الجهد في نظام التوزيع الأولى ١٩
٧ ١ نظام التوزيع الثانوي ٢٠
١ ٧ ١ نظام نصف قطري ثانوي ٢٠
٢ ٧ ١ نظام تجميعي ثانوي ٢٢
٣ ٧ ١ نظام شبكي ثانوي ٢٣
٤ ٧ ١ مستوى الجهد في النظام الثانوي ٢٣
٨ ١ محولات التوزيع ٢٥
١ ٨ ١ القطبية ٢٦
٢ ٨ ١ تتابع الطور ٢٨
٣ ٨ ١ تشغيل المحولات على التوازي ٢٨

الفصل الثاني: الأحمال الكهربائية

١ ٢ مقدمة ٢٩

٢-٢ خصائص الأحمال الكهربية ٢٩
١-٢-٢ طلب المنظومة ٢٩
٢-٢-٢ متوسط الطلب ٢٩
٣-٢-٢ أقصى قيمة للطلب ٣٠
٤-٢-٢ عامل الطلب ٣١
٥-٢-٢ عامل الحمل ٣٢
٦-٢-٢ عامل التواقت ٣٣
٧-٢-٢ عامل التباين ٣٤
٨-٢-٢ عامل السعة ٣٤
٩-٢-٢ تباين الحمل ٣٤
٣-٢ خصائص الأحمال ٣٥
٤-٢ تغييرات الحمل ٣٦

الفصل الثالث: الموزعات الكهربية

١-٣ مقدمة ٤٠
٢-٣ نظام توزيع ثلاثة موصلات وموصلين في التيار المستمر ٤٠
٣-٣ حساب هبوط الجهد في موزعات التيار المستمر ٤٢
١-٣-٣ موزع يغذى من إحدى طرفيه ٤٢
٢-٣-٣ موزع يغذى من كلا طرفيه بجهد متساو ٤٦
٣-٣-٣ موزع يغذى من كلا طرفيه بجهد غير متساو ٤٩
٤-٣-٣ موزع على شكل حلقي ٥٥
٤-٣ حساب هبوط الجهد في موزعات التيار المتردد ٥٩
١-٤-٣ حساب هبوط الجهد مع إهمال الممانعة الحثية ٥٩
٢-٤-٣ حساب هبوط الجهد مع وجود المعاوقة الكلية للموزع ٦٠

الفصل الرابع: معامل القدرة وطرق تحسينه

١-٤ مقدمة ٧٠
١-١-٤ دوائر المقاومات ٧٠
٢-١-٤ الدوائر الحثية ٧١

٣-١-٤ الدوائر السعوية.....٧٢
٢-٤ القدرة الظاهرية.....٧٣
٣-٤ مثلث القوى.....٧٤
٤-٤ معامل القدرة.....٧٤
٥-٤ تأثيرات معامل القدرة.....٧٦
٦-٤ مميزات تحسين معامل القدرة.....٧٧
٧-٤ تحسين معامل القدرة.....٧٨
٨-٤ المكثفات الكهربية.....٧٩
١-٨-٤ أنواع المكثفات المستخدمة عمليا.....٨٠
٩-٤ طرق تحسين معامل القدرة.....٨١
١٠-٤ طريقة الجداول.....٨٨
١١-٤ تصحيح معامل القدرة للمحركات الكهربية.....٩٤
١-١١-٤ التصحيح الكلي.....٩٦
٢-١١-٤ التصحيح الإستاتيكي ٩٦
٣-١١-٤ مغيرات التيار.....٩٩
٤-١١-٤ بادئ التشغيل الناعم باستخدام المعدات الإلكترونية.....٩٩
٥-١١-٤ اختيار المكثفات.....١٠٠
٦-١١-٤ توافقيات المصدر.....١٠٠
٧-١١-٤ رنين مصدر التغذى ة الكهربي.....١٠١
الفصل الخامس: حسابات الإنارة الكهربية
١-٥ مقدمة.....١٠٤
٢-٥ كميات ووحدات الإضاءة.....١٠٤,١
١-٢-٥ الفيض الضوئي.....١٠٤
٢-٢-٥ الزاوية المجسمة أو الزاوية الفراغية.....١٠٤
٣-٢-٥ الكنديلا.....١٠٥.
٤-٢-٥ الليومن.....١٠٥
٥-٢-٥ كمية الضوء.....١٠٦

٦ ٢ ٥ شدة الإضاءة ١٠٦
٧ ٢ ٥ الاستضاءة ١٠٧
٨ ٢ ٥ النصوع ١٠٧
٣ ٥ قانون التربيع العكسي ١٠٧
١ ٣ ٥ تطبيقات على قانون التربيع العكسي ١٠٩
٤ ٥ مصابيح الإضاءة ١١٢
١ ٤ ٥ المصابيح المتوهجة ١١٢
٢ ٤ ٥ مصابيح الزئبق ١١٣
٣ ٤ ٥ مصابيح الفلورسنت ١١٣
٥ ٥ إضاءة الطرق ١١٥
١ ٥ ٥ طرق توصيل مصابيح إضاءة الطرق ١١٥
٢ ٥ ٥ حسابات الاستضاءة ١١٨
٦ ٥ الإضاءة الداخلية ١٢٨
١ ٦ ٥ الخطوات لحساب الإضاءة الداخلية (طريقة الليومن) ١٢٨
٢ ٦ ٥ تطبيقات على الإضاءة الداخلية ١٣٤

الفصل السادس: التأريض

١ ٦ مقدمة ١٣٩
٢ ٦ تعريفات ١٣٩
٣ ٦ أنواع نظم التأريض للتركيبات الكهربية ١٤٠
٤ ٦ الخصائص الفيزيقية للأرض ١٤٤
٥ ٦ مكونات التربة الأرضية ١٤٤
٦ ٦ تأثير درجة الحرارة ورطوبة التربة ١٤٥
٧ ٦ المعالجة الكيميائية للتربة ١٤٦
٨ ٦ مقاومة إلكترود التأريض ١٤٧
٩ ٦ مقاومة قضيب التأريض ١٤٧
١٠ ٦ جهد الخطوة وجهد اللمس بالقرب من محول واقع عليه خطأ ١٤٩
١١ ٦ الملاحظات الفنية على التأريض استخدام قضبأن التأريض ١٥٠

١٢□٦ نظم الإلكترودات المتعددة.....١٥٠
١٣□٦ شبكة التأريض.....١٥١
١٤□٦ المقاومة الأرضية لشبكة التأريض.....١٥٢
١٥□٦ قياس مقاومة الأرضي.....١٥٢
١□١٥□٦ طريقة الثلاث نقاط.....١٥٣
٢□١٥□٦ طريقة انخفاض الجهد.....١٥٤
١٦□٦ قياس مقاومية الأرض.....١٥٥
المراجع ١٥٦

تقدر المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني الدعم

المالي المقدم من شركة بي آيه إي سيستمز (العمليات) المحدودة

GOTEVOT appreciates the financial support provided by BAE SYSTEMS