جمهورية السودان

وزارة التربية والتعليم

الادارة العامة للتعليم الفني

المســـــاق الصنـــــاعي

أصول كهرباء [صناعي]

الصف الثالث

2014م

الفهرس

الطاقة للكهرباء Energy for electricity 6

1.1 مصادر الطاقة المتجددة : 6

1.1.1 الطاقة الهيدروكهربية (المساقط المائية) Hydro electric energy : 6

1.1.2 طاقة المد والجذب :Tidal energy 7

1.1.3 طاقة الرياح :Wind energy 7

1.1.4 طاقة الموجات : Wave energy تحدث الموجات نتيجة للرياح (وجزئياً بواسطة المد والجذب) تسبب الموجات في إحداث حركات سريعة – فوق وتحت – على سطح البحر – يمكن استخدام هذه الحركات لإدارة المولدات 8

1.1.5 طاقة حرارة باطن الأرض : Geotherinal energy 8

1.1.6 الطاقة الشمسية : Solar energy 8

1.1.7 الوقود الحيوي : Biofuels 9

1.2 مصادر الطاقة الغير متجددة :Non renewable energy resources 9

1.2.1 الوقود المتحجر : Fossil fuels 9

1.2.3 محطات القدرة الحرارية : Thermal power stations 11

1.2.4 إنتشار الطاقة الحرارية : Energy spreading 11

1.2.5 تفاعلات للطاقة : Reactions for energy 12

1.2.6 : مشكلات التلوث : Pollution problems 13

1.2.7 بدء القدرة : Power start – up 13

1.2.8 إدخار الطاقة : Sawing energy 13

أسئلة للمراجعة 14

الباب الثاني 16

التوليد Generation 16

2.1 مميزات التيار المتردد : 16

2.2 عيوب مولدات التيار المتردد طور واحد بالمقارنة إلى ثلاثي الاطوار : 16
2.3 مولدات التيار المتردد ثلاثي الاطوار : 17
2.4 أنواع مولدات التيار المتردد ثلاثي الاطوار : 18
2.5 تقنين المولدات : 19
2.6 طريقة عمل المولد : 19
2.7 طريقة توصيل أطراف المولد : 20
2.9 ضبط الجهد والتردد للمولد : 24
2.10 توصيل المولدات على التوازي : 24
الباب الثالث 26
المحولات ثلاثية الأطوار 26
توصيل نجمة – دلتا أسئلة للمراجعة 29
أسئلة للمراجعة 30
الباب الرابع 33
نقل وتوزع والقدرة 33
4.1 : استخدام المحولات لرفع الجهد للخطوط الهوائية والكوابل الأرضية : 33
4.2 المحطات الفرعية : Substations لخفض الجهد للمستهلكين 35
4.3 مخاطر ناجمة من عدم توصيل نقطة المحايد في المحطة الفرعية الى ارضي جيد : 39
أسئلة للمراجعة 40
5. تسلسل أجهزة التحكم للادارة والمستهلك ومواصفات الدوائر النهائية : 41
5.1 التسلسل : 41
502 تقسيم وأنواع الدوائر النهائية 42
5.3 التميز : Discrimination 43
5.4 الجهد الاسمي والتردد المعياري والقوانين الخاصة بتغير الجهد والتردد : 44
الباب السادس 45
أسلاك التوصيل والكوابل 45

6.1 تعريفات : 45
6.2 مقدار حمل التيار (current carrying capacity) : 47
6.3 عوامل التصحيح للمجموعة : 47
6.4 عوامل التصحيح لدرجة الحرارة المحيطة : 49
6.5 مطلبات الحماية للكوابل والأسلاك : 49
6.6 خطوات اختيار السلك أو الكيبل المناسب لتوصيلة معينة : 50
6.7 هبوط الجهد في الكوابل والأسلاك : 50
6.8 موصلات المحايد : 51
6.9 الأقصى المطلوب (maximum demand) : 51
6.10 التباين (Diversity) : 52
الباب السابع 54
طرق الامداد للأسلاك والكوابل 54
7.1 طرق طبق الأصل لإمداد الاسلاك والكوابل : 54
7.2 حاويات (أغطية) الأسلاك والكوابل للحماية الميكانيكية : 58
المواسير والخراطيش : 58
الترنكات (Trunking) : 59
نظام الضكت (Duct) : 59
7.3 عوامل الفراغ : 60
7.4 تحديد حجم المواسير و الخراطيش و الترنكات الضرورية لإجتواء اسلاك وكوابل بحجم واحد أو أحجام مختلفة 60
7.5 كوابل بمفردة قلب معزولة بالـــ pvc في ترنكات : 65
7.6 دعامات الكوابل والاسلاك : 69
الباب الثامن 71
التأريض (الأرضي) Earthing 71
8.1 تعريف : 71
8.2 مميزات وعيوب الأرضي : 72

8.3 معاوقة مسار خطأ الأرضي : 73
804 قواطع دائرة التسريب الأرضى Earth Leakage Circuit Brealcers 74
الباب التاسع 77
فحص واختبار الدائرة الكهربية 77
المحركات ثلاثية الأطوار :..... 78
9.1 الأجزاء الرئيسية للمحركات الحثية والاستنتاجية أو اللاتزامنية : 78
9.2 المجال الدوار:..... 81
9.3 طريقة عمل المحركات الحثية ثلاثية الأطوار :..... 83
9.4 بدء الحركة فى المحرك الحثى ثلاثى الاطوار : 85
9.5 الكفاءة والمفقودات : 86
9.6 المحركات التزامنية synchronous motors 89
9.7 جدول لخواص محركات التيار المتردد 92
اسئلة وتمارين للمراجعة..... 94
الباب العاشر 96
دوائر التقويم ((التوحيد)) 96
الحاجة إلى دوائر التقويم : 96
المقومات : 96
نماذج دوائر التقويم في مولد السيارات : 101

Energy for electricity الطاقة للكهرباء

المجتمعات الصناعية تستهلك كميات كبيرة من الطاقة معظم الإستهلاك للطاقة تمد بواسطة الكهرباء التي تأتي من المولدات في المحطات .

الشمس هو المصدر الأساسي للطاقة . الطاقة التي تستخدمها على الأرض إما متجددة Renewable أو غير متجددة Non Renewable على سبيل المثال الخشب عبارة عن وقود متجدد ، عندما تستخدم الخشب كوقود للطاقة ينمو المزيد ليحل مكان المستهلك .. على جانب آخر النفط وقود غير متجدد إذ يأخذ ملايين السنوات ليتكون داخل الأرض .. عندما يستخدم النفط فلا يمكن تجديده .

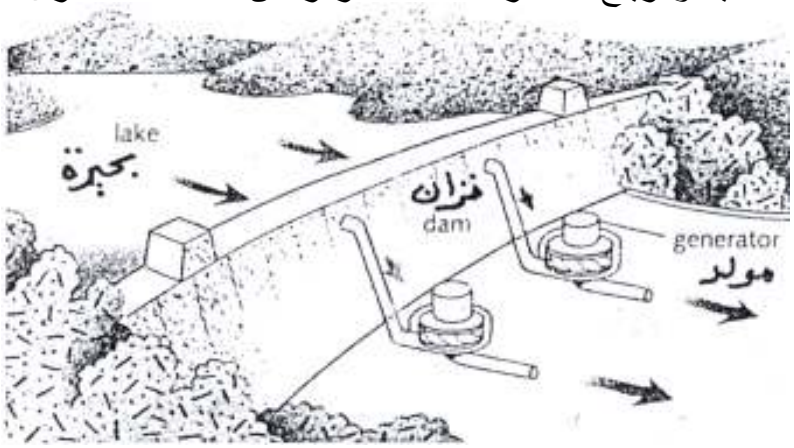
1.1 مصادر الطاقة المتجددة :

1.1.1 الطاقة الهيدروكهربية (المساقط المائية) Hydro electric energy :

وهي عبارة عن مساقط مائية من بحيرة خلف السد . تنشأ سدود على عرض النهر في أماكن مختارة مناسبة – المياه المندفعه من البحيرة تدير التوربينة التي تدير بدورها المولدات . معظم الطاقة الكهربية في هذا البلد تمد بواسطة المساقط المائية .

يعتبر هذا النوع من الطاقة من أنواع الطاقة النظيفة – لا تعطي غازات ملوثة ولا توجد تكلفة وقود . ومن عيوبها أنها عالية التكلفة ممن حيث البناء والتشييد وتحتاج إلى مسافات أكبر بالمقارنة إلى الوقود الفحمي أو النفطي ويمكن أن تغمر مساحات كبيرة من الأرض والمباني ويسبب في إفساد البيئة .

تعتبر محطات المياه والرياح مصادر طاقة أقل تمركزاً من المحطات الأخرى .

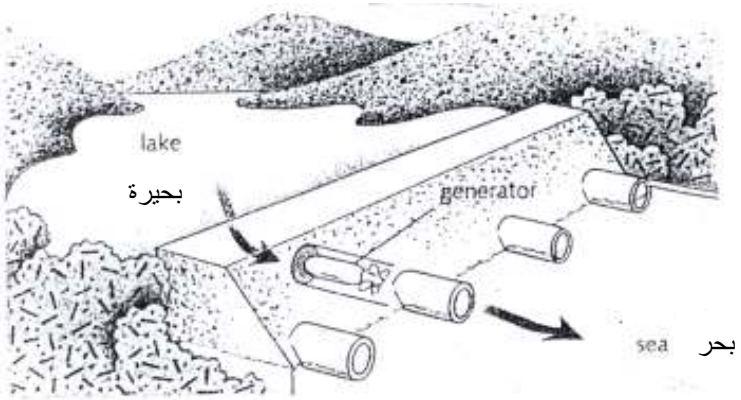


Hydroelectric power scheme River and rain fill up a lake behind a dam. As waterrushes down through the dam, it turns turns turbines which turn generators.

1.1.2 طاقة المد والجذب :Tidal energy

تشبه الطاقة المستمدة بواسطة المساقط المائية ولكن البحيرة تملأ عندما يأتي المد وتفرغ عندما ينسحب المد راجعاً . تعمل قوة الجذب التثاقلي للقمر إنتفاخات في محيطات الأرض وعندما يدور الأرض فإن مواقع مختلفة تكون لها مد موجي عالي ومنخفض تحمل هذه الموجات المتحركة طاقة ، تحفر بحيرات صناعية للإستفادة من هذه الطاقة تملأ هذه البحيرات عندما تأتي المد وتفرغ عند الجزر ، يستفاد من حركة المياة في ادارة التوربينات .

المميزات والمشاكل كما جاء في المساقط المائية .



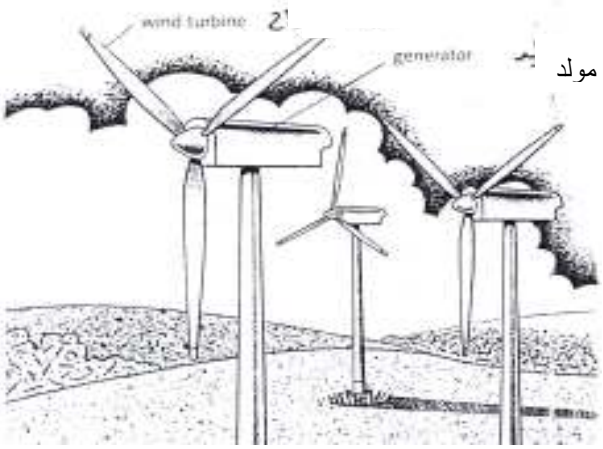
Tidal power scheme a dam is built across a river where it meets the sea. The lake behind the a dam fills when the tide comes in and empties when the tide goes out. The flow of water turns the generators.

1.1.3 طاقة الرياح : Wind energy

تدور المولدات بواسطة توربينات (طواحين) هوائية .

العيوب والمشاكل :

تحتاج إلى مساحة كبيرة وبعيدة – سرعة الرياح متغيرة – مزعجة ويمكن أن يفسد المناظر الطبيعية .



1.1.4 طاقة الموجات : Wave energy تحدث الموجات نتيجة للرياح (وجزئياً بواسطةالمد والجذب) تسبب الموجات في إحداث حركات سريعة – فوق وتحت – على سطح البحر – يمكن استخدام هذه الحركات لإدارة المولدات.

Wave energy
Waves are caused by the wind (and partly by tides). Waves cause a rapid up-and-down movement on the surface of the sea. This movement can be used to drive generators.

العيوب والمشاكل :

يوجد صعوبة في البناء – المشاريع الناجحة حتى الآن قليلة .

1.1.5 طاقة حرارة باطن الأرض : Geotherinal energy

في أعماق الإرض درجة حرارة الصخور أعلى من على السطح .

تكتسب الطاقة الحرارية من المواد الطبيعية النشطة إشعاعياً والموجودة في الصخور . يستفاد من البخار لتدفئة المنازل وفي إدارة المولدات أو بضخ الماء في اعماق الضخور الساخنة وإرجاعها كبخار بعد التسخين .

Geothermal energy
Deep underground, the rocks are hotter than they are on the surface. The thermal energy comes from radioactive materials naturally present in the rocks. It can make steam for heating buildings or driving generators.

العيوب والمشاكل :

يصعب عمل ثقوب إلى الأعماق – عالية التكلفة .

في الشكل نافورة غازية ساخنة تندفع خلال ثقب في الاعماق ، تستخدم الغاز الساخن في تسخين الماء لعمل بخار لرفع التوربينات .

1.1.6 الطاقة الشمسية : Solar energy

الألواح الشمسية تمتص الطاقة الاشعاعية من الشمس وتستعمل هذه الطاقة لتسخين الماء . وتستخدم الخلايا الشمسية ضوء الشمس لإنتاج الطاقة الكهربية مباشرة .

العيوب والمشاكل : الاختلاف في كمية ضوء الشمس – الخلايا الشمسية مكلفة .

Solar panels
These absorb energy radiated from the Sun and use it to heat water.

في الشكل الالواح الشمسية تمتص الطاقة المشعة من الشمس وتستخدم في تسخين الماء .

Solar cells
These use the energy in sunlight to produce small amounts of electricity.

في الشكل الخلايا الشمسية تستخدم ضوء الشمس لإنتاج كمية صغيرة من الكهرباء مباشرة .

1.1.7 الوقود الحيوي : Biofuels

يعتبر مادة مهمة لإنتاج الطاقة في بعض الأقطار . عندما نحرق الأخشاب تطلق طاقة إكتسبتها الأخشاب من الشمس في السابق وفي بعض الأقطار يزرع قصب السكر ويخمر لإنتج الكحول ويستخدم الكحول بدلاً من وقود النفط .

النفايات المتعفنة في الحيوانات والنبات يمكن أن تعطي غاز الميثان وهذا يشبه وقود الغاز الطبيعي . يعتبر أعمال معالجات المستنقعات وأكوام الأوساخ والمجاري كلها مصادر لغاز الميثان .

العيوب :

الحاجة لمسافات شاسعة لزراعة النباتات .

- في البرازيل تستخدم سيارات متعددة الكحول كوقود بدلاً من البترول . يستخرج الكحول من قصب السكر الذي يزرع كمحصول .

1.2 مصادر الطاقة الغير متجددة : Non renewable energy resources

1.2.1 الوقود المتحجر : Fossil fuels

يسمى الفحم ، النفط ، والغاز الطبيعي بالوقود المتحجر لأنها تتكون من بقايا النباتات والمخلوقات البحرية الدقيقة التي عاشت قبل ملايين السنين . الوقود المتحجر عبارة عن مصدر طاقة مركزة . يعتبر النفط بصفة خاصة طاقة مفيدة إذ يمكن إستخلاص وقود الديزل والبنزين والوقود النفاذ منه . وكذلك يمكن استخلاص مادة البلاستيك من خام النفط .

العيوب والمشاكل :

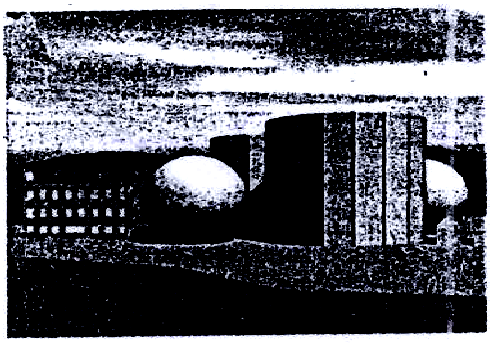
الطاقة التي يمكن مدها محدودة ، عندما يحرق الوقود يلوث نفايات الغاز الغلاف الجوي وبصفة خاصة غاز ثاني أكسيد الكربون الذي يعمل على رفع درجة حرارة الأرض .

1.2.2 الوقود النووي : Nuclear fuels

في الغالب يحتوي على اليورانيوم ، يخزن واحد كجم من الوقود النووي ما يخزنه 25 طن من الفحم .

المشاكل والعيوب :

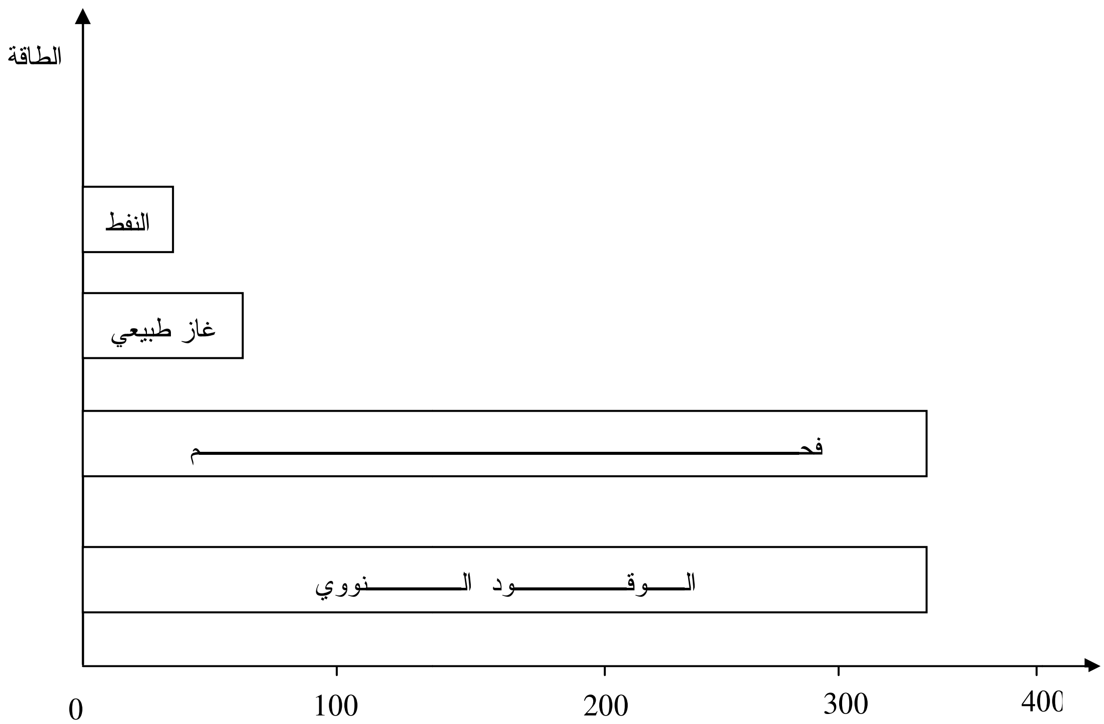
معايير سلامة عالية مطلوبة – نفايات الوقود خطيرة جداً وتظل نشطة لآلاف السنوات – تكلفة تشيد عالية ومكلفة عندما يراد انهاء عمل المنشئة في نهاية العمر الإفتراضي .



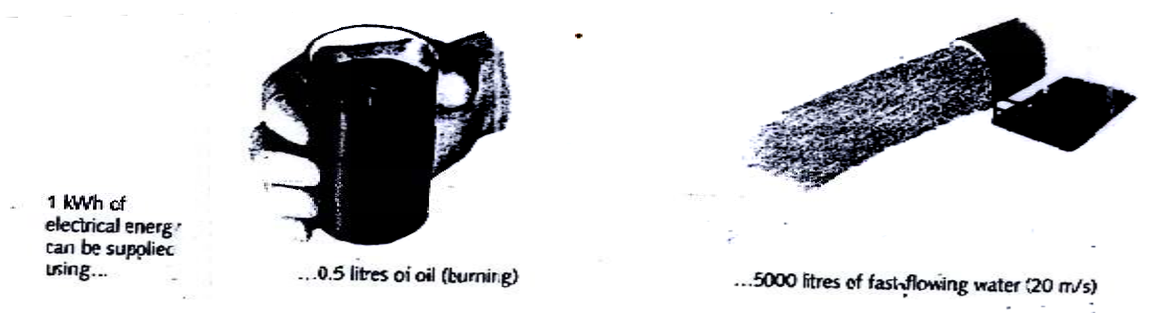
Nuclear energy
In a reactor, nuclear reactions release energy from the nuclei of uranium atoms. This heats water to make steam for driving generators.

في الشكل المفاعل تطلق طاقة من التفاعلات النووية لنواة ذرات اليورانيوم .

الحراة المتولدة تستخدم لتسخين الماء لعمل بخار لدفع المولدات .



الشكل اعلاه يوضح لكم تبقى مصادر الطاقة الغير متجددة المعروفة بمعدل الإستهلاك الحالي .



(ب)500 لتر من ماء منساب بسرعة عالية (20متر/ثانية)

(أ) 0.5 لتر من النفط (حرق)

يمكن توليد واحد كيلوواط بإستخدام ....

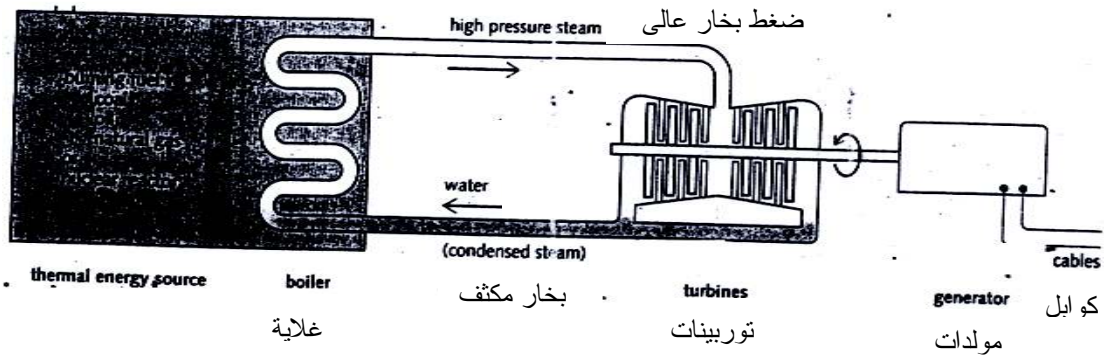
شكل يوضح مقارنة للطاقة المستمدة من مصدر متجدد وغير متجدد

1.2.3 محطات القدرة الحرارية : Thermal power stations

في معظم دول العالم تدار المولدات بواسطة التوربينات المدفوعة بضغط بخار عالي إذ يتم تسخين الماء في السخانات (الغلايات) لإنتاج البخار وتأتي الطاقة الحرارية من حرق الوقود (فحم ، نفط ، غاز طبيعي) أو من المفاعل النووي . الوقود النووي لا يتم إحراقه بل من الطاقة المحررة نتيجة للتفاعلات النووية التي تشطر ذرات اليورانيوم بمجرد أن يمر البخار من خلال التوربينات تبرد مرة أخرى لإمراره مرة أخرى إلى الغلايات . لبعض محطات القدرة أبراج ضخمة للتبريد مع إمرار تيارات هوائية خلال الأبراج وللبعض الآخر يتم التبريد عن طريق البحر أو النهر المجاور .

في محطات الدورة المتحدة لتوربينة الغاز تستخدم الغاز الطبيعي كوقود لمحرك نفاث ليدير عمود المحرك لمولد واحد . الغازات الساخنة المندفعة من المحرك النفاث تستخدم لعمل بخار لدفع مولد آخر مثل هذه الوحدات تكون صغيرة وتنتج قدرة أقل من الأنواع الكبيرة ولكن مثل هذه الوحدات يمكن إدارتها أو إيقافها بسرعة لذلك مثل هذه الآلات مفيدة عندما يكون طلب الحاجة للطاقة الكهربية متغير من وقت لآخر .

محطات القدرة الحرارية Thermal power stations

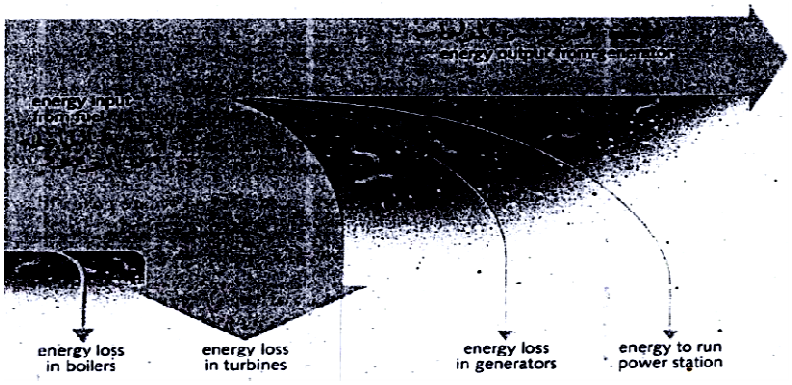


1.2.4 إنتشار الطاقة الحرارية : Energy spreading

تفقد محطات القدرة الحرارية طاقة أكثر من ما تعطي معظم الـــمفاقيد عبارة عن طاقة حرارية في ماء التبريد ونتيجة للغازات المفقودة الكفاءة على سبيل المثال لمحطة تعمل بالفحم المحروق حوالي 35% بمعنى آخر حوالي 35% فقط من طاقة الوقود تحول إلى طاقة كهربية علماً بأن الكفاءة =

$$= \frac{\text{القدرة المستفادة}}{\text{القدرة الداخلة}} = \frac{\text{الطاقة المستفادة}}{\text{الطاقة الداخلة}}$$

الشكل ادناه يوضح ماذا يحدث لبقية النسبة (65%)



الطاقة لتسير محطة القدرة	الطاقة المفقودة في المولدات	الطاقة الفقودة في التوربينات	القدرة المفقودة في الخلايات

يحاول المهندسون عمل محطات تعمل بكفاءة عالية بقدر الإمكان ولكن مع الأسف لا يمكن استخدام كل الطاقة الحرارية لإدارة المولدات .

الطاقة الحرارية عبارة عن جزيئات تتحرك حركة عشوائية (مثل تحرك الذرات والجزيئات) ولها طبيعة إنتشار عشوائي وبإنتشارها تصبح أقل نفعاً – على سبيل المثال الطاقة المركزة من وهج ساخن يمكن أن تستخدم لإدارة التوربينات ولكن نفس كمية الحرارة لو سمحت للإنتشار داخل وعاء ضخم من الماء فإنها يمكن رفع درجة الماء درجات قليلة ولكن هذا الماء الدافئ لا يمكن استخدامه كمصدر طاقة لإدارة التوربينة .

1.2.5 تفاعلات للطاقة : Reactions for energy

عندما يحرق الوقود فإنه يتحد مع الأكسجين في الهواء .

الطاقة المحررة لمعظم الوقود وتشمل الوقود المتتحجر في الأعماق . تنتج من المعادلة الكيميائية التالية :

وقود + اكسجين ← (حرق) ثاني أكسيد الكربون + ماء + طاقة حرارية

الطاقة المستخدمة — مفاقيد

وتوجد غازات أخرى على شكل مفاقيد على سبيل المثال عند حرق الفحم ينتج بعض من ثاني أكسيد الكبريت – عند حرق الغاز الطبيعي وهي عبارة عن غاز الميثان في الأساس يعتبر الأقل من حيث التلوث في محطات القدرة النووية فإن التفاعلات النووية لا تنتج غازات نفايات مفقودة ولكن مواد إشعاعية نشطة .

1.2.6 : مشكلات التلوث : Pollution problems

- حرق الوقود في محطات القدرة تضع غاز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي ويعمل غاز ثاني أكسيد الكربون كحاجز للطاقة الشمسية يؤدي إلى رفع درجة حرارة الأرض .
- ثاني أكسيد الكبريت الناتج من حرق الفحم عند محطات القدرة يسبب في الامطار الحمضية ويمكن هذا أن يتلف الاعمال الحجرية وأن يضر بالحياة البرية .
- نقل الوقود يمكن أن يؤدي إلى التسبب في التلوث من تسرب الوقود من الحاويات .
- الفضلات الإشعاعية من محطات القدرة النووية خطيرة جداً ويجب أن تحمل بعيداً لتخزينها في حاويات محكمة لسنوات وفي بعض الأحوال لآلاف السنين .
- الحوادث النووية قليل ولكن عندما تحدث يمكن أن ينتشر الإشعاع والغبار النووي لآلاف الكيومترات بواسطة الرياح

1.2.7 بدء القدرة : Power start – up

يختلف الطلب للطاقة الكهربية خلال اليوم . عندما يكون الحاجة لمزيد من القدرة الكهربائية فيجب إدخال مولدات إضافية وبسرعة إلى الشبكة .

يمكن أدخال المحطات الصغيرة للغاز المحروق بسرعة كبيرة إلى الشبكة وكذلك محطات المساقط المائية – المحطات الكبيرة للوقود المحروق تأخذ زمن دخول أكبر وتأخذ محطات القدرة النووية زمن أكبر من أي نوع آخر من المحطات . يمكن أن تأخذ محطة القدرة النووية عندما يكون المفاعل بارداً يومين للوصول للقدرة الكاملة .

1.2.8 إدخار الطاقة : Sawing energy

يسبب حرق الوقود المتحجر في عملية التلوث ، ولكن بدائل الطاقة الأخرى لها مشاكلها البيئية الخاصة بها لذلك يرى كثير من الناس بأن الحل يكمن في الأستخدام الأمثل للطاقة دون تفريض – الوسائل يمكن أن تستعمل في أستخدام مركبات النقل العامة والدراجات بدلاً من الإكثار في إستخدام السيارات الخاصة – عزل أفضل للمباني – انتاج بضائع وسلع تدوم طويلاً وإعادة المزيد من نفايات المواد إلى الدورة مرة أخرى .

أسئلة للمراجعة

السؤال الأول :

محطة القدرة	A فحم	B غاز دورة متحدة	C نووي	D رياح	E مسقط
قدرة الخرج ميقاواط	1800	600	1200	20	2000
الكفاءة طاقة كهربية/طاقة وقود	%35	%45	%20	–	–
تكاليف البناء لكل خرج ميقاواط	2	1	5	3	4
تكاليف الوقود لكل كيلوواط خرج	5	4	2	5	5
تلوث الغلاق الجوي لكل كيلوواط خرج	5	3	اقل من 1	5	5

1- المحطة رقم 2 لها كفاءة مقدارها 25% ماذا يعني ذلك ؟

2- أي محطة لها كفاءة عالية – ما هي المحاسن الأخرى لمثل هذه المحطات ؟

3- ما هي المحطة الأكثر تكلفة للبناء والتشيد .

4- أي المحطال له أعلى تكلفة لكل كيلوواط من قدرة الخرج ؟

5- ماهي المحطة التي تنتج أكثر تلوث للغلاف الجوي لكل كيلوواط . قدرة خرج – ماذا يمكن فعله لتقليل مشكلة التلوث ؟

6- لماذا يكون لمحطتين في الجدول المقنن صفر لتكاليف الوقود وتلوث الغلاف الجوي ؟

السؤال الثاني :

1- ما هو مصدر الطاقة في محطة قدرة تعمل بالمساقط المائية ؟

2- اذكر أربعة أنواع من الوقود تستخدم في محطات القدرة الحرارية ؟

3- في محطات القدرة الحرارية :

(i) في ماذا يستخدم البخار ؟

(ii) ما هو القرض من ابراج التبريد ؟

(iii) ماذا يقصد بمصادر الطاقة المتجددة والغير متجددة ؟

(iv) اشرح لماذا تحرق معظم الطاقة الغير متجددة ؟

السؤال الثالث :

الجدول أدنا يحتوي على بيانات حول قدرة الدخل والمفاقيد لمحطتين قدرة أ ، ب

	محطـــــــة القـــــــــــدرة	
	أ فحم	ب نووي
قدرة الدخل من الوقود بالميقاواط	5600	5600
مفاقيد القدرة بالميقاواط		
– في المفاعل / الغلايات	600	200
– في التوربينات	2900	3800
– في المولدات	40	40
القدرة بالميقاواط لادارة المحطة	60	60
قدرة الخرج الكهربائي بالميقاواط	؟	؟

(أ) أي المحطتين تنتج طاقة أعلى ؟

(ب) في أي صورة تنفقد الطاقة المهدرة ؟

(ج) ماهي قدرة الخرج الكهربائية لكل محطة ؟

(د) احسب الكفاءة لكل محطة ؟

السؤال الرابع :

أكمل الجدول ادناه معطياً أمثلة لبعض الوقود واستخدامها :

الوصف	مثال	الاستخدام
وقود غازي	الهيدروجين	وقود للصواريخ
وقود سائل	ـــــ	ـــــ
وقود صلب	ـــــ	ـــــ
وقود متجدد	ـــــ	ـــــ
وقود غير متجدد	ـــــ	ـــــ

السؤال الخامس :

الطاقة الكيميائية المختزنة في الوقود المتحجر يولد طاقة حرارية عندما يحرق الوقود . وضح كيف أن الطاقة الحرارية ومن ثم تستخدم لتوليد طاقة كهربية في محطات القدرة ؟

الباب الثاني

التوليد Generation

2.1 مميزات التيار المتردد :

للتيار المتردد AC عيوب قليلة بالمقارنة إلى التيار المباشر (المستمر) DC . للمميزات العديدة للتيار نجد أن كل المصادر اليوم عبارة عن مصادر تيار متردد . المميزات الرئيسية للتيار المتردد بالمقارنة إلى التيار المباشر كما يلي :

1- مكونات مولدات ومحركات التيار المتردد عامة متينة وبسيطة التركيب بالمقارنة إلى آليات التيار المباشر ، وبالأضافة إلى ذلك فإن نسبة القدرة إلى الوزن لآليات التيار المتردد عادة أعلى من آليات التيار المباشر .

2- يمكن رفع وخفض جهد التيار المتردد بكفاءة تقارب 100% بإستخدام محولات ساكنة . يمكن رفع جهد المصد إلى قيم عالية جداً لنقل القدرة عند ذلك يتم تقليل شدة التيار وبذلك حصر المفاقير عند أقل قيمة .

3- يمكن الحصول على أي جهد تيار مباشر بدوائر بسيطة عالية الكفاءة تسمى دوائر التقويم .

2.2 عيوب مولدات التيار المتردد طور واحد بالمقارنة إلى ثلاثي الاطوار :

1- القدرة المتوسطة التي تصل إلى الحمل في ذبذبة كاملة لموجة تيار متردد طور واحد تساوي فقط نصف القدرة القصوى وبذلك يجب أن تكون للآلة المديرة المقدرة في توليد على الأقل ضعف القدرة المتوسطة المطلوبة للحمل .

2- التغير في القدرة من الصفر إلى القيمة العظمى يعطي تغير مستمر في العزم المضاد لعمود الإدارة مسبباً ضغوطات ميكانيكية كبيرة . لذلك يكون من الضروري إستخدام طارة حدافة كبيرة للحصول على سرعة دوران ناعمة .

3- للتغير الكبير في قدرة الخرج تأثير على كفاءة وأحجام المحركات الموصلة للمولد .

4- لابد أن تكون للمحركات الحثية طور واحد ملفات بدء .

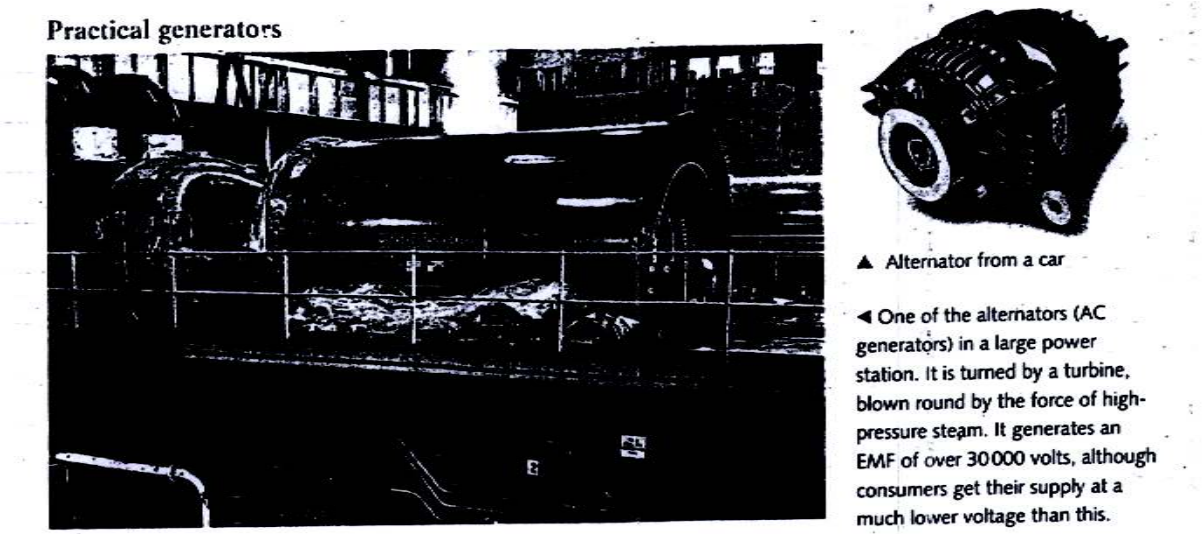
5- تحتاج إلى دوائر ترشيح وتنعيم مكثفة في دوائر التقويم .

2.3 مولدات التيار المتردد ثلاثي الاطوار :

يمكن التغلب على عيوب مولد التيار المتردد طور واحد بإستخدام مولدات تيار متردد ثلاثي الأطوار .

بصرف النظر عن حجم المولدات فإن كل المولدات تعمل بنفس المبدأ الأساسي – مجال مغناطيسي يدور حول موصلات أو موصلات تدور داخل مجال مغنطيسي ، على ذلك توجد مجموعتان من الملفات المجموعة الأولى من الملفات تُولد فيها خرج القوة الدافعة الكهربية والمجموعة الثانية مجموعة الموصلات التي تمر فيها تيار مباشر للحصول على مجال مغناطيسي ثابت الإتجاه ، الملفات التى تتولد فيها خرج القوة الدافعة الكهربية تسمى ملفات المنتج والملفات التي تنشئ المجال الكهرمغناطيسي تسمي ملفات المجال .

مولدات عملية Practical generators



الشكل السابق يوضح أحجام مختلفة من مولدات تيار متردد ثلاثي الأطوار على يمين الرسمة مولد للسيارات ثلاثي الأطوار صغير الحجم وعلى يسار الرسم مولد ضخم في محطة توليد تدار بتوربينات تدفع بقوة هائلة من البخار . يولد هذا المولد قوة دافعة كهربية تزيد عن 30000 فولت بالرغم من أن المستهلك يستعمل جهد يقل هذا الرقم بكثير . مولد السيارة يولد قوة دافعة كهربية لا تتعدى 14 فولت أو 28 فولت .

2.4 أنواع مولدات التيار المتردد ثلاثي الاطوار :

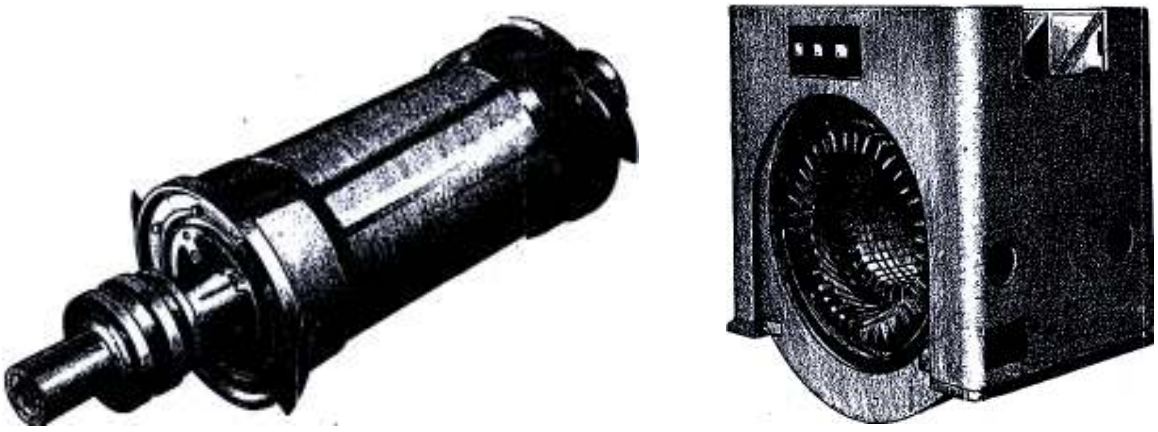
1- مولدات المنتج الدائر :

تشبه هذا النوع من المولدات في التركيب مولدات التيار المباشر في أن المنتج يدور داخل مجال مغناطيسي ساكن وتؤخذ القوةالدافعة الكهربية المتولدة من خلال حلقات انزلاق وفرش إلى الاحجام الخارجية ، تصمم هذا النوع من المولدات لقدرات منخفضة (أقل من 10 كيلوفولت . أمبير) للصعوبات التالية :

1- لمحدودة السرعة بسبب قوى الطرد المركزية المبذولة والمسلطة على ملفات المنتج .
2- عندما تكون الجهود مرتفعة يصعب الحصول على قوة عزل فعالة لمفات المنتج .
3- صعوبة الحصول على تهوية فعالة وهذا يحدد مقدرة حمل التيار .
4- مفاقير حلقات الانزلاق كبيرة إذا كانت شدة التيار كبيراً .
5- بسبب الضرورة لعمل عزل جيد لملفات المنتج وإتخاذ تدابير لمنع قذف الملفات خارج مجاريها بواسطة قوة الطرد المركزية تكون أحجام الآلة كبيراً تبعاً لذلك فإن نسبة القدرة إلى الوزن تكون منخفضة نسبياً .

2- مولدات المجال الدائر :

يستخدم هذا النوع على نطاق واسع . يجعل المنتج في العضو الساكن والمجال يدور داخله ، يمكن التغلب على الصعوبات المذكورة في النوع الأول . في هذا النوع الأول تكون الحاجة لحلقتين إنزلاق بدلاً من ثلاثة في النوع الأول . ويمر شدة تيار مباشر صغير خلال الحلقتين لتغذية ملف المجال بجهد محدود وصغير نسبياً مما يؤدي إلى تقليل الفقد في حلقات الإنزلاق ويتوفر مساحة أكبر لملفات المنتج في العضو الساكن مما يساعد على إضافة المزيد من العزل لتوليد جهود عالية بالإضافة إلى ذلك يمكن عمل عضو دائر بسيط ومتين يدور بسرعات عالية للحصول على خرج أكبر من الآلة .



العضو الساكن (A) STATOR **العضو الدائر (B) ROTOR**

الشكل 2.4 يوضح مولد من هذا النوع يدور بسرعة عالية

High-speed turbine-driven a-c generator

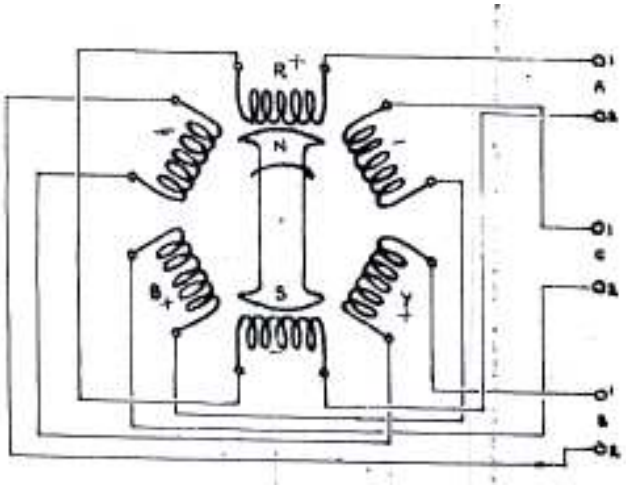
2.5 تقنين المولدات :

يرتبط تقنين المولدات بالحمل الذي يمكن للمولد مده . في العادة تقنين الحمل هو الذي يمكن للمولد حمله بإستمرار ، أذن يتحدد تقنين المولد بالحراة الداخلية التي يمكن أن يتحمله المولد وحيث أن الحرارة يتكون أساساً نتيجة لمرور التيار لذلك تقنن المولدات بدلالة جهد الخرج وتيار المنتج (بالفولت . أمبير VA) (أو بالكيلوفولت . أمبير KVA) أو (بالميقا فولت . أمبير MVA) ويكون عادة مقتنن معامل القدرة للمولد .08 تخلف على سبيل المثال إذا كان لمولد معين المقنن 100 كيلوواط عند معامل قدرة تساوي الوحدة وتعطي 8 كيلوواط عند معام ل قدرة تساوي 0.8

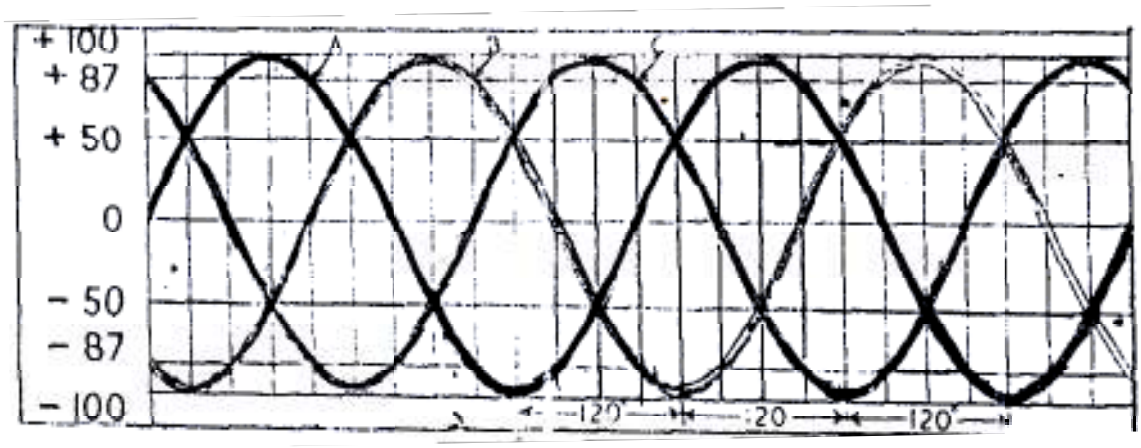
2.6 طريقة عمل المولد :

شكل 2.6 يوضح مولد ثلاثي الأطوار به قطبان يدوران في إتجاه عقارب الساعة . تزاح ملفات المنتج الثاثة R ، Y ، B ، 120 ° كهربية . عندما تكون الملفات تحت تأثير القطب المغناطيسي الشمالي (N) فإن قوة دافعة كهربية تأثيرية عظمى موجبة تستحدث في الطور A ، عندما يدور العضو الدائر 60 ° إلى الأمام فإن ق.د.ك تأثيرية عظمى سالبة تتولد في الطور C . وعندما يدور العضو الدائرة 60 ° أخرى إلى الأمام يكون الملف Y تحت القطب الشمالي فتتكون قوة دافعة كهربية عظمى موجبة مستحدثة في الطور B زهكذا فإن الطور A يصل قيمة الجهد الموجبة العظمى قبل الطور B بزاوية كهربية مقدارها 120 ° . وبالمثل طور A يصل إلى القيمة العظمى قبل الطور C بزاوية كهربية مقدارها 240 ° كما في شكل 2.6 أ يتوافر الآن ثلاثة مصادر كل مصدر عبارة عن مصدر قدرة طور واحد وهذا يتطلب ستة اسلاك توصيل . وشكل 2.6 ب يوضح الموجات الثلاثة من مولد ثلاثي الأطوار

مولد ثلاثي الأطوار The three-phase alternator



طريقة عمل مولد تيار متردد ثلاثي الأطوار CURVE OF INDUCED E.M.F – 3PHASE



AS THERE ARE THREE WINDINCS SPACED 120 APART, WILL BE THREE E.M.F CURVES SIMILARLY SPACED.

NOTE THAT THE SUM OF E.M.F.s IN THE THREE PHASES IS ALWAYS ZERO.

شكل 2.6 ب أشكال الموجات من الأطوار C,B,A

لاحظ أن محصلة القوة الدافعة الكهربية في أي لحظة للثلاثة أطوار يساوي صفراً .

2.7 طريقة توصيل أطراف المولد :

يمكن توصيل الأطراف الستة للمولد (أو المحرك أو المحول) بصفة عامة بواحدة من طريقتين :

أولاً : طريقة توصيلة النجمة :

في هذه الطريقة توصل بدايات أو نهايات ملفات الإطوار الثلاثة مع بعضها والأطراف الثلاثة المتبقية توصل إلى الخطوط الخارجية ، تبعاً لذلك يكون تيار الخط = تيار الطور (الملف) .

أي ت خط = ت طور

فرق الجهد بين خطين يعادل التوصيل بين طورين (ملفين) لذلك يكون فرق الجهد بين خطين يساوي فرق الجهد بين طورين بينهما إزاحة طور مقدارها 120 ْ .

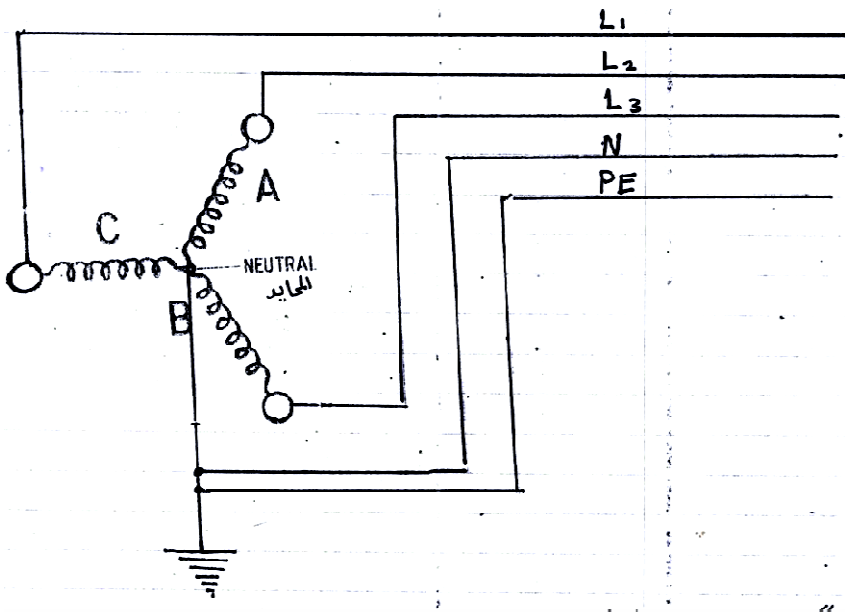
∴ جهد الخط = $\sqrt{3}$ × جهد الطور

$\overrightarrow{\text{خط}} = 1.732 \times \overrightarrow{\text{طور}}$

في الغالب توصل نقطة النجمة في محطات القدرة الكهربائية إلى الأرض ، عندما تكون الأحمال غير متزنة (غير متساوية) على الخطوط الثلاثة ، يؤخذ سلك رابع من نقطة النجمة لحمل التيارات فوق

الإتزان توصل الاحمال الآحادية الطور بين أي خط من الخطوط الثلاثة وخط المحايد كخط مشترك للأحمال والمحايد يحافظ Neutral على تساوي الجهود بين الاحمال ولا يمر تيار خلال المحايد إذا كانت الأحمال متزية (متساوية القدرة) بين الخطوط الثلاثة .

في واحدة من نظم التأريض (Earthling) يؤخذ سلك آخر منفصل عن سلك المحايد من نقطة النجمة الموصلة إلى أرضي جيد ويستعمل كنظام أرضي (نظام PE) عندما يوصل الحمل بين أي خط وخط المحايد فإن الجهد الموصل بين طرفي الحمل يساوي جهد الطور وعندما يوصل حمل بين خطين فإن الجهد الموصل بين طرفي الحمل يسمى جهد الخط .



ثانياً : طريقة توصيلة الدلتا :

في هذه التوصيلة يوصل كل طور مباشرة إلى خطين ولذلك يكون :

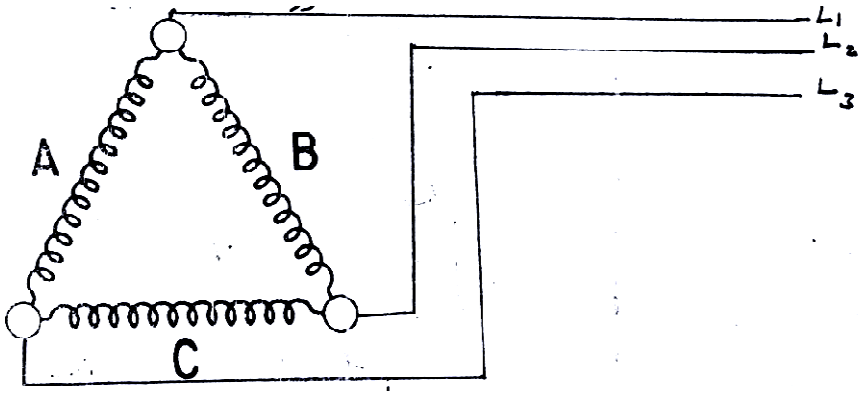
جهد الخط = جهد الطور

$\overrightarrow{\text{خط}} = \overrightarrow{\text{طور}}$

يوصل كل خط إلى طورين ولذلك يكون تيار الخط مساوياً للفرق بين تيارات طورين والتي تكون مزاحة 120°

تيار الخط = $\sqrt{3}$ × تيار الطور

ت خط = 1.732 × ت طور



2.8 القدرة المأخوذة من مولد يغذي حمل متزن :

القدرة الكلية لكل طور = $\vec{ط}$ طور × $ت$ طور × جتاϕ واط

حيث أن $\vec{ط}$ طور = قيمة الجهد (r . m . s) بين طرفي طور .

$ت$ طور = قيمة شدة التيار (r . m . s) خلال كل طور .

جتاϕ واط = معامل القدرة .

القدرة الكلية لثلاثة أطوار = 3 $\vec{ط}$ طور × $ت$ طور × جتاϕ ← واط ①

بفرض أن $ت$ خط ، $\vec{ط}$ خط القيمة المؤثرة (r.m.s) لتيار وجهد الطور على التوالي لنظام توصيلة النجمة .

∴ $\vec{ط}$ طور = $\frac{\vec{ط}\text{ خط}}{\sqrt{3}}$ ، $ت$ طور = $ت$ خط بالتعويض في المعادلة ①

∴ القدرة الكلية = 3 × $\frac{\vec{ط}\text{ خط}}{\sqrt{3}}$ × ت ل جتاϕ = $\sqrt{3}$ × $\vec{ط}$ خط × $ت$ خط × جتاϕ واط

لتوصيلة الدلتا $\vec{ط}$ خط = $\vec{ط}$ طور ∴ $ت$ طور = $\frac{ت\text{ خط}}{\sqrt{3}}$ بالتعويض في ①

القدرة الكلية = 3 × $\vec{ط}$ خط × $\frac{ت\text{ خط}}{\sqrt{3}}$ جتاϕ = $\sqrt{3}$ × $\vec{ط}$ خط × $ت$ خط × جتاϕ واط

يلاحظ أن القدرة الكلية لمولد ثلاثي الأطوار تتساوى في الحالتين توصيلة النجمة والدلتا ويسمى المقدار $\sqrt{3}$ $\vec{ط}$ خط × $ت$ خط × جتاϕ واط بالقدرة الحقيقة

∴ = القدرة الحقيقة = القدرة الطاهرة × معامل القدرة

مثال (1) :

مولد تيار متردد ثلاثي الأطوار ملفاته موصلة بنجمة يعطي تيار حمل كامل مقداره 300 أمبير عند جهد خط 400 فولت ومعامل قدرة 0.8 تخلف جد :

(أ) جهد الطور = $\frac{\text{جهد الخط}}{\sqrt{3}}$ = $\frac{400}{\sqrt{3}}$ = 230 فولت .

(ب) تيار الطور = تيار الخط = 300 أمبير .

(جـ) القدرة الظاهرة = $\sqrt{3}$ × 400 × 300 = 207840 فولت . أمبير .

= 207.84 كيلوفوات.أمبير .

(د) القدرة الحقيقة = القدرة الظاهرة × معامل القدرة

= 207.84 × 0.8 = 166.272 كيلو واط .

مثال (2) :

مولد تيار متردد ثلاثي الأطوار ملفاته موصلة دلتا يعطي تيار حمل كامل مقداره 200 أمبير عند جهد خط 400 فولت ومعامل قدرة 0.8 تخلف جد :

(أ) جهد الطور ؟

(ب) تيار الطور ؟

(جـ) القدرة الظاهرة ؟

(د) القدرة الحقيقة ؟

الحل :

(أ) جهد الطور = جهد الخط = 400 فولت .

(ب) تيار الخط = $\sqrt{3}$ × تيار الطور = 1.732 × 200 = 346.4 أمبير .

(جـ) القدرة الظاهرة = $\sqrt{3}$ × خط → × خط ت = 1.732 × 400 × 346.4 فولت.أمبير

= $\frac{346.4 \times 400 \times 1.732}{1000}$ كيلوفولت . أمبير

(د) القدرة الحقيقة = القدرة الظاهرة × معامل القدرة

= $\frac{0.8 \times 346.4 \times 400 \times 1.732}{1000}$ كيلوواط

2.9 ضبط الجهد والتردد للمولد :

عملياً يتم ضبط جهد الخرج للمولد بتغير جهد التيار المباشر المغذية لملفات الإثارة . يمكن ضبط جهد خرج المولد بتغير سرعة الآلة المديرة ولكن هذه الطريقة تغير التردد أيضاً والذي يجب أن يحفظ ثابتاً .

إنتظام الجهد لمولد تيار متردد هو التغير في الجهد للحمل الكامل إلى جهد اللاحمل .

إنتظام الجهد % = $\frac{\text{جهد لاحمل} - \text{جهد حمل كامل}}{\text{جهد حمل كامل}}$ × 100 على سبيل المثال إذا كان جهد المولد عند اللاحمل 250 فولت وجهد الحمل الكامل 220 فولت .

∴ انتقام الجهد % = $\frac{250 - 220}{220}$ × 100 = 13.6%

تعتمد قيمة التردد لمولد على عدد أزواج الأقطاب وعلى سرعة المولد (د = ز × ن) حيث أن ز : عدد أزواج الأقطاب ، ن : سرعة دوران المولد باللفات في الثانية ، د التردد بالهيرتز .
عملياً يتم ضبط تردد المولد بضبط السرعة اذ أن عدد أزواج الاقطاب ثابتة من المصنع .

2.10 توصيل المولدات على التوازي :

توصل المولدات على التوازي للأغراض التالية :

(1) زيادة سعة المحطة فوق قدرة الوحدة العاملة .
(2) تعمل المولدات المضافة كقدرة احتياطية لطلبات متوقعة .
(3) عندما يتعطل المولد الرئيسى يدخل الاحتياطي بدون أن تتأثر الوحدة بالقطع الكلي .

عندما تكون المولدات المضافة بأحجام كافية وتعمل بجهود وترددات غير متساوية لقيم المولد الرئيسي أو للقضبان الحاملة (البسبار) فإن المولدات المضافة فجأة سوف يؤدي إلى تلف النظام ولتجنب ذلك فإنه يجب تزامن المولدات الداخلة بقدر الإمكان قريباً من قيم الشبكة الرئيسية وذلك قبل إدخال هذه المولدات إلى الشبكة ويتم إكمال عملية التزامن إذا ما توفر الشروط التالية :

1- تطابق جهود الأطراف : يمكن الحصول على ذلك بضبط تيار الإثارة (DC) للمولد المضاف .
2- تطابق التردد : ويمكن الحصول على ذلك بضبط سرعة الآلة المديرة للمولد الداخل .
3- يجب أن تكون متطابقة في الطور : بمعنى وأن كان للمولدين ترددين متساويين فإنه يمكن تردد إحدهما متقدماً أو متأخراً عن الآخر .
4- يجب أن تكون الأطوار متعاقبة – على سبيل المثال إذا وصل زوج من الأطوار بطريقة صحيحة وزوجين آخرين لطريقة غير صحيحة .. في هذه الحالة فإن تعاقب إحدى المولدات سوف يكون ACB والآخر ABC .

يمكن تحقيق الشروط السابقة بالطريقة التالية :

يمكن التأكد من قيم الجهود بواسطة جهاز الفولتميتر أما بقية الشروط – تساوي التردد ، علاقة الطور ، تعاقب الطور تتم إما بطريقة لمبات التزامن أو جهاز السنكرواسكوب .

توجد عدة طرق لتوصيل لمبات التزامن ولكن طريقة لمبتين مضاءة ولمبة مظلمة هي أكثر الطرق فعالية . طريقة لمبتين مضاءة ولمبة مظلمة موضحة في شكل 2.10

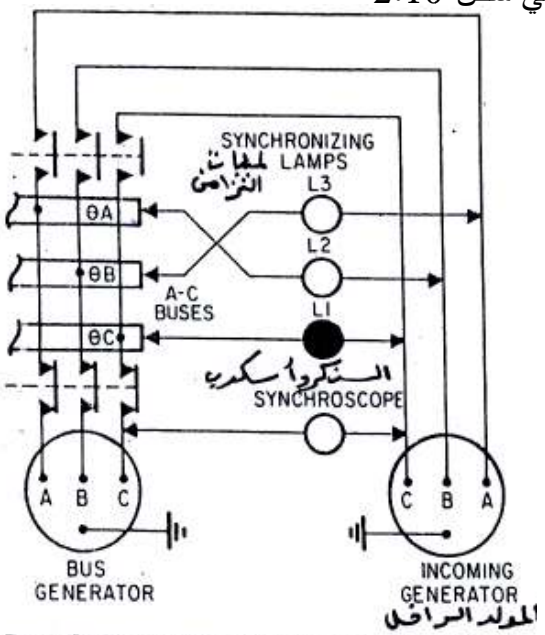
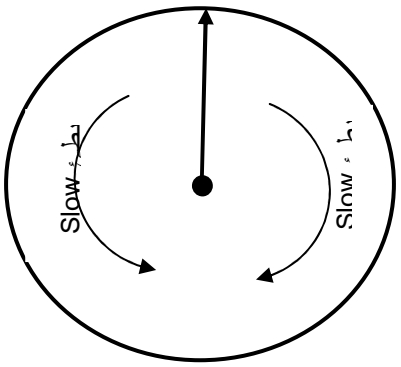


Figure 13-16.–Synchronizing lamp connection for TWO-BRIGHT ONE-DARK method.

لاحظ أن اللمبات موصلة مباشرة بين أطراف المولد الداخل وأطراف البسبار في هذا النظام يمكن تزامن المصدرين قبل قفل الكنتاكتر متى ما تم تحقيق ذلك يكون المولدين على التوازي وتضئ اللمبة L_2 واللمبة L_3 بأقصى إضاءة واللمبة L1 تكون مظلمة .

بفرض أن المولد الداخل إلى الشبكة غير متزامن – متخلف مثلاً – فإن اللمبات الثلاثة تتوهج بثبات لأن تردد الجهد بين اللمبات يكون متخلفاً . اذا ما تم تعجيل المولد الداخل للحاق بالمولد الآخر فإن الفرق في التردد سوف يقل وتظهر ومضات الإضاءة بوضوح ويكون الومضات بالتعاقب سوف تكون اللمبة L1 مظلمة عند نقطة التزامن لانها موصلة بين طورين متشابهين – اللمبة L2 واللمبة L3 تكون مضادة بنفس الاضاءة لأن جهد الطور بين اللمبتين مزاحة بزاوية طور 120 ° تستخدم جهاز السنكرواسكوب للضبط الدقيق لتردد المولد الداخل . السكنرواسكوب جهاز حساس يستخدم للكشف عن الفرق بين الترددات .

يدور مؤشر الجهاز في حركة حرة دورة كاملة 360 ° في إتجاه عقارب الساعة أو عكس إتجاه الساعة مشيراً بأن المولد الداخل يدور بسرعة أعلى أو أقل . التزامن الصحيح عندما يكون المؤشر رأسياً عند وضع الساعة الثانية عشر .



الباب الثالث

المحولات ثلاثية الأطوار

تنمو القدرة الكهربائية في بعض الأحيان خلال دوائر ثلاثية الأطوار تشتمل على محولات توصل الملفات الإبتدائية والثانوية لهذه المحولات بتشكيلات مختلفة من توصيلة النجمة والدلتا وتوجد اربعة إحتمالات لكيفية التوصيل :

1- الملف الابتدائي دلتا والثانوي دلتا .

2- الملف الابتدائي نجمة والثانوي نجمة .

3- الملف الابتدائي نجمة والثانوي دلتا .

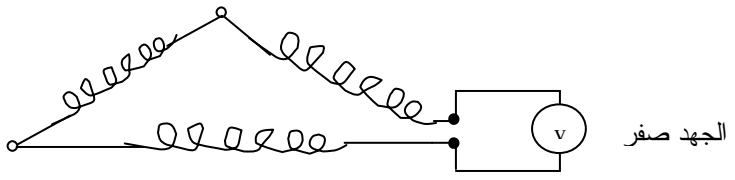
4- الملف الابتدائي دلتا والثانوي نجمة .

علاقة الجهود والتيارات كما وضح في توصيله ملفات المولد تبقى كما هي في المحولات وكما ذكر سابقاً في محولات الطور الواحد ، فإن المحول ينقل الطاقة الكهربية بدون تعبير في التردد ، ولكن عادة بتغيير في قيمة الجهد والتيار . المحول الرافع يستقبل الطاقة الكهربية عند جهد معين ويسلم نفس الطاقة أو أقل قليلاً بجهد أعلى وتيار أقل بنفس نسبة زيادة الجهد والعكس فإن المحول الخافض يستقبل الطاقة عند جهد معين ويسلم نفس الطاقة أو أقل قليلاً بجهد أقل وتيار أعلى من المستقبل .

$$= \frac{\text{جطور ابتدائي}}{\text{جطور ثانوي}} = \frac{\text{تطور ثانوي}}{\text{تطور ابتدائ}} = \frac{\text{عدد الملفات الإبتدائية}}{\text{عدد الملفات الثانوى}}$$

عند توصيل ملفات المحول يجب ملاحظة أن توصيلة النجمة والدلتا تمت بالقطبية الصحيحة . إذا عكست توصلية أي ملف من الملفات الثلاثة بالنسبة للملفين الآخرين فإن الجهد الكلي خلال توصيلة الدلتا سوف تساوي ضعف قيمة الجهد لطور واحد وإذا قفلت الأطراف في نفسها فأن شدة التيار سوف تكون قيمة تيار قصر مسبباً في تلف ملفات وقلوب المحول . توصيلة الدلتا يجب أن لا تقفل حتى يتم إجراء الاختبار أولاً لتحديد أن قيمة التيار داخل توصيلات ملفات الدلتا يساوي صفراً أو تقريباً صفراً .

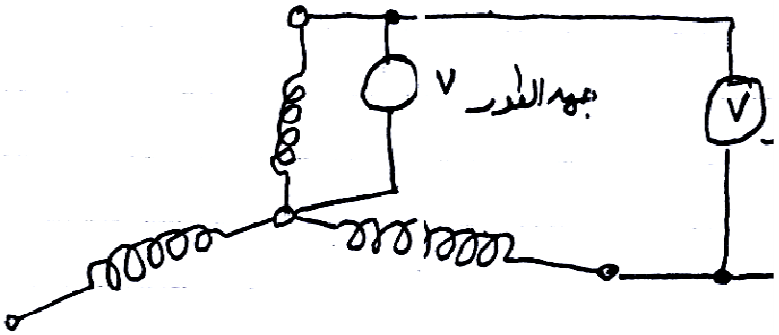
ويمكن إكمال الأختبار الأختبار إما بواسطة الفولتميتر ، أو سلك فيوز ، أو لمبة بيان .



كما موضح في الشكل أعلاه عند القطبية الصحيحة فإن قيمة قراءة الفولتميتر يجب أن تساوي تقريباً صفر فولت .

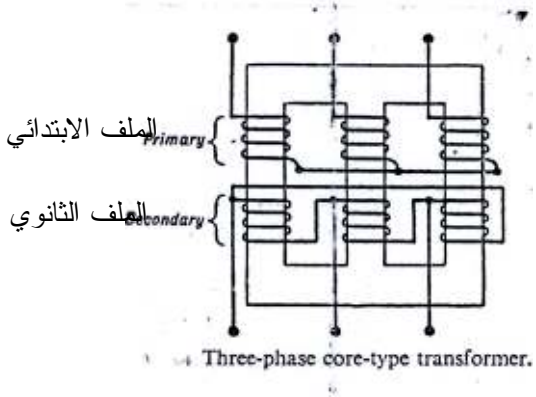
إذا وصل محول ما إلى مصدر تيار متردد ووصل الملف الثانوي توصيلة دلتا بالقطبية الصحيحة ووصلت إلى حمل ثلاثي الأطوار متزن فإن تيار الخط سوف يساوي $\sqrt{3}$ مرة تيار الطور فإذا كان تيار الطور (الملف) 100 أمبير فإن تيار الخط سوف يكون $100 \times \sqrt{3} = 173$ أمبير وإذا كان جهد الطور 240فولت فإن جهد الخط سوف يكون 240 فولت أيضاً .

إذا وصلت ملفات الملف الثانوي توصيلة نجمة لوفع جهد الخرج وكانت الأطراف بقطبية صحيحة فإن قراءة الفولتميتر بين طرف خطين سوف تساوي $\sqrt{3}$ × جهد الطور . إذا عكست توصيلة أي ملف فإن الجهود بين الخطوط الثلاثة سوف تكون غير متزنة وسوف لا يصل إلى الحمل الجهد والتيار المناسب بالإضافة إلى ذلك فإن زاوية الطور بين تيارات الخط سوف تتغير وسوف لا تساوي 120 ° لكل طور من الآخر . لذلك من المهم التوصيل الصحيح للحصول على جهد وتيار متناسق .



جهد الخط = $\sqrt{3}$ × جهد الطور

عادة تتكون المحولات الكبيرة الحديثة من قلب ثلاثي الأطوار كما موضح في الشكل ادناه . توصل التوائم الثلاثة المتشابه إلى الهيكلين الأدني والأعلى ، كل قائم يحتوي على ملف ابتدائي وملف ثانوي .



قلب ثلاثي الاطوار

مثال :

يحتوي محول ثلاثي الأطوار على 420 لفه ف الملف الابتدائي و36 لفة في الملف الثانوي إذا كان جهد المصدر 3300 فولت . أحسب جهد خط الملف الثانوي عند اللاحمل عند توصل الملفات :

(أ) نجمة دلتا ؟ (ب) دلتا – نجمة ؟

الحل :

(أ) جهد الطور للملف الابتدائي = $\frac{3300}{\sqrt{3}}$ = 1908 فولت

جهد الطور للملف الثانوي = 1908 × $\frac{36}{420}$ = 163.5 فولت

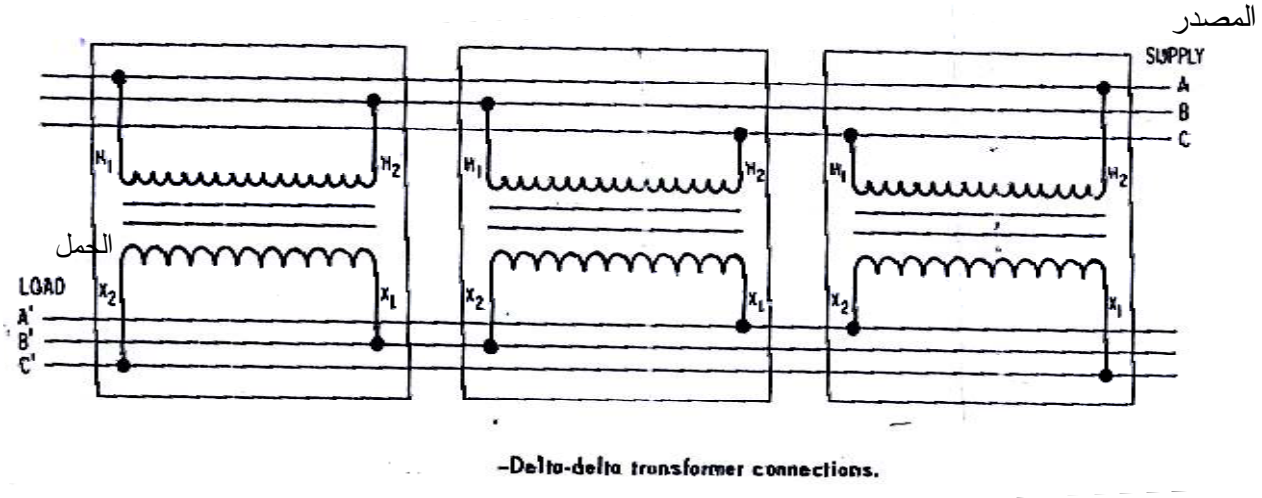
= جهد الخط للملف الثانوي = 163.5 فولت .

(ب) جهد الطور للملف الابتدائي = 3300 فولت

جهد الطور للملف الثانوي = 3300 × $\frac{36}{420}$ = 283فولت

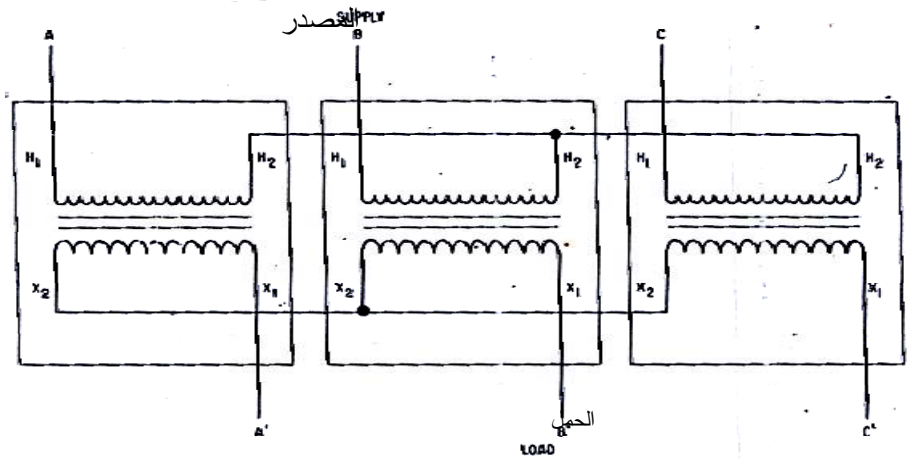
جهد الخط للملف الثانوي = 283 × 1.73 = 490 فولت

يمكن توصيل ثلاثة محولات طور واحد متشابة كمحول ثلاثي الأطوار بتشكيلا مختلفة من توصيلة النجمة والدلتا كما هو موضح في الأشكال التالية :



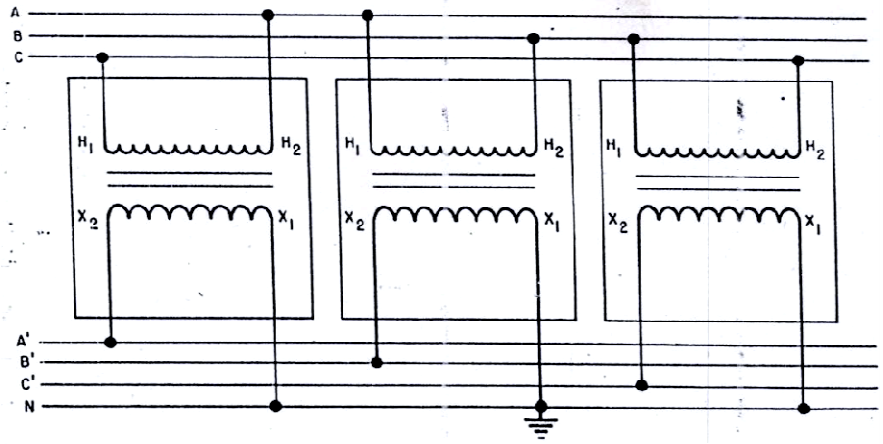
–Delta-delta transformer connections.

توصيل دلتا – دلتا



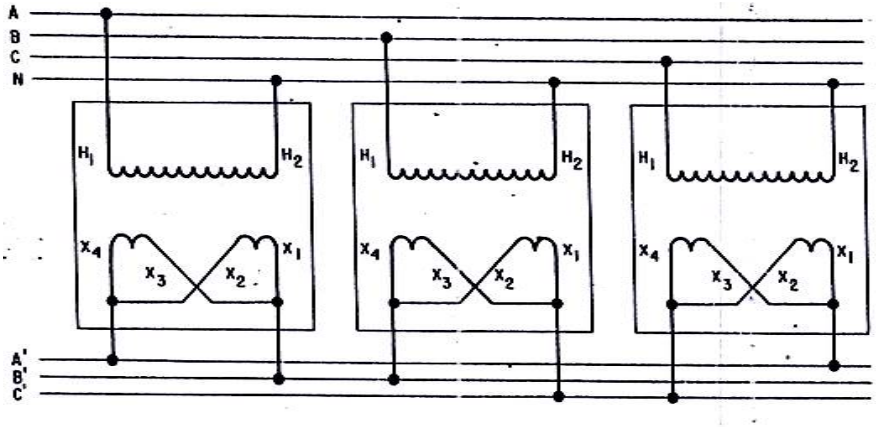
–Wye-wye transformer connections.

توصيل نجمة – نجمة



–Delta-wye transformer connections.

توصيل دلتا – نجمة



–Wye-delta transformer connections.

توصيل نجمة – دلتا

أسئلة للمراجعة

اختار الإجابة الصحيحة من الإجابات أ ، ب ، ج ، د :

1- منتج التيار المتردد هو دائما :

(أ) الجزء الذي يدور في المولد .

(ب) الجزء الساكن في المولد .

(ج) الملفات التي تولد القوه الدافعة الكهربئية .

(د) الملفات التي تمرر خلالها تيارا إنارة من تيار مباشر Dc

2- عندما يوصل مولد تيار متردد ثلاثي الأطوار لتشغيله دلتا فان جهد قفلت الدلتا يجب أن يكون :

(أ) جهد الخط . (ب) جهد الطور .

(ج) تقريبا صفر . (د) أقل من جهد الطور.

3- عندما يكون ثانوي المحول غير محمل فإن التيار في الملف الإبتدائى :

(أ) صفر . (ب) يحدد فقط بمقاومة الملف الإبتدائي

(ج) يحدد فقط القوة الدافعة الكهربية العكسية للملف الثانوي .

(د) يحدد فقط بالقوة الدافعة الكهربية العكسية للملف الإبتدائي .

4- التردد لمولد تيار متردد يعتمد على :

(أ) عدد الأقطاب والأطوار. (ب) سرعة العضو الدوار والأطوار.

(ج) عدد الأقطاب وسرعة الالة المديرة . (د) عدد الأقطاب وسرعة العضو الدوار.

5- يحدد تقنين الحمل لمولد تيار متردد بالاتي :

(أ) الحرارة الداخلية التي يمكن تحمله . (ب) الحمل الذي يمكن حمله باستمرار .

(ج) الحمل الذي يمكن للمولد مده (د) تعدي الحمل الذي يمكن حمله في زمن محدد.

6- يضبط جهد الخرج لمولد تيار متردد عن طريق :-

(أ) تنظيم سرعة الالة المديرة . (ب) تغير جهد الإثارة .

(ج) تغير محاثة الفجوة الهوائية . (د) قصر ملفات المنتج.

7- السب الأساسي لتوصيل المحول نجمه – نجمه هو :

(أ) لمضاعفة جهد الدخل (ب) لمضاعفة تيار

(ج) لعكس التردد .

(د) لتقليل مفاقير الخط برفع الجهد وتقليل التيار في الخط .

8- القرض من مولد التيار المباشر هو لإثارة :

(أ) منتج التيار المتردد . (ب) مجال التيار المتردد .

(ج) منتج تيار مباشر . (د) مجال التيار المباشر والمتردد .

9- تستخدم توصيلة النجمة في مولد تيار متردد لإنتاج :

(أ) تيار عالي وجهد منخفض . (ب) تيار منخفض وجهد عالي .

(ج) تيار منخفض وجهد منخفض . (د) تيار عالي وجهد عالي .

10- يؤخذ الخرج 00000 لمولد تيار متردد به مجال دائر من :

(أ) حلقات انزلاق وفرش . (ب) قضبان الموحد وفرش .

(ج) أطراف ثابتة . (د) لا واحدة من أ، ب، ج.

11- جهد نقاط القفلة للملف الثانوي موصل دلتا هو :

(أ) صفر فولت (ب) جهد الطور (ج) جهد الخط (د) جهد الخط x 3

12- يستخدم مولد تيار متردد بمجال دائر على نطاق واسع لسبب :

(أ) لقلة تيار المنتج . (ب) تحسن في السلامة

(ج) تيار مجال صغير خلال نقاط ثابتة . (د) قدرة عالية من المنتج خلال حلقات انزلاق.

13- عند استخدام مولد تيار متردد ثلاثي الأطوار نظام 4أسلاك فأن سلك المحايد :

(أ) يحافظ علي تيار متساوي في كل طور . (ب) يحافظ علي قدرة متساوية لكل طور .

(ج) يحافظ علي جهد متساوي لكل طور. (د) لا يمر تيار عندما يكون الأحمال غير متزنة .

14- الأجزاء الأساسية للمحول هي :

(أ) قلب ، ملف ابتدائي ، ملف ثانوي (ب) ملف ابتدائي ، حمل ، فيض مغناطيسي.

(ج) ملفات ابتدائية ، ملفات ثانوية، فيض مغناطيسي (د) حث متبادل ، فيض مغناطيسي وملفات.

15- تصنيف مولدات التيار المتردد علي أساس :

(أ) التركيب (التكوين) . (ب) خرج القدرة .

(ج) نوع الالة المديرة . (د) توصيل الحمل .

16- المبدأ الأساسي لتشغيل المحول هو :

(أ) التأثير الكهرومغناطيسي . (ب) تغير حركة موصل في مجال مغناطيسي .

(ج) حث متبادل . (د) انبعاث حراري .

(2) محول ثلاثي الأقدار ملفه الابتدائي موصل توصيلة دلتا وملفه الثانوي موصل نجمة . إذا كان عدد اللغات لكل طور لكل ملف ابتدائي اربعة مرات الملف الثانوي وجهة الخط للملف الثانوي 440فولت . وصل حمل متزن قدرته 20 كيلو وات عند معامل قدرة 8, بين أطراف الملف الثانوي . بغرض أن المحول مثالي أحسب :

- جهد الابتدائي وتيارات الطور والخط لكل جانب من الملف الابتدائي والثانوي ؟

(3) أذا وصلت ثلاثة محولات متشابه النسبة عدد اللغات لكل منها 1:12 توصيلة نجمة - دلتا وكان جهد الخط الابتدائي 6600 فولت ما جهد اللا حمل للملف الثانوي . إذا وصلت المحولات توصيلة دلتا نجمة بنفس جهة الابتدائي وهو جهد الخط للملف الثانوي .

(4) وصل مصدر ثلاثي الأطوار 440 فولت خلال محول مثالي بنسبة عدد لغات 1:1 ملفه الابتدائي موصل دلتا والثانوي نجمه إلى حمل عبارة عن ثلاثة مقاومات موصلة دلتا . أحسب :

- التيارات في ملفات المحول والمقاومات والخطوط للمصدر والحمل ؟

الباب الرابع

نقل وتوزع والقدرة

4.1 : استخدام المحولات لرفع الجهد للخطوط الهوائية والكوابل الأرضية :

يتم توليد القدرة للتيار المتردد بواسطة المولدات في محطات القدرة وتنقل القدرة خلال كوابل المسافات بعيدة تم توزع علي المستهلكين . كل محطة كبيرة تحتوي علي أربعة مولدات ويولد كل مولد 2000 أمبير عند جهد 33000فولت . عند المحطة توصل هذه القدرة لمحولات رافعة ضخمة لرفع الجهد من 25000 إلي 275000 رفع الجهد من 33 كيلو فولت علي سبيل إلي 4000كيلو فولت يخفض بشدة التيار في الملف الثانوي بنفس ارتفاع الجهد لتبقي القدرة = الجهد ×التيار بقيمة ثابتة .الانخفاض في شدة التيار يودي إلي المميزات التالية .

1- يمكن استخدام موصلات رفيعة وخفيفة ورخيصة لنقل القدرة .

2- نقل المفاقيد علي شكل طاقه حرارية (ت^2. م)واط

3- نقل قيمة هبوط الجهد في الموصلات (ت.م) فولت

4- تقل أحجام أجهزة التحكم والقياس.

نقل القدرة باستخدام كوابل بجهود عالية لمسافات بعيدة هو أرخص الطرق المتاحة لنقل قدرة التيار المتردد . ويتم رفع الجهد بواسطة المحولات ولا يمكن استخدام المحولات مع مصادر التيار المباشر Dc . توصل كوابل الضغط العالي إلي الشبكة القومية التي تغذي القطر علي نطاق واسع . والغرض من الشبكة القومية هو أنة باستخدام الشبكة يمكن تغذية المناطق ذات الاحتياج المنخفض وكذلك يمكن إنشاء المحطات بعيدا عن المناطق الآهلة بالسكان .

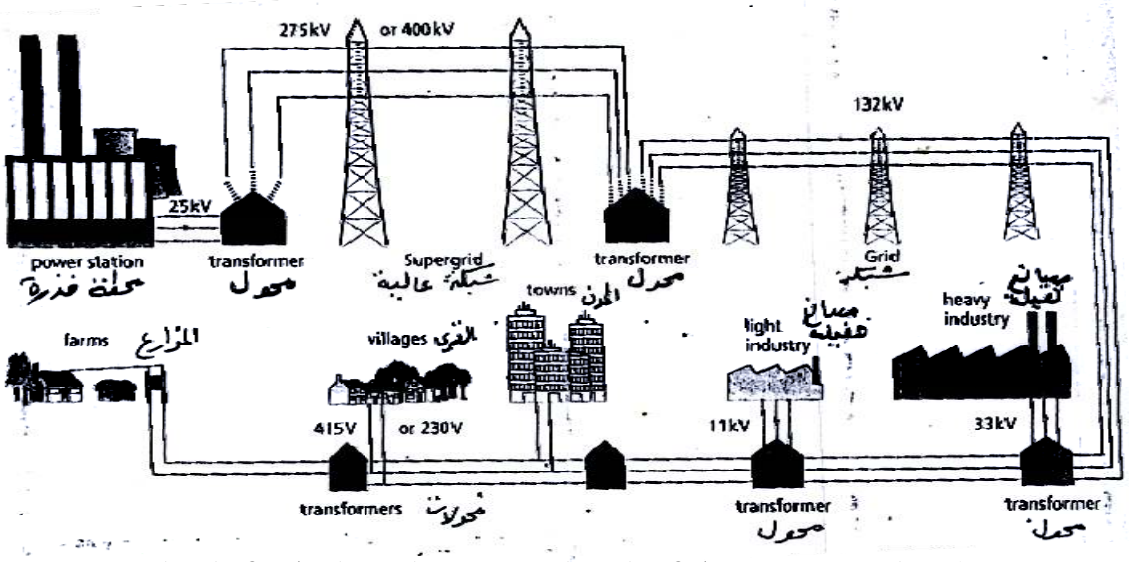
تنقل الطاقة الكهربية في نظام الجهد العالي أساسا بواسطة الخطوط الهوائية غير أن هناك بعض الأحوال الخاصة التي تستخدم فيها الكابلات الأرضية المدفونة لنقل الطاقة في نظم الجهد العالي .

يصعب عزل الكابلات الأرضية المدفونة ولذلك يجب استخدامها عند جهود منخفضة . لنقل نفس القدرة فلا بد لهذه الكوابل الأرضية حمل تيارات اعلي هذا يعني أنها يجب أن تكون سميكة ومكلفة عند المد.

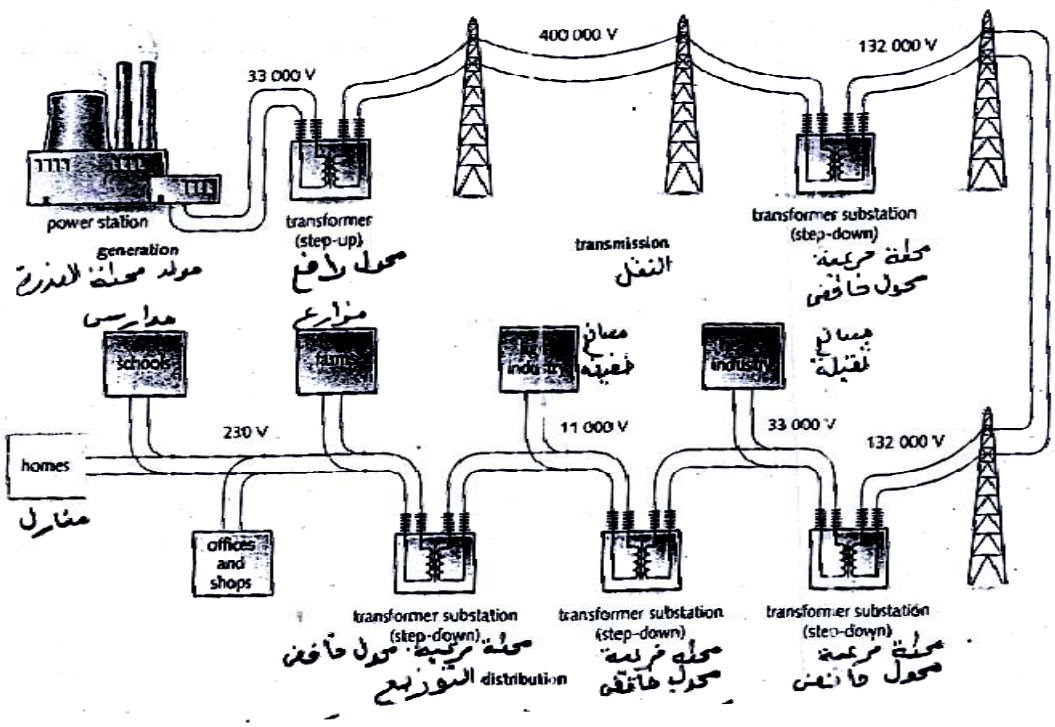
تستخدم الكوابل الأرضية رغم التكلفة العالية في المناطق الطبيعية الرائعة الجمال حيث أن الأبراج العالية يمكن أن تتلف البيئة بإفساد المناظر الطبيعية الخلابة.

لنقل القدرة بجهود عالية جدا تنتج شرارة بين الأسلاك إذا كانت الأسلاك قريبة من بعضها البعض أو قريبة من الأرض ولمنع ذلك يجب عمل عزل فعال ويتم ذلك بعمل فراغ هوائي كبير بين الأسلاك مع

بعضها أو بعيدا عن الأرض ويتضح ذلك في عملية شد الأسلاك في أبراج عالية يتم فيها فصل الأسلاك عن بعضها بالفراغات الهوائية .



محطة توليد بجهد مقداره 25 كيلو فولت يتم رفع الجهد إلي 275كيلوفولت بمحولات رافعة يتم بعد ذلك نقل وتوزيع القدرة.



محطة توليد بجهد 33كيلو فولت يتم رفع الجهد إلي 400كيلو فولت بمحولات رافعة يتم بعد ذلك نقل وتوزيع القدرة.

تستخدم موصلات الألمونيوم حاليا في الخطوط الهوائية لشبكات النقل لخفة وزنها وقلة تكاليف وإنشاء الأبراج الحاملة لها . فمن المعروف أن استخدام الموصلات النحاسية في الخطوط الهوائية يؤدي إلي زيادة كبيرة في تكاليفها وتكاليف الأبراج الحاملة لها . ويعيب موصلات الألمونيوم أن مقاومتها النوعية أعلي من المقاومة النوعية للموصلات النحاسية وأن مقدار الارتخاء في خطوط الألمونيوم يتغير تغيرا كبيرا باختلاف درجات الحرارة وأن قوة شدها صغيرة .لذلك يجب مراعاة مايلى :

(1) أن تكون قوة الشد المسلطة علي الموصلات صغيرة نسبيا .

(2) أن تكون المسافة بين الموصلات (الخطوط) أكبر ما يمكن وذلك لأسباب اقتصادية .

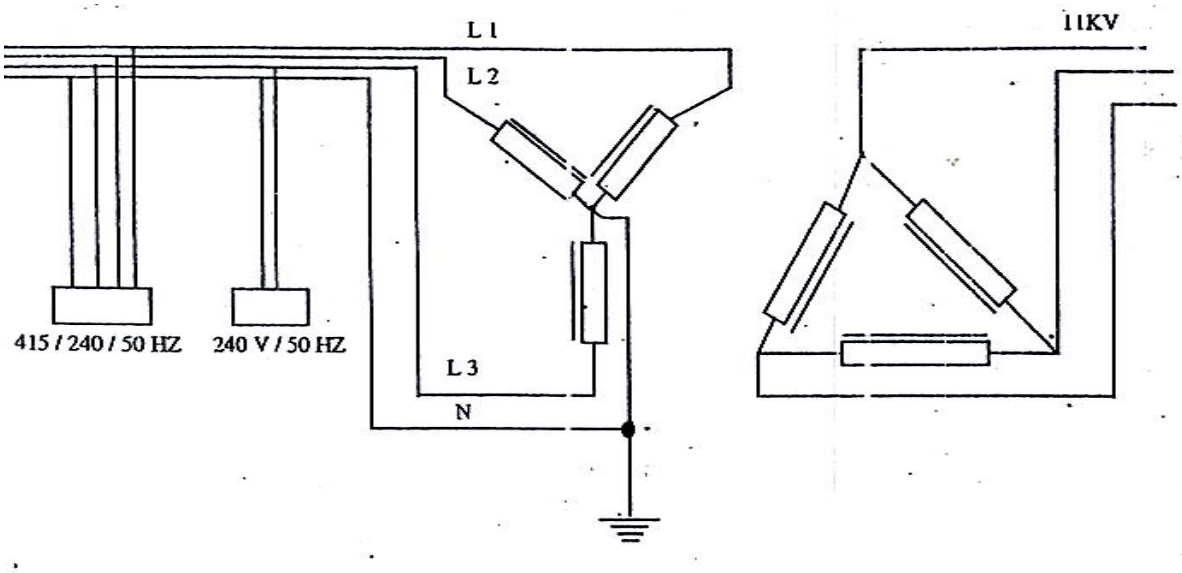
(3) أن يكون الارتخاء مطابقا للأبعاد القياسية علما بان هذا الارتخاء يتغير تغيرا كبيرا باختلاف درجات الحرارة. ويفضل دائما أن تزود موصلات الألمونيوم بأسلاك من الصلب لزيادة قوة شدها.

4.2 المحطات الفرعية : Substations لخفض الجهد للمستهلكين

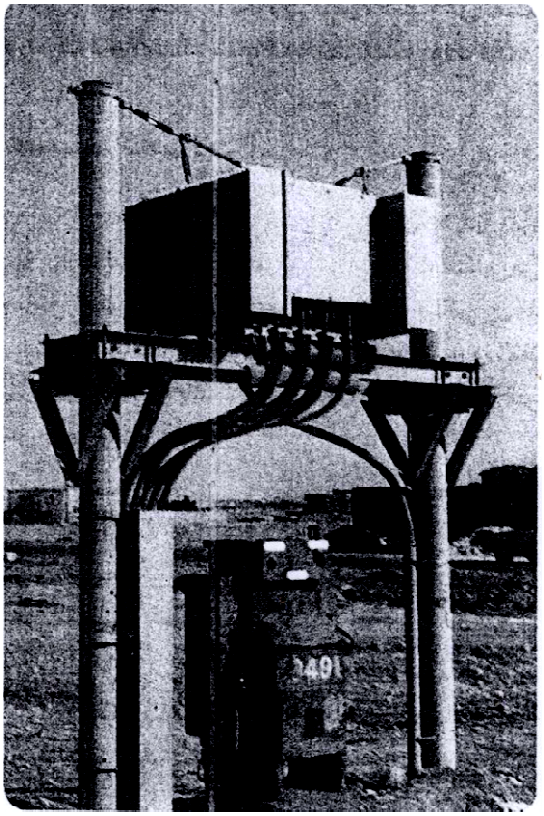
توزع القدرة الكهربائية علي المستهلكين من الشبكة القومية للكهرباء باستخدام محطات فرعية متتالية . وتحتوي كل محطة كما موضح في الشكلين السابقين علي محاولات خافضة والتي تقلل الجهد في مراحل المستوي المطلوب بواسطة المستهلكين . تحتاج بعض المصانع الثقيلة إلي جهود عالية (33 كيلو فولت) . بينما بعض المصانع الخفيفة إلي جهود أقل (11 كيلو فولت) .

يوضح الشكل أدناه محطة فرعية نحو مساكن الأحياء

والمدارس والمؤسسات والمكاتب 000الخبالقدرة الكهربائية.



المحطة الفرعية في هذه الحالة عبارة عن محول خافض ملفه الابتدائي موصل إلي الجهد العالي (11كيلو فولت) عن طريق فيوزات الضغط العالي علي عمود الإدارة وملفه الثانوي يخرج الجهد المعتاد عن طريق فيوزات للمستهلكين . يسمي هذا النظام بنظام 3 أطوار– 4 أسلاك ومع أن ملفات الأطوار الثلاثة متساوية فان الجهود تكون متساوية أيضا ،بمعني أن القيمة العظمي لكل طور تتخذ لنفس القيمة ولكن هذا لا يحدث في نفس الزمن . يستخرج سلك رابع من نقطه النجمة يسمي المحايد المشترك COMMO Neutral ويرمز لها بالحرف N ويسمي السلك الخارج في كل طور بخط 1، خط 2، وخط 3 ويتوافر للمستهلك جهدان مختلفان :



محول توزيع

(1) جهد الطور بين كل خط خارجي والموصل المحايد.

(2) جهد الخط($\sqrt{3}$ ×جهد الطور) الواقع بين كل خطين.

إذا وصل حمل بين خط وخط أخر فان الحمل يعمل بجهد الخط وإذا وصل حمل أخر بين أي خط والمحايد فان الحمل يعمل بجهد الطور ، الأحمال التي تعمل بالخطوط الثلاثة بدون محايد تسمي أحمال ثلاثية الأطوار 3phase مثل المحركات ثلاثية الأطوار أما الأحمال الصغيرة مثل الإضاءة المنزلية والأجهزة المنزلية والأدوات الكهربائية والمحركات الصغيرة التي تعمل بين أي خط والمحايد تسمي أحمال طور واحد Single phase ترفع الخطوط الثلاثة والمحايد إلي الأعمدة الكهربائية المنتشرة في الحي.نجد الأسلاك المشدودة بين أي عمودين من أعلي عبارة عن خط 1 ، خط 2، خط 3 . وأخيرا من الأسفل سلك المحايد .

يوصل المحايد إلي كل منزل مع أي خط من الخطوط الثلاثة (طور وأحد) أو الثلاثة خطوط معا والمحايد (ثلاثة أطوار+ طور وأحد) .

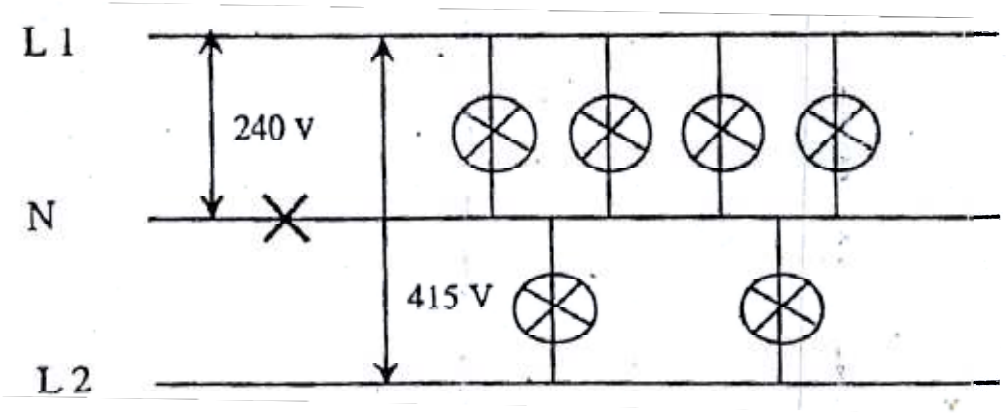
عمليا بصعوبة توزيع قدرات الخطوط الثلاثة بالتساوي بين المستهلكين لاختلاف نوعية الأجهزة وقدرات الأحمال بين منزل وأخر توصيل نقطة المحايد في المحطة الفرعية إلي ارض جيد بغرض جعل تيار المحايد صفرا (تيار المحايد يكون صفرا بدون التوصيل إلي الأرض إذا كانت الأحمال متزنة)

ويستفاد أيضا من توصيل المحايد إلي أرضي جيد كراجع إذا ما أراد مستهلك عمل نظام ارضي يخص منشاته .

عندما يوصل المحايد إلي الأرض يمكن الحصول علي جهد طور بين خط الأرض . لأغراض الحماية يجب أن لا توصل منصهر إلي دائرة المحايد في إي توصيلة . ويجب عزل موصل المحايد مثل الموصلات للخطوط الثلاثة في منشات مستهلكي الكهرباء كما يجب مده بنفس العناية وفي نفس الغلاف المشترك في حاله المد في أنابيب أو الخطوط المتعددة الأسلاك ولا يسمح بفصل موصلات المحايد ولو كانت بمفردها .إذا فصل المحايد لأي سبب من الأسباب في توصيلة نظام 3 اطوار لمبنى معين فان الجهد الكهربائي سوف يرتفع في بعض الأحمال وينخفض في أحمال أخري مما يعرض بعض الأحمال الموصلة في هذه اللحظة إلي الإتلاف في الحال لأن مهمة المحايد المحافظة علي جهد متساوي لكل طور.

مثال:

مجموعة من اللمبات كتب علي كل منها (60w ,240v) وصلت كما موضح بالشكل أدناه بين خطين L2 L1 والمحايد N لمصدر تيار متردد وتعمل بمعامل قدرة تساوي الوحدة. إذا فصل سلك المحايد عن طريق الخطاء عند النقطة (X) في الشكل. ما هي مجموعة اللمبات المعرضة للتلف هي مجموعة اللمبات تحت خط المحايد أم فوق خط المحايد ؟



بالرغم من أن الأحمال غير متزنة (متساوية) علي الخطين وأن سلك المحايد موصلا فان كل مجموعة من المجموعتين فوق وتحت المحايد تعمل علي مايرام بجهد متساوي (240فولت) بين طرفي كل مجموعة.

إذا فصل سلك المحايد في النقطة (X) فان المجموعة أعلي خط المحايد يوصل علي التوالي مع المجموعة تحت خط المحايد بين الخطين L_1، L_2(415 فولت) لحساب مقاومة كل لمبة تستخدم المعادلة القدرة بالواط = $\frac{\text{جـ}^2}{\text{م}}$

$$\therefore 60 = \frac{240 \times 240}{\text{م}} \quad \therefore \text{م} = \frac{240 \times 240}{60} = 960 \text{ أوم}$$

المقاومة المكافئة لمجموعه الأربعة لمبات العليا = $\frac{960}{4}$ = 240 أوم

المقاومة المكافئة لمجموع اللمبتين السفلي = $\frac{960}{2}$ = 480 أوم

المقاومة الكلية المكافئة (على التوالي) = 240 + 480 = 720 أوم

التيار = $\frac{415}{720}$ أمبير

الجهد بين طرفي المجموع العليا = المقاومة المكافئة للمجموع × التيار = $240 \times \frac{415}{720}$ = 138.3 فولت

الجهد بين طرفي المجموع الكلي = المكافئة للمجموع × التيار = $480 \times \frac{415}{720}$ = 276.7 فولت

اذن المجموعة المعرضة للتلف هي مجموعة اللمبتين أسفل خط المحايد لأنه الجهد الآن 276.7 فولت بدلا من 240 فولت . المجموعة العليا تعمل بجهد أقل من الجهد المعتاد فلا خطورة عليها .

4.3 مخاطر ناجمة من عدم توصيل نقطة المحايد في المحطة الفرعية الى ارضي جيد :

1- في بعض الأحيان نجد أن محايد محول المحطة الفرعية للأدأرة الفرعية غير موصل إلى الارضى (انظر إلى المحولات المثبتة علي الاجهزة الكهربائية مثلا). في الصيف ترتفع درجة الحرارة ويزداد درجه الحرارة ويزداد ارتخاء الأسلاك بالتمدد وعندما تهب الرياح من الممكن أن تتصل أخر خط (الأقرب إلي المحايد) مع المحايد. يحدث شرر عالي نتيجة لوجود عازل (طلاء غشاء رقيق علي سطح الأسلاك عبارة عن أكسيد الألمونيوم) . وفي لحظة معينة يمكن أن ترتفع جهد المحايد من الصفر إلي جهد الخط الملتمس معه في هذه اللحظة يرتفع جهة الأجهزة الموصلة مع الخطين الآخرين من جهد الطور (240 فولت) إلى جهد الخط (415) مما يعرض كل الأجهزة والمعدات الكهربية الموصلة في تلك اللحظة إلي الإتلاف وذلك قبل أن يتمكن منصهر الخط ذو السعة ألتياريه العالية بالمحطة الفرعية من فصل لخط الملتمس . ويمكن أن تحدث نفس النتيجة إذا قذف شخص بمادة موصله وحدث اتصال بين المحايد وأي خط أخر.

2- في الخريف ومع هبوب الرياح العنيفة يمكن أن تنفصل الأسلاك وتتساقط علي مياه الأمطار المتجمعة تحت الأعمدة الكهربائية يسري تيار كهربي من الأسلاك إلي الأرض هذا التيار ربما يكون غير كافي لصهر الفيوزات لقطع التيار في الحال . وتظل المياه متكهربة ويتعرض حياة الإنسان والحيوانات العابرة لهذه المياه إلي الصدمة الكهربائية إذا كان المحايد موصلا إلى ارضي جيد عند ذلك يوجد مسار معاوقة ولذلك يمر التيار كافئ (تيار قصر) لصهر المنصهرات في الحال ويسلم بذلك الإنسان والحيوان .

إذا تلاحظ أن إضاءة بعض الكميات منخفضة والأخرى إضاءة عادية في منطقة استهلاك معينة في نفس المحطة الفرعية فإن هذا العطل يكون محلياً نتيجة لفصل احد فيوزات أو غياب خط في جانب الجهد العالي (11 كيلو فولت) للمحطة الفرعية المحلية . أما أذا انقطع الجهد كليا في بعض المنازل وبقيت مجموعة مضاءة لنفس المحطة الفرعية فأن العطل يكون مقصورا في أحد فيوزات جهد الاستعمال المعتاد بالمحطة الفرعية أو فصل في احد الخطوط للجهد المعتاد (240 فولت) .

أسئلة للمراجعة

1/ ماهي المميزات الرئيسية للشبكة القومية للكهرباء ؟

2/ ماهي المحطات الفرعية ؟

3/ اشرح كلا ماياتي :

(1) نستخدم Ac بدلا Dc لنقل القدرة الكهربائية .

(2) يرفع الجهد قبل ان يوصل المولد إلي الخطوط الهوائية .

4/ أعطي مثال أين تستخدم الكوابل الأرضية بدلا من الخطوط الهوائية رغم التكلفة العالية ؟

5/ يمكن أن يولد المولد الواحد قيمة طبق الأصل تيارا شحنته 20000 امبير عند جهد 33000 فولت. ما قيمة قدرة هذا المولد بالميقا واط عند معامل قدرة تساوي الوحدة ؟

6/ وصل قدرة مقدارها 4كيلواط للكيبل نقل مقاومته 5 اوم. أحسب القدرة المفقودة في الكيبل إذا نقلت القدرة عند جهد :

(أ) 200فولت ؟ (ب) 200000 فولت ؟

7/ اشرح لماذا تلزم عناية خاصة عند مد موصل المحايد ؟

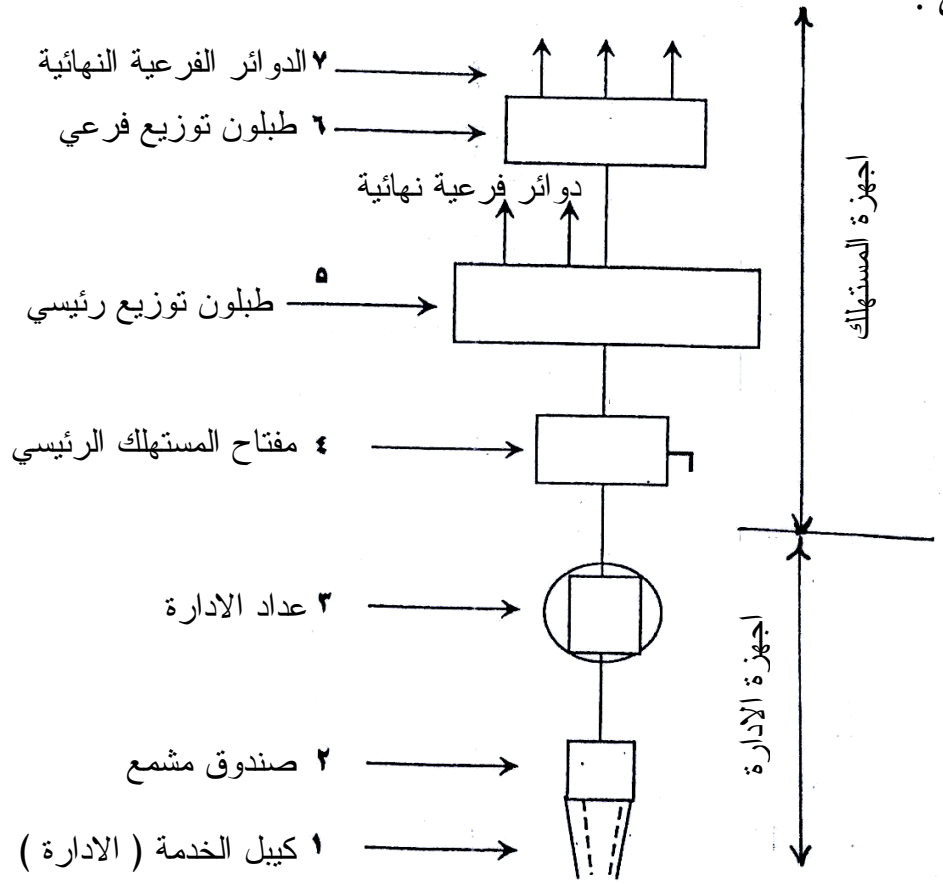
8/ ماهى الأخطاء التي يمكن حدوثها إذا حمل موصل المحايد جهداً ؟

9/ بين عدد الدوائر الممكنة والجهود المتاحة في شبكة تيار ثلاثي الأطوار ذات أربعة موصلات ؟

10/ إذا وصلت ثلاجة $\frac{1}{5}$حصان (تقريبا 50 واط) ومكيف قدرته 2400 واط لخطين مختلفين لمنزل معين والمحايد كخط مشترك وكان جهد الطور 240فولت وجهد الخط 415 فولت . أي الجهازين معرض للتلف ولماذا إذا فص سلك المحايد ؟

5. تسلسل أجهزة التحكم للادارة والمستهلك ومواصفات الدوائر النهائية :

5.1 التسلسل :



الشكل أعلاه يوضح تسلسل أجهزة التحكم للادارة والمستهلك .

يدخل المصدر الرئيسي خلال أجهزة الإدارة للمفتاح الرئيسي للمستهلك ، المفتاح من النوع الذي يمكن أن يفصل كلا من قطبي المصدر من المفتاح الرئيسي الذي يحتوي على منصهرات أو قواطع دائرة Circuit breaches مناسبة لتعدي الحمل overload . توصل بعض الدوائر الفرعية النهائية إلى طبلون التوزيع الرئيسي بينما تستخدم الفرعي الرئيسي لمد طبلون توزيع فرعي الذي يوصل إليه دوائر أخري فرعية نهائية تعرف الدائرة الفرعية النهائية بأنها الدائرة التي توصل إلى طبلون توزيع وتحميل الطاقة الكهربائية مباشرة إلى أجهزة ومعدات الاستخدام .

502 تقسيم وأنواع الدوائر النهائية .

تقسيم الإمداد عادة إلي دوائر فرعية والقرض من التقسيم هو :

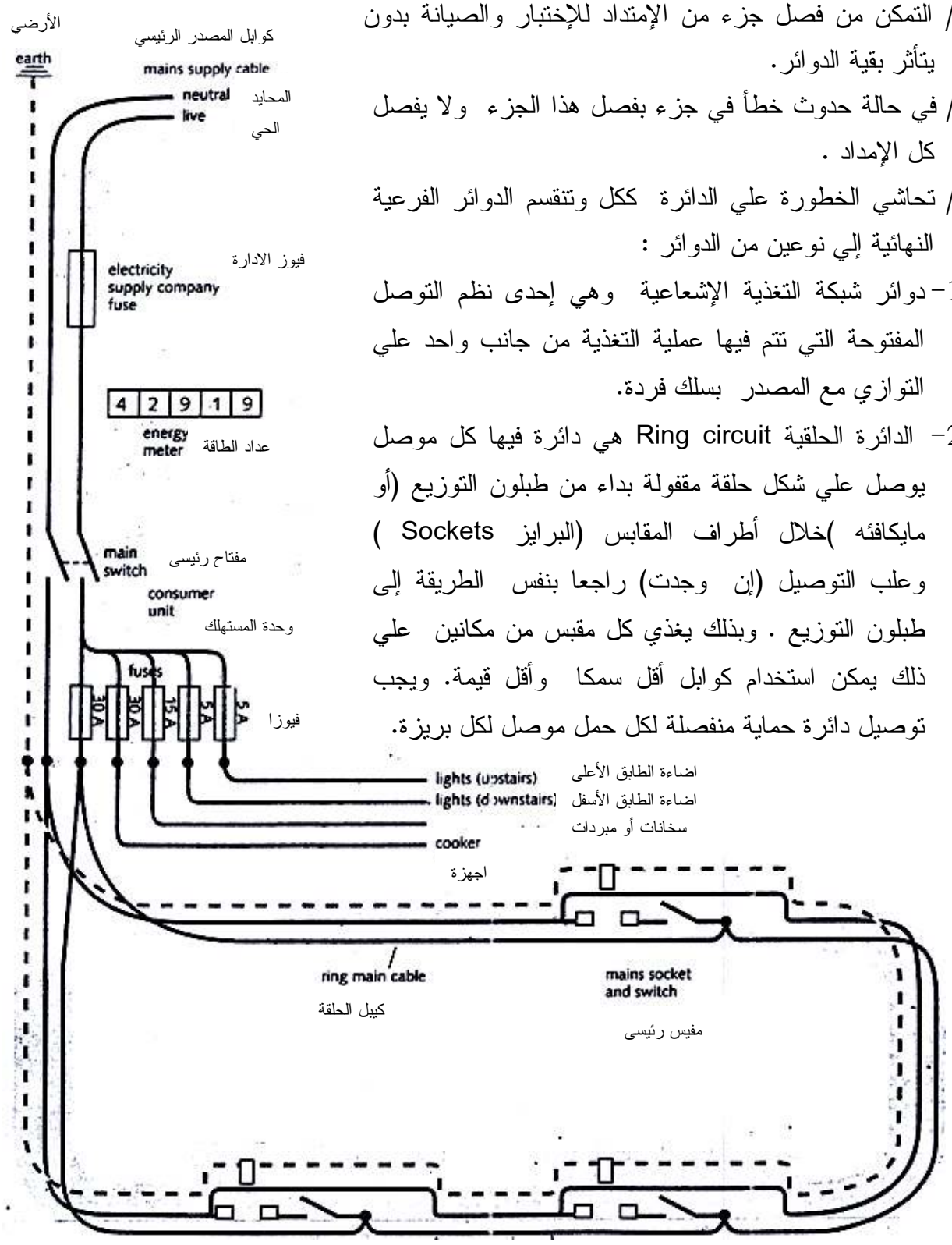
1/ التمكن من فصل جزء من الإمتداد للإختبار والصيانة بدون يتأثر بقية الدوائر.

2/ في حالة حدوث خطأ في جزء بفصل هذا الجزء ولا يفصل كل الإمداد .

3/ تحاشي الخطورة علي الدائرة ككل وتنقسم الدوائر الفرعية النهائية إلي نوعين من الدوائر :

1- دوائر شبكة التغذية الإشعاعية وهي إحدى نظم التوصل المفتوحة التي تتم فيها عملية التغذية من جانب واحد علي التوازي مع المصدر بسلك فردة.

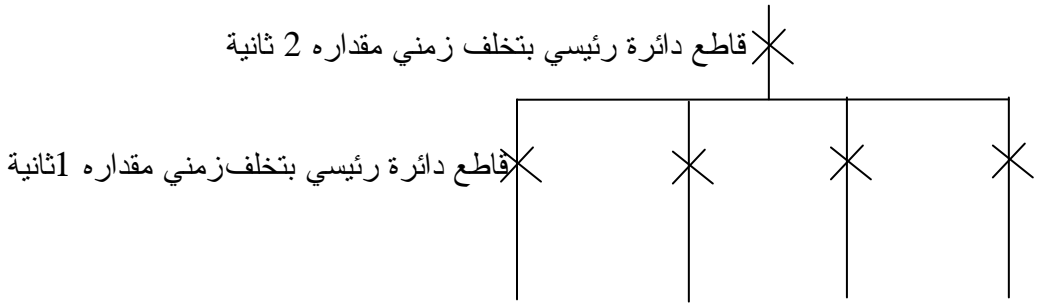
2- الدائرة الحلقية Ring circuit هي دائرة فيها كل موصل يوصل علي شكل حلقة مقفولة بداء من طبلون التوزيع (أو مايكافئه)خلال أطراف المقابس (البرايز Sockets) وعلب التوصيل (إن وجدت) راجعا بنفس الطريقة إلى طبلون التوزيع . وبذلك يغذي كل مقبس من مكانين علي ذلك يمكن استخدام كوابل أقل سمكا وأقل قيمة. ويجب توصيل دائرة حماية منفصلة لكل حمل موصل لكل بريزة.



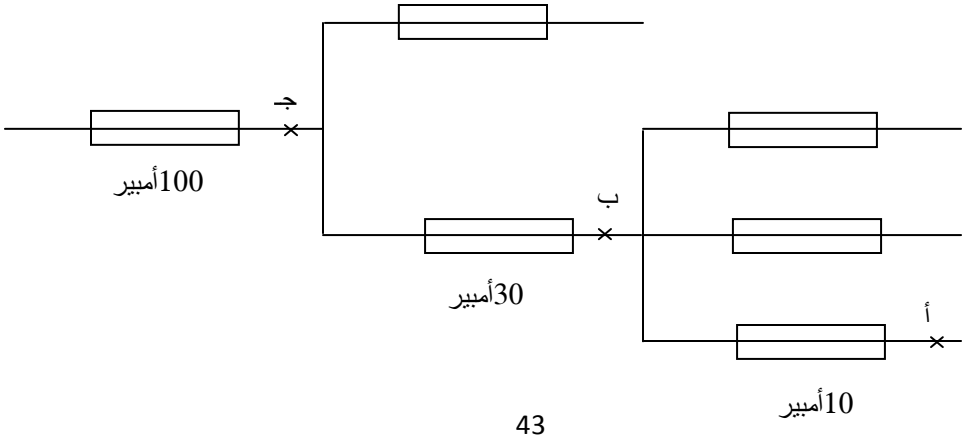
5.3 التميز : Discrimination

التميز هو مقدرة جهاز الوقاية كالفيوز أو القاطع التلقائي التميز بين قيم مختلفة لتيارات ذائدة ممثلا كنتيجة خطاء في دائرة فرعية إذا انفصل الفيوز الرئيسي هذا يمكن أن يدل إلي عدم تميز . للحماية الجيدة يجب أن يكون منصهرات الدائرة الفرعية بتيار اسمي أقل من الفيوز الرئيسي ويجب أن يفصل قبل الفيوز الرئيسي . إذا استعمل خليط من أنواع مختلفة من المنصهرات في توصيلة واحدة غالبا يؤثر ذلك علي التميز. معظم فيوزات الكاترج تقدم تميز كافي بشرط أن تستعمل نفس النوع لكل التوصيلة. ومع أن تكاليف تغير فيوزات الكاترج عالية فانه يستعمل أحيانا فيوزات كاترج في طبلون الفيوزات الرئيسي وفيوزات قاطع الدائرة في الطبلونات الفرعية. هذا يعني انه لا يمكن الحصول علي تميز عند حدوث تيار زائد بشدة (تيار قصر)

عندما نستعمل القواطع التلقائية بتيار زائد لا يمكن تحقيق التميز بضبط قواطع الدائرة الفرعية لتعمل بتدريج منخفض فحسب بل يمكن كذلك ضبطها بتخلف زمني أقصر من زمن القاطع الرئيسي مثلا يمكن ضبط قواطع الدائرة ليعمل علي 1 ثانية والقاطع التلقائي الرئيسي علي 2 ثانية بعد أن يبدأ التيار الزائد في المرور.



في الشكل التالي يتحكم فيه فيوز رئيسي 100 أمبير ويشتمل النظام أيضا على فيوز 30 أمبير يغذي طبلون توزيع فرعي يحتوي على فيوزات 10أمبير .



إذا حدث خطاء عند النقطة (ا) فان فيوز 100 أمبير سو يعمل فاصلا كل التوصيلة . وفي حالة حدوث خطأ في الدائرة النهائية عند النقطة (أ) يعمل فيوز 10 أمبير وليس فيوز 30 أمبير أو فيوز 100 أمبير وبنفس الطريقة في حالة حدوث خطأ عند النقطة (ب) فعلي فيوز 3 أمبير أن يعمل وليس فيوز 100 أمبير بالرغم من أن استخدام المنصهرات التي يمكن تغير سلكه أخذ في التراجع السريع ليحل محلها قواطع الدائرة Circuit breakers فالجدول أدناه يمكن الاستعانة بة لتقدير شعيرة سلك النحاس والتيار المقابل عند تغير سلك الفيوز في النوع الذي يمكن تغير سلكه .

قطر السلك(ملم)	التيار المقنن (أمبير)
0.15	3
0.2	5
0.35	10
0.5	15
0.6	20
0.75	25
0.85	30
1.25	45
1.53	60
1.8	80
2	100

5.4 الجهد الاسمي والتردد المعياري والقوانين الخاصة بتغير الجهد والتردد :

الجهود الاسمية والترددات المعيارية العالمية هي :

بريطانيا (سابقا) والسودان 415/240v/50 H_2

أوربا (سابقا) وعظم الدول العربية 380/220v /50 H_2

أمريكا والسعودية 220v/ 110v/ 60H_2

جهد الطور الآن في أوربا وبريطانيا 230v والتردد 50 H_2

تنص قوانين IEE البريطانية بان الفولتية المفقودة من أطراف المستهلك إلى أي نقطة من التمدد يجب أن لا تزيد عن 2.5% من الجهد الاسمي المعلن وذلك عندما يحمل الموصلات بالحمل الكامل وأن لا يزيد أو ينقص التردد المعلن عن نسبة 1% . أذا أن التردد50 هيرتز فيجب أن يكون التردد في الحدود

50.5 -50-49.5هيرتز.

الباب السادس

أسلاك التوصيل والكوابل

6.1 تعريفات :

الكابلات هي التوصيلات الضرورية بين الآلة التي تولد الطاقة الكهربائية والأجهزة المستعملة للطاقة وهي أنواع مختلفة من حيث الحجم والنوع .

المطلبات الضرورية لكيبل معين هي توصيل الكهرباء بكفاءة وبسلامة وبتكاليف اقل. ولتحقيق ذلك يجب أن تكون بمساحة مقطع صغيرمما يترتب عليها فولتيه داخلية مفقودة كبيرة ويجب أن لا تكون بمساحة مقطع كبير لزيادة التكاليف الأصلية وارتفاع علب التوصيل الضرورية ... الخ . ويجب أن تكون عوازلها بحيث تمنع التسريب في الاتجاهات المختلفة الغير مرغوب فيها وهكذا يمكن تقليل مخاطر الحرائق والصدمات .

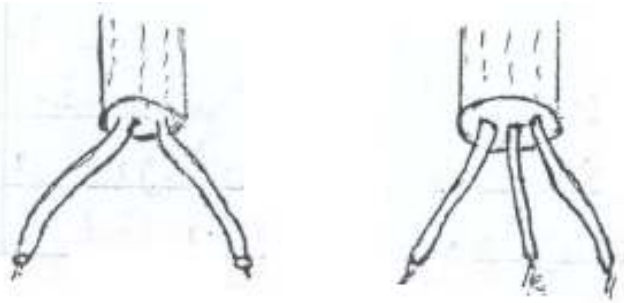
نستخدم النحاس والألمونيوم كموصلات في كوابل القدرة والإضاءة ، للنحاس مقاومة نوعية اقل وبالتالي اعلي قابلية للتوصيل بالمقارنة للألمونيوم وهذا يعني أن لموصلات النحاس مساحة مقطع اقل وتأخذ مساحة اقل بالمقارنة لموصل الألمونيوم $\frac{1}{3}$ وزن النحاس لنا له مميزات في بعض الأحوال .

تصنع الموصلات علي هيئة شعيرات Stranding بحيث أن تعطي عدد معين من الشعيرات مساحة المقطع المطلوب وبذلك تكون أكثر مروره وأسهل تداولا .

عدد الشعيرات المستعملة هي 1، 7، 19، 37، 61، 127، وحجم الشعيرات يتراوح بين1.5 ملم^2 (1,13/1ملم) إلى 630ملم^2 (2.52/127ملم) فمثلا الموصل الأخير يحتوي على 127 شعيرة على شكل دائرة بقطر 2.52ملم بمساحة مقطع كلي يساوي 630 ملم^2.

الأسلاك المرنة flexible cords هي الأسلاك التي تتراوح أحجامها من 0.5 ملم^2($\frac{16}{0.2}$) إلى 4 ملم^2($\frac{56}{0.3}$) أما الأسلاك المرنة التي يتراوح أحجامها من 6ملم^2($\frac{84}{0.3}$)إلى 630ملم^2($\frac{2257}{0.6}$) تسمي بالكوابل المرنة flexcible cables يجب أن لا تستخدم الكوابل والأسلاك المرنة بديلاً عن الأسلاك الثابتة .

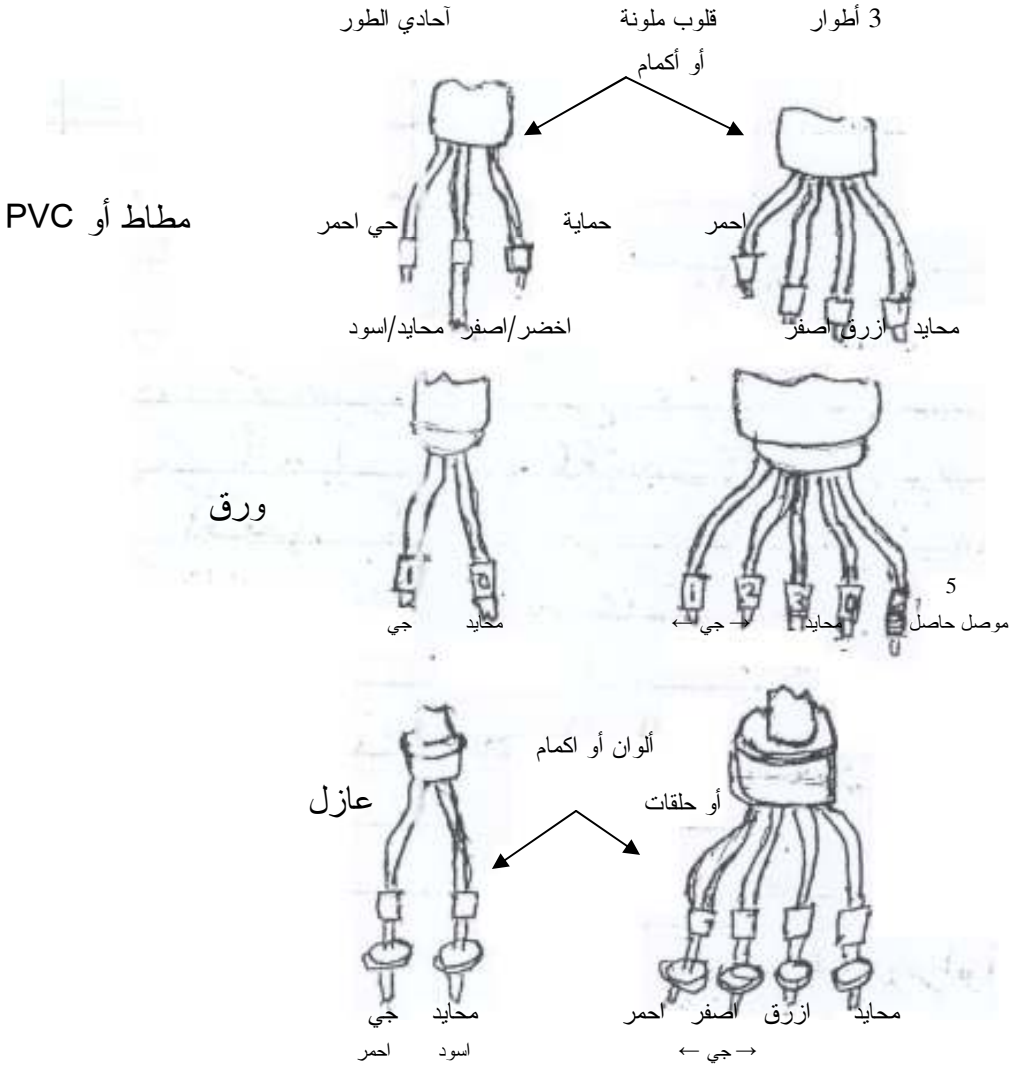
تمييز الاسلاك والكوابل المرنة



المحايد ..... سلك حي المحايد السلك الحي

ازرق اخضر بني ازرق بني

تمييز الاسلاك والكوابل الثابتة



6.2 مقدار حمل التيار (current carrying capacity) :

كل الكوابل لها مقاومة معينة وتتولد الحرارة في الكوابل نتيجة لمرور التيار فيها بإزدياد درجة الحرارة في الكيبل . تزداد كمية الحرارة المفقودة عن طريق التوصيل والحمل والإشعاع . اذا ثبت تيار الكيبل تصل الحرارة إلى نقطة توازن وعندها تكون المتولدة تساوي الحرارة المفقودة وهكذا فإن ثبات الحاراة في الكيبب يعتمد على تيار الكيبل ، العازل الحراري للكيبل ، وعلى درجة الحرارة المحيطة بالكيبل فمثلاً لكيبل 2.5 ملم^2 والمعزول بواسطة مادة p.v.c والموصل تحت ظروف معينة له تقنين تيار يساوي 28 أمبير . إذا كان هناك كيبل آخر مشابه ما عدا أن له درع حديدي (يوفر الدرع عزل حراري) فإن التقنين ينخفض إلى 24 أمبير .

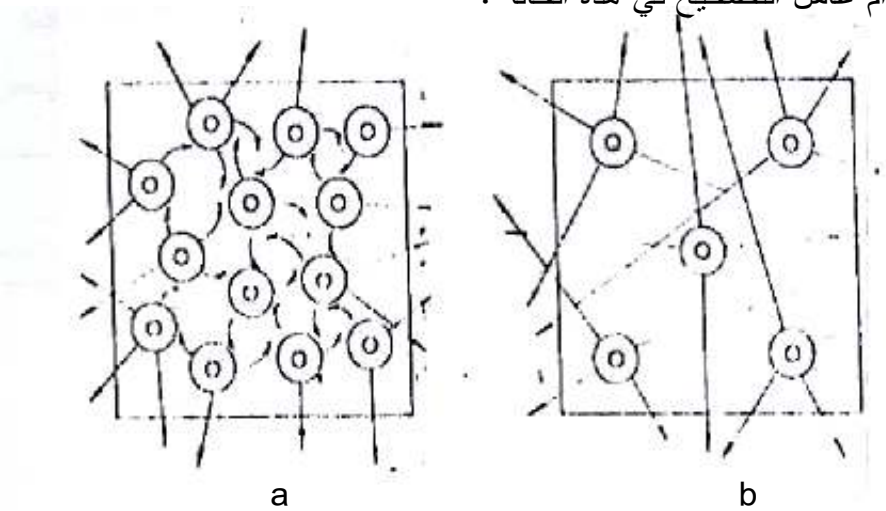
العازل الحراري المستعمل على نطاق واسع هو عازل p v c ولكن هذا العازل معرض للإتلاف عند درجة الحرارة الزائدة . عند درجة حرارة 80° فإن المادة تكون طرية لذلك ترحل الموصلات خلال الكيبل فترحل عن الأطراف النهائية للعوازل متصلاً بالمواد المحيطة بالكيبل عند درجة حرارة حوالي 115° يكون p v c مادة قابلة للتآكل لذا فإنه من المهم جداً أن تزيد حرارة العازل عن 70° .

يصبح ضرورياً عمل جداول للكوابل بتقانين مختلفة لكل نوع من العزل للتشغيل في درجات حرارة مختلفة فمثلاً العازل المعدني لا يفسد حتى عند درجة الحرارة العالية وتنتقل الحرارة بسرعة في القلب إلى الغلاف ويعتمد تقنين التيار بصفة كبيرة على تأثير الحرارة على المواد المتصلة مع الغلاف فمثلاً اذا استخدم الـــ pvc كغطاء كلي يجب أن لا تزيد درجة الحرارة عن 70° ولكن عندما يكون الكيبل مكشوفاً وغير معرض للمس يسمح أن تصل درجة الحرارة إلى 100° .

6.3 عوامل التصحيح للمجموعة :

تسخن الكوابل التي يتم توصيلها في نفس الغطاء (الغلاف) فتحمل نفس السعة التيارية . الكوابل القريبة من سطح الغطاء الحاوي للكوابل تكون لها المقدرة في تشتيت الحرارة إلى الخارج وتكون لها مقدرة محدودة لنقل الحرارة إلى الداخل إلى الكوابل الأخرى .

الكوابل المدفونة داخل الغطاء والقريبة من مركز الغطاء لا تستطيع أن تفقد الحرارة بسهولة بل تزيد درجة حرارتها لا يلاحظ هذا التأثير إذا كانت المساحة الخالية تزيد مرتين من القطر الكلي للكوابل ولا حاجة لإستخدام عامل التصحيح في هذه الحالة .



a b

شكل 2.2 الحاجة لعامل التصحيح للمجموعة

(a) الكوابل المحشورة المتقاربة لا تستطيع تشتيت الحرارة وترتفع درجة الحرارة .

(b) الكوابل المحشورة متباعدة تشتت الحرارة بسهولة .

جدول عامل التصحيح للمجموعة تتكون من أكثر من ثلاثة فرد أو أكثر من كيبل واحد متعدد

نوع الكيبل وحالة الإمداد	**عدد الموصلات المحملة**											
كوابل قلوب فردة: يطبق العامل لفردتين من فرد الكوابل	4	6	8	10	12	16	20	24	28	32	46	40
	0.8	0.69	0.62	0.59	0.55	0.51	0.48	0.43	0.41	0.39	0.38	0.36
كوابل متعددة القلوب يطبق العامل لكيبل واحد	**عدد الكوابل المحملة**											
	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20
	0.8	0.7	0.65	0.60	0.57	0.52	0.48	0.45	0.43	0.41	0.39	0.38

6.4 عوامل التصحيح لدرجة الحرارة المحيطة :

تعتمد انتقال الحرارة – بأي طريقة – على الفرق بين درجة الحرارة تحتوي الجداول الخاصة بمقدار حمل التيار للكوابل على عوامل التصحيح لدرجة الحرارة المحيطة من 25 درجة وما فوق . كل القيم مبنية على أساس أن درجة الحرارة المحيطة 30 درجة .

جدول عوامل التصحيح لدرجة الحرارة المحيطة

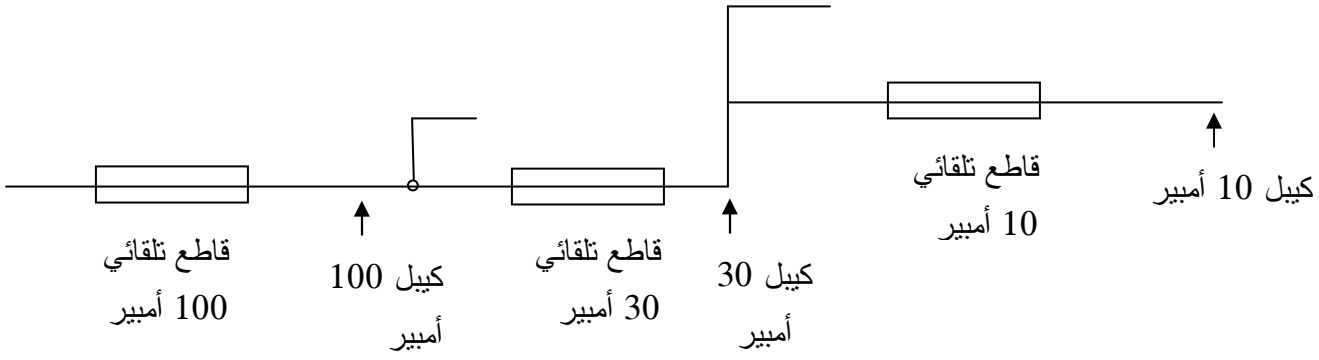
درجة الحرارة المحيطة	°25	35	40	45	50	55	60	65
عامل التصحيح	1.56	0.94	0.87	0.79	0.71	0.61	0.5	0.35

6.5 مطلبات الحماية للكوابل والأسلاك :

عندما يمر تيار كهربي في موصل يتولد حرارة . كمية الحرارة المتولدة تتوقف على قيمة التيار وزمن مرور التيار وموصل الحرارة المتولدة بالمقارنة إلى الحرارة المفقودة عن طريق الحمل أو التوصيل أو الإشعاع . تكون الحرارة المتولدة أكثر من الحرارة المفقودة عند حدوث خطاء أو تعدي حمل . إذا كانت الزيادة أكثر من اللازم يتعرض العازل إلى الإتلاف لذلك لابد من إدخال دائرة وقاية تفصل الدائرة المعينة قبل حدوث أي تلف .

هنالك طريقتان معروفتان لحماية الدائرة من التيار الزائد وتشمل إدخال دائرة وقاية للموصل المحمي ويتم ذلك إما : (1) فيوز أو (2) قاطع تلقائي بفاصل تيار زائد .

(أ) إذا كان المنصهر من نوع كاترج أو منصهر بسعة قطع عالية أو قاطع تلقائي فإنه يجب أن لا يزيد تيار التشغيل لجهاز الوقاية 1.45 مرة عن التيار المقنن للموصل المراد حمايته إذا إختير قاطع تلقائي أو فيوز من نوع كانرج أو فيوز بسعة قطع عالية بحيث أن يساوي التيار المقنن لأجهزة الوقاية التيار المقنن لكيبل كما هو موضح بالشكل التالي فإن ذلك يتفق مع القانون (لأن عامل الفيوز أو القاطع أقل من 1.45) .



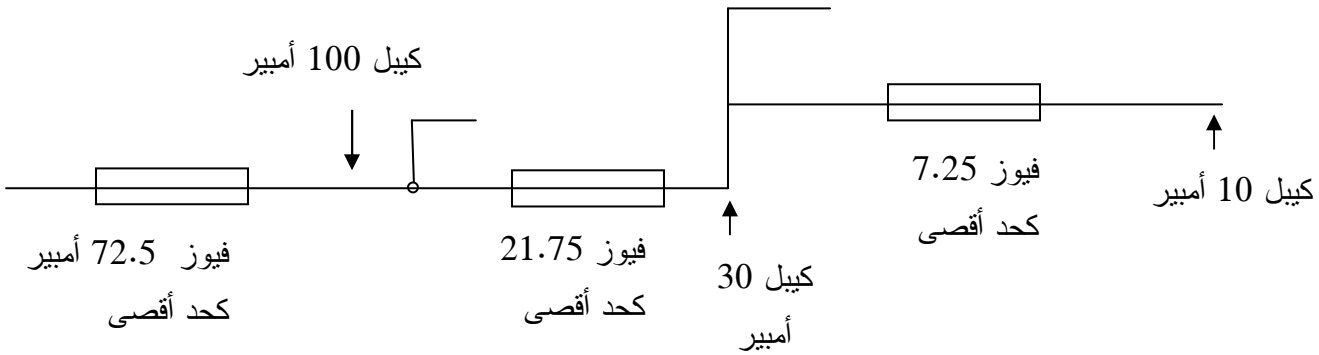
عامل الفيوز (المنصهر) أو القاطع التلقائي =

تيار التشغيل (التيار الذي يصهر عنصر الفيوز أو يعمل على تشغيل القاطع التلقائي)

التيار المقنن للفيوز أو القاطع التلقائي

ممثلاً عامل الفيوز لفيوزات كاترج يساوي 1.1

(ب) إذا كان الفيوز يعمل من نوع شبه مقفل (فيوز يمكن تغير سلكه) فإن القانون ينص على أنه يجب أن لا يزيد تيار الفيوز المقنن 0.725 كرة عن التيار الأولي المقنن للدائرة .



توصيل دائرة الحماية الموضحة أعلاه يتفق مع القانون لأن عامل الفيوز لهذا النوع يساوي تقريباً 2 .

6.6 خطوات اختيار السلك أو الكيبل المناسب لتوصيلة معينة :

يمكن تلخيص الخطوات المناسبة لإختيار سلك التوصيل المناسب أو الكيبل المناسب في ما يلي :

1. أحسب تيار التصميم للدائرة .
2. اختار جهاز الوقاية المناسبة للإستخدام مع تحديد التيار المقنن للجهاز .
3. أقسم تيار المقنن لجهاز الوقاية على عامل التصحيح لدرجة الحرارة المحيطة (في جدول عامل التصحيح لدرجة الحرارة المحيطة المعطى) .
4. اقسم النتيجة في الخطوة (3) على عامل التصحيح للمجموعة (من الجدول المعطى) .
5. النتيجة تحدد التيار المقنن للكيبل والذي يجب أن يختار من جدول الكوابل المناسب .

6.7 هبوط الجهد في الكوابل والأسلاك :

قبل اتخاذ القرار النهائي للكيبل المناسب في الخطوة (5) تأكد بأن هبوط الجهد لا يتجاوز 2.5% من الجهد المعلن . أقصى هبوط جهد عند طور واحد 240 فولت 6 فولت 10.375 فولت عند ثلاثي

الأطوار 415 فولت . ويجب حساب هبوط الجهد لكل جزء من الدائرة يصعب عملياً ايجاد قيمة المقاومة لموصل ما إذ أن المقاومة تزيد بزيادة درجة الحرارة عندما تحمل تيار كهربي بالإضافة إلى ذلك للكوابل الكبيرة فلابد من اعتبار مقاومة الكيبل أكثر من المقاومة جداول مقدرة حمل التيار تشمل قيم لحساب هبوط الجهد لكل كيبل يعطي قيمة هبوط الجهد لكل أمبير لكل متر بأعلى فولت ولحساب هبوط الجهد الكلي يجب ضرب هذه القيمة في تيار الحمل الكامل للكبيل في الطول الحقيقي للتوصيلة . النتيجة يجب أن تقل عن 6 فولت لمصدر طور واحد 240 فولت أو 10.375 فولت لمصدر ثلاثي الأطوار 415 فولت .

6.8 موصلات المحايد :

لايحمل موصل المحايد عندما يوصل مصدر ثلاثي الأطوار إلى حمل متزن ويمثل المحرك الثلاثي الأطوار حمل متزن مثالي ويغذى بثلاث أطوار فقط ويحزف سلك المحايد .

عندما يغذي عدد من الأحمال طور واحد من مصدر ثلاثي الأطوار فإن الأحمال قد لا تكون متساوية على كل طور وسوف يمر تيارات فوق الإتزان إلى المصدر عن طريق سلك المحايد . فمهما يكن من أمر اذا كان هناك قدر من درجة الاتزان فإن سلك المحايد سوف يحمل تياراً أقل من تيار الطور ولذلك يمكن استخدام مساحة مقطع أقل لسلك المحايد بالمقارنة لسلك الطور سوف يكون هناك مشكلة قائمة اذا ما تكونت توافقيات محسوسة عن طريق الحمل ، على سبيل المثال أجهزة التحكم للمبات التفريغ الكهربي تسحب مركبة تيارات عند ثلاثة أضعاف التردد المعتاد (تسمى تيارات التوافق الثالث) . هذه التيارات سوف لا تلغى بعضها البعض عند نقطة النجمة للمصدر كما هو الحال في ترددات المصدر المعتاد بل تضاف بعضها وتعود عن طريق سلك المحايد إلى المصدر ولذا اذا حُمل مصدر ثلاثي الأطوار بلمبات تفريغ كهربي طور واحد بإتزان تام فإن موصل المحايد سوف يحمل قيمة معتبرة من تيارات التوافق الثالث لهذا السبب فإن القانون لا يسمح بتقليل حجم سلك المحايد في مثل هذه الأحوال .

6.9 الأقصى المطلوب (maximum demand) :

الأقصى المطلوب هو أكبر تيار مطلوب حمله بواسطة الدائرة والمفاتيح وأجهزة الوقاية في وقت واحد عند تقدير قيمة أقصى تيار مطلوب يبرز في بعض الأحوال السؤال على أي إفتراضات تقدر قيمة التيار ؟

على سبيل المثال يمكن أن يوصل لمأخذ 13 أمبير لمبة منضدة 60 واط بتيار قيمته 25. أمبير أو يمكن أن يوصل إليه مكواة بمقدار 1000 واط بتيار يزيد عن 4 أمبير لذا فإن قيمة أقصى تيار مطلوب لمأخذ يجب أن يوخذ دائماً بتياره الأسمي وهو في هذه الحالة 13 أمبير .

6.10 التباين (Diversity) :

في أحوال كثيرة لا توصل كل الأجهزة الموصلة في دائرة أو تركيبة في نفس الوقت لذا فإن القيمة العظمى للتيار الفعلي التي يجب أن تحمله الموصلات تكون أقل من التيار الكلي الممكن سريانه اذا وصلت كل الأجهزة في وقت واحد .

$$\text{عامل التباين} = \frac{\text{القيمة العظمى للتيار الفعلي}}{\text{التيار الكلي المطلوب لكل الأجهزة مجتمعة}}$$

بواسطة عمل سماح للتباين يمكن تقليل حجم وتكاليف الموصلات وأجهزة الوقاية وبتطبيق صحيح للتباين يمكن أن يؤدي ذلك إلى نتائج اقتصادية بدون تقليل في فعاليات التوصيلة . غير أنه اذا قدر عملية التباين بتقدير أعلى سوف يكون التيار أعلى من التيارات الأسمية لأجهزة الوقاية وسوف تفصل الدائرة وسوف ينتج أيضاً تعدي حمل لموصلات الكوابل نتيجة لتيارات أعلى من التيار الأسمي لأجهزة الوقاية دون أن يكون لها قيمة كافية تكفي في تشغيل أجهزة الوقاية .

مثال :

جهاز آلة طبخ يعمل بطور واحد 240 فولت به 2 فرن به الأحمال الآتية لعناصر الحرارة المختلفة

الفرق الأعلى : واحد كيلو واط الفرق الأدنى : 2.5 كيلو واط

شواية 2 كيلو واط 4 مقاعد تسخين 2 كيلو واط لكل مقعد

وحدة التحكم تشتمل على بريزة 13 أمبير

يراد توصيل آلة الطبخ بسلكين فردة pvc مسحوبة داخل خرطوش مع سلكين آخرين من وحدة التحكم للسلك التي تحتوي على قواطع دائرة وتبعد وحدة التحكم عن المطبخ10متر درجة الحرارة المحيطة 45° أحسب تقنين الكيبل المناسب وتقنين قاطع الدائرة ؟

الحل :

1) حساب التيار الأقصى المطلوب :

قدرة الاحمال الكلي = 1+ 2.5 + 2+4×2 = 13.5 كيلو واط

$$\text{التيار الأقصى المطلوب} = \frac{135000}{240} = 56.25 \text{ أمبير}$$

2) من جدول السماح للتباين لأجهزة الطبخ المنزلية

10 أمبير + 30٪ من تيار الحمل الكامل التي تسحب أكثر من 10 أمبير + 5 أمبير اذا استعمل مأخذ في وحدة التحكم .

∴ أول 10 أمبير للتيار المقنن = 10

30 ٪ (56.25−10) = 0.3× 46.25 = 14

السماح للبريزة = 5

التيار المطلوب بعد السماح = 29

3) وعليه يمكن اختيار قاطع تلقائي بتقنين 30 أمبير .

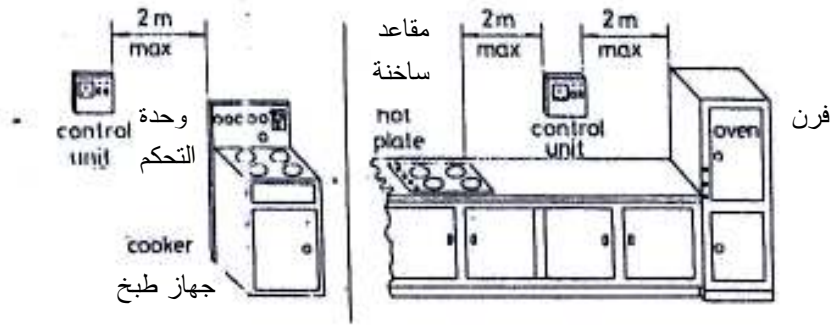
4) بقسمة تقنين القاطع 30 أمبير وليس 29 أمبير أو ليس 56.25 على عامل التصحيح لدرجة الحرارة المحيطة 45° من الجدول نجد العامل هو 0.79 أي $\frac{30}{0.79}$ أمبير .

5) اقسم الناتج من الخطوة 4 أي $\frac{30}{0.79}$ على عامل التصحيح للمجموعة (0.8)

∴ التيار المقنن المطلوب = $\frac{30}{0.8\times0.79}$ أمبير 47 أمبير

6) من جدول مقدرة حمل التيار للكوابل نجد الكيبل المناسب هو 10 ملم^2 بسعة حمل تيار مقداره 55 أمبير بهبوط جهد مقداره 4.2 ملي فولت/أمبير/متر .

7) تأكد من هبوط الجهد ∴ $\frac{4.2}{1000}$ ×55× 10= 2.31 فولت أقل من 6 فولت



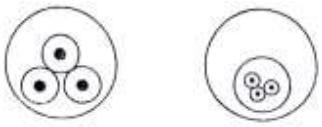
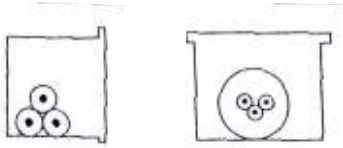
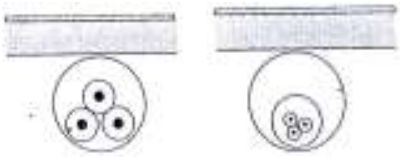
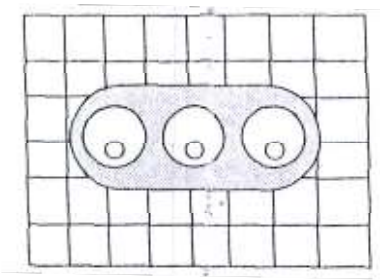
مواقع وحدات التحكم لآلة الطبخ *Position of control unit for cooker*

يجب أن تكون مسافات وحدة التحكم عن أجهزة الطبخ قريبة بقدر الإمكان لا يتجاوز مترين كحد أقصى من جهاز الطبخ كما هو موضح في الشكل أعلاه

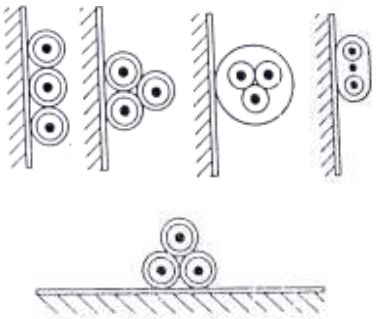
الباب السابع
طرق الامداد للأسلاك والكوابل

7.1 طرق طبق الأصل لإمداد الاسلاك والكوابل :

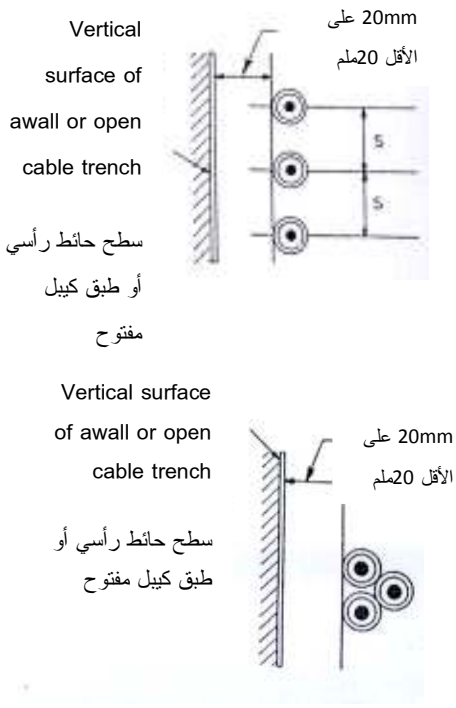
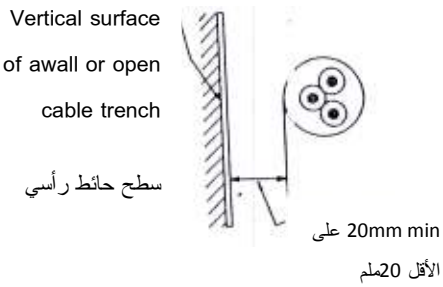
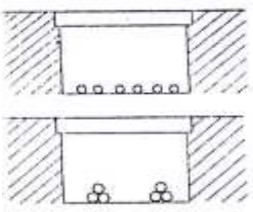
Typical methods of installation of cable and conductors

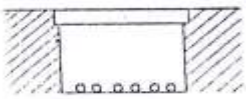
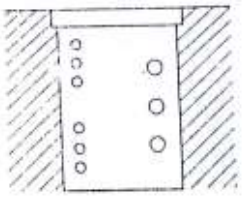
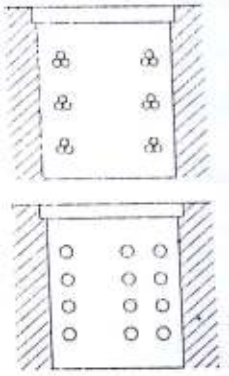
Enclosed داخل الحاويات			
Type النوع	Description الوصف	Example	أمثلة
A	Single –core and multicore cables , enclosed in conduit . كوابل بمفردة قلب أو كوابل متعددة القلوب داخل حاويات من المواسير والخراطيش		
B	Single – core and multicore cable enclosed in cable trunking . كوابل بمفردة قلب أو كوابل متعددة القلوب في ترنكات الكوابل		
C	Single – core and multicore cable enclosed in underground conduit , ducts , and cable ducting . كوابل بمفردة قلب أو كوابل متعددة القلوب في ناقلات تحت الأرض .....مواسير أو خراطيش أو قنوات أو مجاري		
D	Tow or more single – core cable contained in separate bores of amulticore conduit and intended to be solidly embedded in concrete or plster or generlly incopora–ted in the bulding structure (may be used as a prefabricated wiring system). إثنان أو أكثر من كوابل بمفردة قلب داخل ناقلات متعددة القلوب في تجويفات منفصلة لتكون مفروزة بصلابة في طبقة أسمنتية أو بياض الجدران		

‘ Open and clipped direct ’ مفتوح ومثبت مباشرة

E	Sheathed single – core and multicore cables clipped direct to or lying on nonmetallic surface . كوابل بمفردة قلب أو متعددة القلوب ملبسة بأغلفة واقية مثبتة مباشرة أو موضووعة على سطح غير معدني	
F	Sheathed single – core and multicore cables on a cable tray , bunched and unenclosed . كوابل بمفردة قلب أو متعددة القلوب على طبق كيبل محزمة وغير مقفولة	
G	Sheathed cables embedded direct in plaster other than special thermally insulating plasters . كوابل ملبسة بغطاء واقي مقروزة مباشرة داخل أغطية خلافاً للاغلفة الخاصة للعزل الحراري	
H	Sheathed single – core and multicore cables suspended from or incorporating a catenary wire .	

‘ defined conditions ’ حالات معينة

J	Sheathed single – core cables in free air . كوابل بمفردة قلب ملبس بغطاء واقي في الهواء الطلق S ، طوله ضعف القطر الكلي لكيبل عندما تكون مساحة مقطع السلك لا يزيد عن 185 ملم^2 S ، طوله 90 ملم عندما تكون مساحة مقطع السلك يزيد عن 185 ملم^2	
K	Sheathed twin and multicore cables in free air . جوز مغلف و كوابل متعددة في الهواء الطلق . الكوابل المتباعدة بمسافة أقل يفترض أن يثبت مباشرة (انظر طريقة E)	
In enclosed trenches		
L	Single and multicore cable in enclosed trench 450 mm wide by 300mm deep (minimum dimenenslons) including 100mm cover .	

	كوابل بفردة قلب وكوابل متعددة القلوب في طبق مغلق داخل طبق مغلق عرضه 450 ملم وعمق 300 ملم (أقل أبعاد) ويشمل غطاء 100 ملم .	
M	Single and multicore cable in enclosed trench 450 mm wide by 600 mm deep (minimum dimensions) including 100mm cover . كوابل بفردة قلب وكوابل متعددة القلوب داخل طبق مقفولة بعرض 450 ملم وعمق 600 ملم (على الأقل) وتشمل غطاء 100 ملم .	
N	Single and multicore cables in enclosed trench 600 mm wide by 760 mm deep (minimum dimensions) including 100mm cover . كوابل بفردة قلب وكوابل متعددة القلوب في طبقة مغلقه عرضه 600 ملم وعمق 760 ملم (على الأقل) وتشمل غطاء 100 ملم .	

7.2 حاويات (أغطية) الأسلاك والكوابل للحماية الميكانيكية :

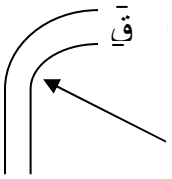
التركيبات للوقاية الميكانيكية للأسلاك والكوابل تشمل :

(أ) مواسير حديدية (ب) مواسير غير حديدية (جـ) خراطيش pvc (د)الترنكات

(هـ) مجاري أو قنوات خاصة لسحب الأسلاك والكوابل Ducts

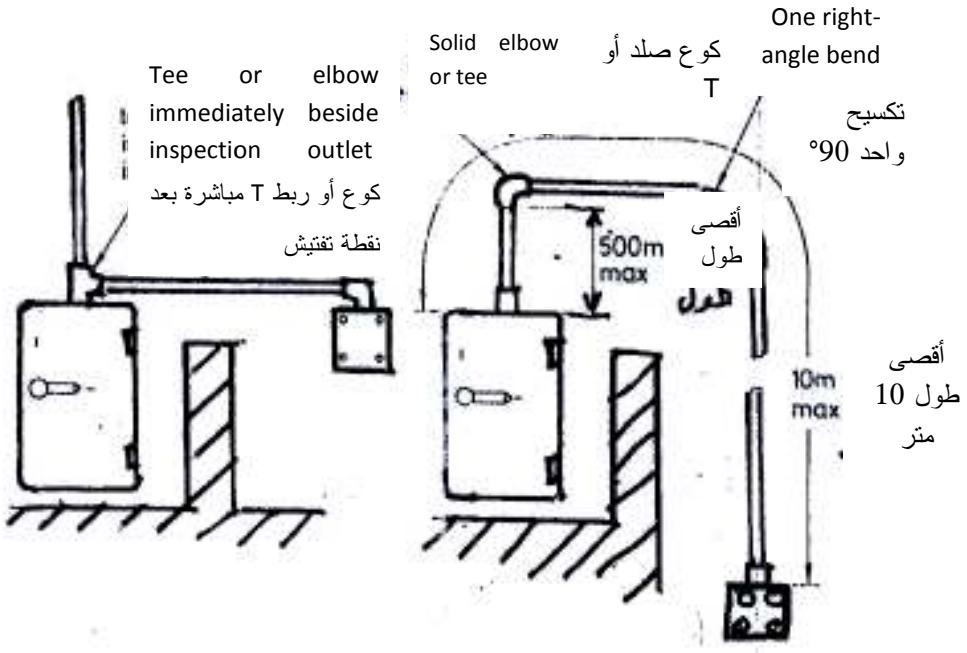
المواسير والخراطيش :

1. يجب اتمام إنشاء تركيبات المواسير والخراطيش Conduits قبل سحب الأسلاك .
2. يجب أن تحمي من دخول الأتربة والغبار والماء .
3. يجب أن يثبت بطريقة مثلى وفي حالة خراطيش pvc الثابتة يجب الاحتياط للمد المستقبلي .
4. يجب أن لا يكون نصف القطر الداخلي لإنحناء الخرطوش أو الماسورة أقل من 2.5 مرة من القطر الخارجي للخرطوش أو الماسورة أي أن أقل انحناء لنصف القطر الداخلي لا تقل عن 2.5 ق حيث ق القطر الخارجي للماسورة أو الخرطوش ويمكن أن يكون أكبر من ذلك لتمكين الكيبل من الانحناء بطريقة



مريحة يمكن تكسيح خراطيش الـــ pvc وهي باردة بالرغم من أفضل النتائج يمكن الحصول عليها بإحماء الخرطوش بلطف قبل إجراء عملية التكسيح من مصدر حراري غير أنه يتواجد الآن في الأسواق قطع خراطيش مكسحة جاهزة لتنفيذ المنحنيات ويمكن تكسيح المواسير عن طريق مكعب تكسيح أو آلة التكسيح .

5. يجب أن يتوفر عدد مناسب من نقاط التفتيش (علب توصيل أكواع ، أربطة T) وذلك لسحب الأسلاك اللزمة وإضافة أسلاك في المستقبل أو الاختبار ينحصر استخدام أكواع ورباطات حرف الـــ T الغير قابلة للتفتيش (solid elbws) للتطبيقات الآتية فقط والموضحة في الشكل التالي



Use of solid conduite elbows and tees

استخدام كوع صلد أو أربطة T في خرطوش أو ماسورة

الترنكات (Trunking) :

الترنكات نظام حاويات لتغليف الاسلاك والكوابل عادة تكون مساحة مقطعها مربعة أو مستطيلة الشكل ويمكن فك أحد جوانبه كلية أو فكه وهو متصل بمفصل .

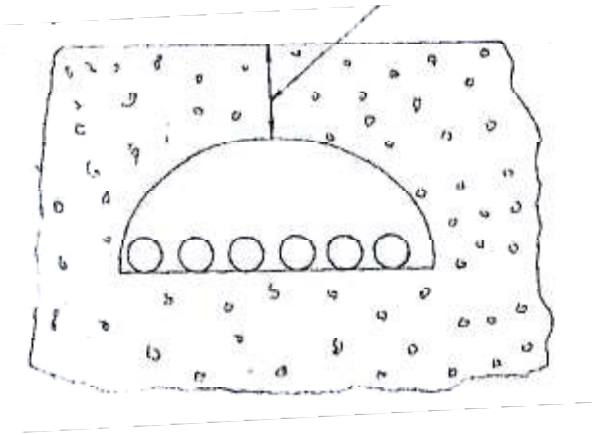
يستخدم نظام الترنكات بديلاً للمواسير والخراطيش عندما يكون عدد الكوابل المستخدمة كبيراً أو كوابل أقل بمساحة مقطع كبيرة .

نظام الضكت (Duct) :

وهو عبارة عن مجرى أو قناة مقفله تحت أرضية المبنى لسحب الاسلاك والكوابل فيها ، ويعرف ضكت الكوابل بأنه الغطاء المجهز من مصانع الانتاج بمقاسات مختلفة والمكونة من معدن أو مادة عازلة خلافاً للخراطيش والمواسير والترنكات بغرض حماية الكوابل بعد اتمام نظام الضكت والذي يجب أن لا تكون جزء مكون لتشيد المبنى .

Minimum radial thickness of concrete 15mm

أقل سمك من الصب الخرصاني 15 ملم



Minimum thickness of concrete surrounding a duct in situ

7.3 عوامل الفراغ :

عند سحب الاسلاك والكوابل أوعند وضع الاسلاك والكوابل في الحاويات يجب أن لا يحدث اتلاف للاسلاك والكوابل أو للحاويات يجب أن لا تزيد نسبة المساحة المشغولة بالاسلاك أو الكوابل عن 45٪ من المساحة الكلية للحاوية .

وهذا يعني أن :

$$\frac{\text{مجموع مساحة مقطع الاسلاك أو الكوابل}}{\text{مساحة المقطع الداخلي للماسورة أو الخرطوش أو الترنك}} \times 100 \text{ يجب أن لاتزيد عن } 45٪$$

7.4 تحديد حجم المواسير و الخراطيش و الترنكات الضرورية لإجتواء اسلاك وكوابل بحجم واحد أو أحجام مختلفة .

7.4.1 كوابل معزولة بالـــ pvc بفردة قلب داخل ماسورة أو خرطوش مستقيم لا يتعدى طوله 3 متر

1. لكل كيبل مستخدم أوجد عامل الكيبل من جدول 12A .
2. أحسب عوامل كل الكوابل وقارنه بعوامل الماسورة أو الخرطوش في جدول 12B .
3. اختار الماسورة أو الخرطوش الذي يعطي نفس العوامل للكوابل أو يزيد .

TABLE 12A

Cable factors short straight runs

عوامل الكيبل لإمداد قصير مستقيم

Type of conductor نوع الموصل	Conductor cross-sectional area mm^2 مساحة مقطع الموصل	Factor العامل
Solid صلد	1	22
	1.5	27
	2.5	39
Stranded بشعيرات	1.5	31
	2.5	43
	4	58
	6	88
	10	146

TABLE 12B

conduit factors short straight runs

عوامل الخرطوش والمواسير لإمداد قصير مستقيم

Conduit dia mm قطر الخرطوش بالملم	Factor العامل
16	290
20	460
25	800
32	1400

مثال :

اذا كان المطلوب سحب 6×2.5 ملم^2 من الكوابل معزولة بالــ pvc بقلب صلد داخل خرطوش مستقيم طوله 2.5 متر . أوجد الحجم المناسب للخرطوش .

الحل :

من جدول 12A عامل الكيبل الواحد 39 وحيث أنه توجد 6 كوابل فإن العوامل الكلية للكوابل =6×39 =234 من جدول 12B الخطوش 16 ملم له عامل 290 وهو أكثر من 234

∴ الخرطوش 16 ملم مناسب .

7.4.2 كوابل معزولة بالــ pvc بفردة قلب داخل ماسورة أو خرطوش يزيد طوله عن 3 متر ويحتوي على إنحنايات أو مجموعات مختلفة من الاسلاك والكوابل .

1. تحصل على عوامل الاسلاك والكوابل من جدول 12C .
2. أجمع عوامل الكلية وقارنه بعوامل المواسير والخراطيش في جدول 12D مأخذ في الحساب الطول الكلي والمنحنيات والمجموعات (مجموعتان تعد منحنى) .

مثال (1):

يسحب خرطوش لمسافة 8 متر وتحتوي على 90° منحنى ومجموعتان من الكوابل على الخرطوش صل مجموعتين من الكوابل معزولة بالــ pvc بمفردة قلب المجموعتان هما 6× 1.5 ملم^2 ، 5× 2.5 ملم^2 اختار حجم الخرطوش المناسب .

الحل :

من جدول 12C عوامل الكيبل هي 6× 1.5 ملم^2 22 للكيبل الواحد

عوامل 6 كوابل = 6×22= 132

كيبل 5× 2.5 ملم^2 ، 30 للكيبل الواحد عوامل 5 كوابل 5×3 = 150

مجموع عامل الكوابل = 282

من جدول 12D لطول 8 متر ومنحنيين (مجموعتان بعد منحنى واحد) نجد أن خرطوش 25 ملم له عامل 292 لذا نجد أن هذا الخرطوش مناسب .

مثال (2) :

خرطوش طوله 4 متر وبه 3 منحنيات ممدودة لحمل 12×1ملم^2 كيبل معزول بالـــ pvc أوجد حجم الخرطوش المناسب .

الحل :

من الجدول 12C عامل الكوابل = 12×16=192

من جدول 12D نجد أن حجم الخرطوش المناسب هو 25 ملم بعامل 292 هذا الخرطوش يمكن أن يحمل عدد سته من كوابل 1 ملم^2 إضافية للكوابل السابقة .

TABLE 12C

عوامل الكوابل لإمداد طويل مستقيم أو يشمل انحنايات		
Type of conductor نوع الموصل	Conductor cross-sectional area mm^2 مساحة مقطع الموصل	Factor العامل
Solid or Stranded صلد أو بشعيرات	1	16
	1.5	22
	2.5	30
	4	43
	6	58
	10	105

TABLE 12 D

Conduit factors for runs incorporating bends

عوامل الخراطيش والمواسير لإمداد يشمل انحنايات

Length of run m طول الإمداد بالمتر	Conduit diameter , mm قطر الخرطوش أو الماسورة بالملم																			
	16	20	25	32	16	20	25	32	16	20	25	32	16	20	25	32	16	20	25	32
	Straight مستقيم				One bendانحناء واحدة				Tow bends انحنائين				Three bends ثلاثة انحنايات				Four bendsأربعة انحنايات			
1	Covered by tables 12A and 12B تمت تغطيته في جدول 12 B و 12 A				188	303	543	917	177	286	514	900	158	256	463	818	130	213	388	692
1.5					182	294	528	923	167	270	487	857	143	233	422	750	111	182	333	600
2					177	286	514	900	158	256	463	818	130	213	388	692	97	159	292	529
2.5					171	278	500	878	150	244	442	783	120	196	358	643	86	141	260	474
3					167	270	487	857	143	233	422	750	111	182	333	600				
3.5	179	290	521	911	162	263	475	837	136	222	404	720	103	169	311	563				
4	177	286	514	900	158	256	463	818	130	213	388	692	97	159	292	529				
4.5	174	282	507	889	154	250	452	800	125	204	373	667	91	149	275	500				
5	171	278	500	87	150	244	442	783	120	196	358	643	86	141	260	474				
6	167	270	487	857	143	233	422	750	111	182	333	600								
7	162	263	475	837	136	222	404	720	103	169	311	563								
8	158	256	463	818	130	213	388	692	97	159	292	529								
9	154	250	452	800	125	204	373	667	91	149	275	500								
10	150	244	442	783	120	196	358	643	86	141	260	474								

7.5 كوابل بمفردة قلب معزولة بالـــ pvc في ترنكات :

لكل كيبل مستخدم تحصيل العامل من جدول 12E أجمع كل عوامل الكوابل وقارن الترنكات في جدول 12F حجم الترنك المناسب هو الحجم الذي يساوي مجموع عوامل الكوبل أويزيد عن ذلك .

مثال (1) :

المطلوب من ترنك حمل 40×2.5 ملم^2 موصل صلد ، 10×4 ملم^2 و 5×6 ملم^2 كوالب بمفردة قلب . ماهو الحجم المناسب للترنك ؟

الحل :

الكوابل المذكورة موجودة في جدول 12E

من جدول 12E

∴ عامل الكيبل = (40×10.2) + (10×15.2) + (5×22.9) = 408 + 152 + 114.5 = 67405

من جدول 12F نوجد أقل ترنك بعامل يزيد عن 674.5 الترنك 75 ملم× 25 ملم له عامل 738 وهذا هو الترنك المطلوب .

TABLE 12E

Cable factors for trunking

عوامل الكوابل للترنكات

Type of conductor نوع الموصل	Conductor cross-sectional area mm^2 مساحة مقطع الموصل بالملم^2	Factor العامل
Solid صلد	1.5	7.1
	2.5	10.2
Stranded بشعيرات	1.5	8.1
	2.5	11.4
	4	15.2
	6	22.9

TABLE 12F

factors for trunking

عوامل للترنكات

Dimensions of trunking mm×mm أبعاد الترنك	Factor العامل
50×37.5	767
50×50	1037
75×25	738
75×37.5	1146
75×50	1555
75×75	2371
100×25	993
100×37.5	1542
100×50	2091
100×75	3189
100×100	4252
10	36.3

للكوابل والترنكات الأخرى الغير موجودة في جدول 12E و 12F فإن المساحة الكلية للكوابل داخل الترنك يجب أن لا تزيد عن 45٪ من مساحة الترنك .

مثال :

المطلوب سحب الكوابل التالية في الترنك 18×10ملم^2 ، 13×16ملم^2 ،3×35ملم^2 أوجد حجم الترنك المناسب ؟

الحل :

مساحة المقطع للكوابل المغطية هي مساحة الموصلات فقط وليست المساحة الكلية لكل موصل لايجاد المساحة الكلية لكل كيبل أو موصل يمكن الرجوع إلى كتلوج المصنع أوقياس القطر الخارجي لكل كيبل ومنها ايجاد المساحة الكلية لكل كيبل .

10ملم^2 ← القطر الكلي 6.2 ملم

∴ مساحة المقطع الكلي = $\frac{\Pi \text{ ق}^2}{4}$ حيث ق القطر الكلي للكيبل

= $\frac{\Pi \times (6.2)^2}{4}$ = 30.2 ملم^2

16ملم^2 ← القطر الكلي = 7.3ملم^2

∴ مساحة المقطع الكلي = $\frac{\Pi \times (7.3)^2}{4}$ = 41.9ملم^2

35ملم^2 ← القطر الكلي = 11ملم

∴ مساحة المقطع الكلي = $\frac{\Pi\ (11)^2}{4}$ = 95.0ملم^2

المساحة الكلية المأخوذة بواسطة الكوابل

18× 10ملم^2 = 18× 130.2 = 543.6 ملم^2

13× 16ملم^2 = 13× 41.9 = 544.7 ملم^2

3× 35ملم^2 = 3× 95 = 285.0 ملم^2

مجموع المساحة الكلية = 1373.3 ملم^2

اذا كان م مساحة المقطع الكلي للترنك المطلوب

∴ م × $\frac{45}{100}$ = 1373.3 ملم^2

∴ م = $\frac{100 \times 1373.3}{45}$ = 3052 ملم^2

اختار الترنك الذي يظهر أنه مناسب على سبيل المثال

75× 37.5ملم^2 المساحة م لها = 2812 ملم^2 هذا الترنك صغير

اختار الترنك 75× 50 ملم^2 المساحة م لها = 3750 ملم^2 هذا الترنك أكبر قليلاً .

7.6 دعامات الكوابل والاسلاك :

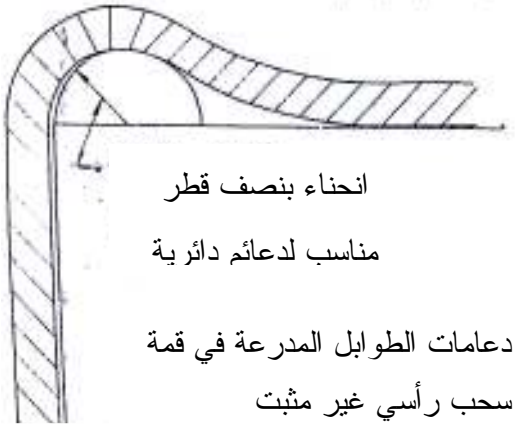
يجب التأكد أولاً أن الكوابل غير معرضة للإجهاد

الجدول أدناه يعطي مسافات الدعائم اللازمة لتثبيت الكوابل عندما تسحب الكوابل في مواقع يسهل الوصول إليها .

جدول مسافات الدعائم لكوابل يمكن الوصول إليها

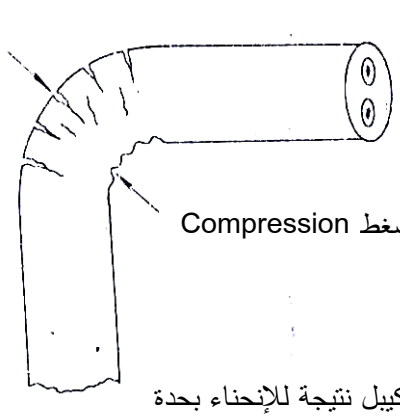
القطر الكلي للكيبل	المسافة القصوى للكلبسات							
	كوابل غير مدرعة من المطاط أو pvc أو كوابل ملبسة بغلاف الرصاص				كوابل مدرعة		عازل معدني كوابل بأغطية من النحاس أو الالمونيوم	
	عامة		كرافانات					
1	أفقي 2	رأسي 3	أفقي 4	رأسي 5	أفقي 6	رأسي 7	أفقي 8	رأسي 9
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
≤ 9	250	400			–	–	600	800
>9≤ 15	300	400			350	450	900	1200
>15≤ 20	350	450	150	250	400	550	1500	2000
>20≤ 40	400	550	لكل الاحجام	لكل الاحجام	450	600	–	–

في المواقع التي لا يسهل الوصول إليها كفراغات الأسطح فإن الدعائم غير مطلوبة بشرط أن تكون الأسطح ملساء وزن الكوابل الرأسية يجب أن لا تسمح في التسبب في ضغط غير ضروري على الإمداد عند قمة السحب للكوابل المردعة يجب أن توضع دعائم دائرية بنصف قطر مناسب عند القمة .



دعامات الطوابل المدرعة في قمة سحب رأسي غير مثبت

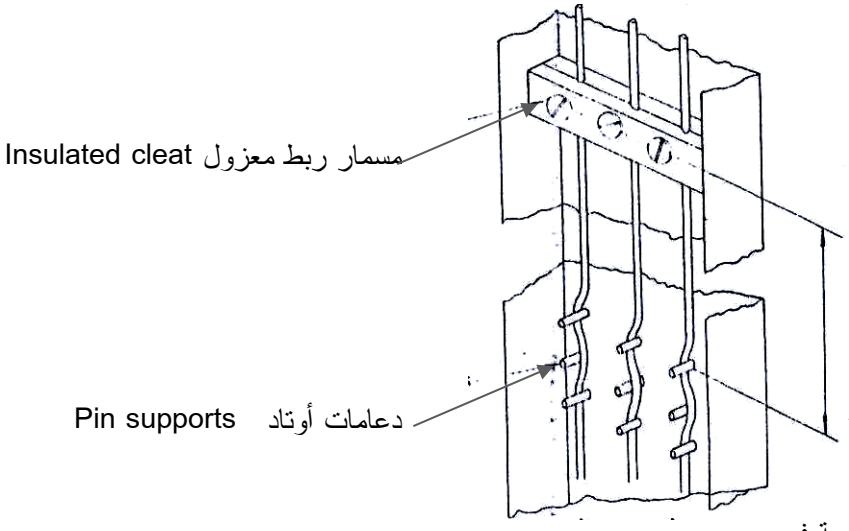
Support for an armoured cable at the top of vertical un-supporyed run



تلف الكيبل نتيجة للإنحناء بحدة

Damage to a cable by bending it too sharply

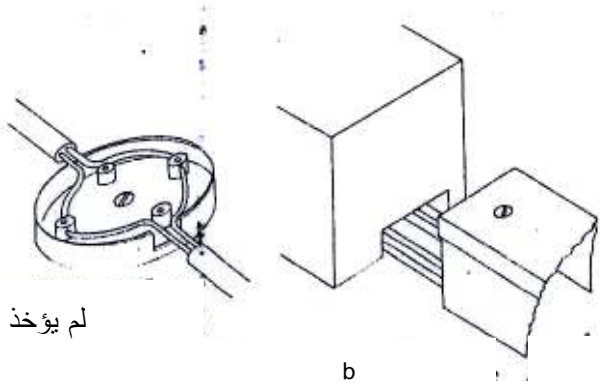
بالنسبة للكوابل الغير ملبسة بغطاء داخل الخراطيش والمواسير والترنكات عندما تزيد المسافة الدعامات عن 5 متر فإنه يجب أن يدعم بدعائم دائرية مع الإنحناء اللازم برفق ونعومة وبصنف قطر صحيح الكوابل الأخرى الرأسية في حاويات يجب أن يدعم بمسافات لا تزيد عن 5 متر .



دعامات الكوابل الرأسية فى

Supports for vertical cables in trunking

أغطية الكوابل يجب ان توحد داخل علب التوصيل ويجب ان لا توجد أي مسافة للكوابل بين الترنكات وأي جهاز بدون حماية ويجب أن لا تترك أغطية علب التوصيل والترنكات من غير أن تقفل .



لم يؤخذ الغطاء داخل العلبة

a

Sheath not taken into joint box

b

Trunking not complete

الترنك غير مكتمل

الفشل في تغطية الكوابل الغير مغلفة

Failure to enclose nonsheathed cables

الباب الثامن

التأريض (الأرضي) Earthing

8.1 تعريف :

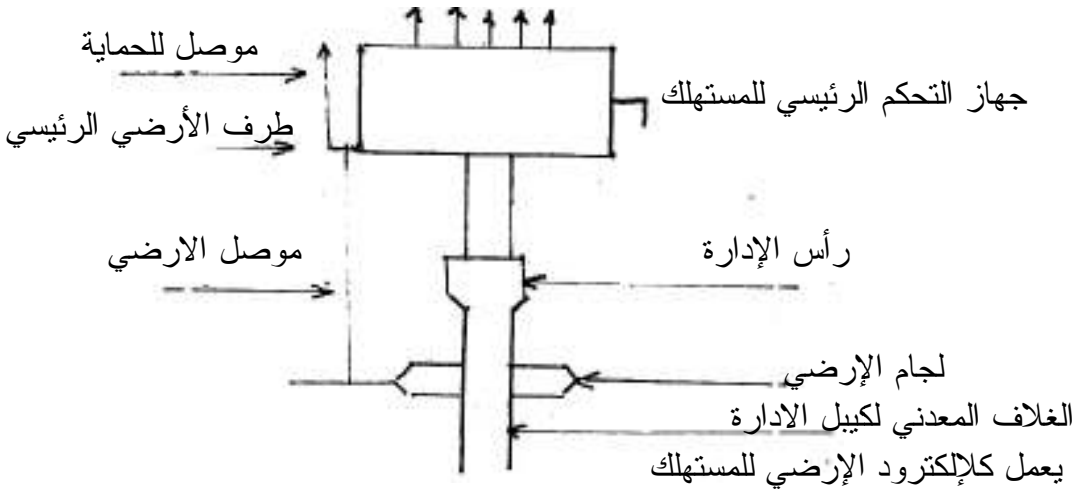
الأرضي يعني توصيل فعال إلى كتلة الأرض العام والمطلب الأساسي هو إلكترود الأرضي المتصل بالأرض والإلكترود يمكن أن يكون على شكل بكرات أو مكعبات أو ألواح معدنية أو مواسير معدنية تحت الأرض أو الغطاء المعدني أو الدرع المعدني لكيبل التغذية أو أي توصيلة فعالة إلى الأرض .

الموصل النهائي الذي يوصل إليه أحد أطراف إلكترود الأرضي يسمى موصل الأرضي والطرف الآخر لموصل الأرضي يوصل إلى طرف الأرضي الرئيسي الموجود جوار أطراف المستهلك الموصل الذي يوصل أجزاء التوصيلات المؤرضة إلى طرف الأرضي يسمى موصل الحماية .

يجب أن لا تستخدم كوابل الالمونيوم كموصلات أرضي حيث أنها معرضة إلى التحلل والتآكل أقل مساحة مقطع لموصل النحاس 25 ملم^2 واذا استخدم الصلب فإن أقل مساحة مقطع 50 ملم^2 ويجب أن تطلى موصلات الصلب اذا استخدمت . وتوصل الأجزاء التالية إلى موصل الحماية :

1) الجسم أو الهيكل المعدني المكشوف للأجهزة .
2) أطراف الأرضي للمقابس (البرايز) .
3) طرف الأرضي إلى عناصر الإضاءة والمفاتيح .

لا داعي لتوصيل موصل الحماية (الأرضي) لبعض الأجهزة المعبئة داخل مادة بلاستيكية بدلاً من المعادن مثل أجهزة الراديو والتلفزيون ... الخ ، إذ تعمل المادة البلاستيكية كطبقة عازلة إضافية حول الأسلاك وتسمى بالأجهزة المعزولة عزلاً مزدوجاً . Double Insulation



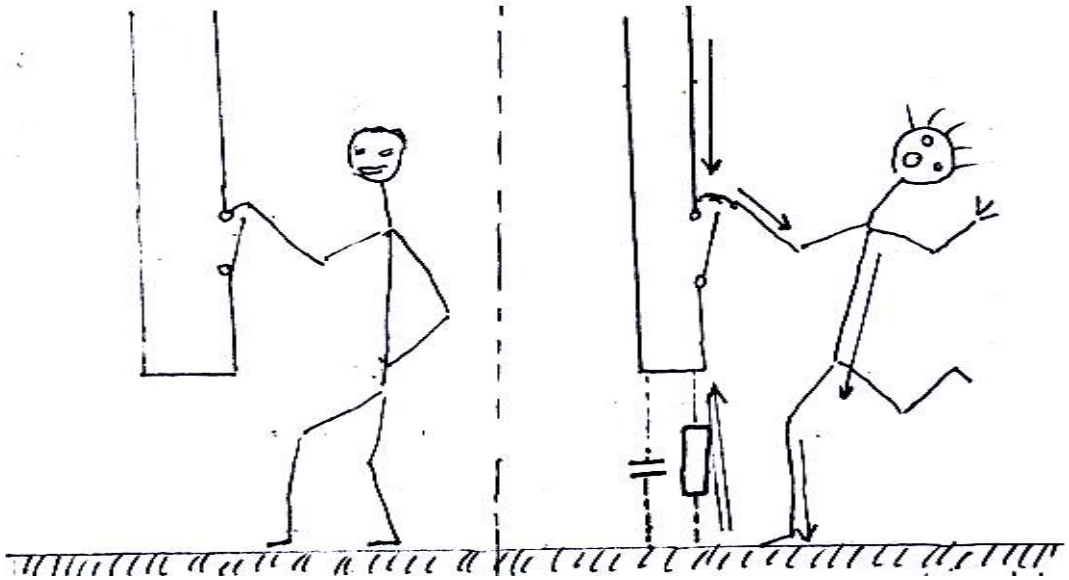
8.2 مميزات وعيوب الأرضي :

مميزات الأرضي :

1. نضمن أن كل النظام موصل إلى جهد كتلة الأرض العام ولا يمكن أن يطفح إلى جهد آخر . فمثلاً يتم التأكد بأن محايد النظام عند أو قريب جداً من جهد يساوي صفر فولت وليس أعلى أو أدنى بسبب الشحن .
2. بتوصيل الأجسام المعدنية العاملة والتي ليس الغرض منها حمل تيار إلى الأرض يتوفر طريق للتيار المتسرب والذي يمكن أن يختبر ويفصل اذا دعى الحال .

العيوب :

1. التكاليف .
2. السلامة : هناك جدل سائد يقول أن العزل التام من الأرضي يمنع الصدمة من الأجزاء المعدنية المكشوفة لأنه لا يوجد مسار مكتمل لتيار الصدمة . مهما يكن فإن هذا الجدل يجهل تأثير المقاومة المتسربة (لعزل غير جيد) وسعة الطور إلى الأرضي وفي حالات كثيرة فإن مقاومة المجموعة تكون منخفضة لإمرار تيار كافي .



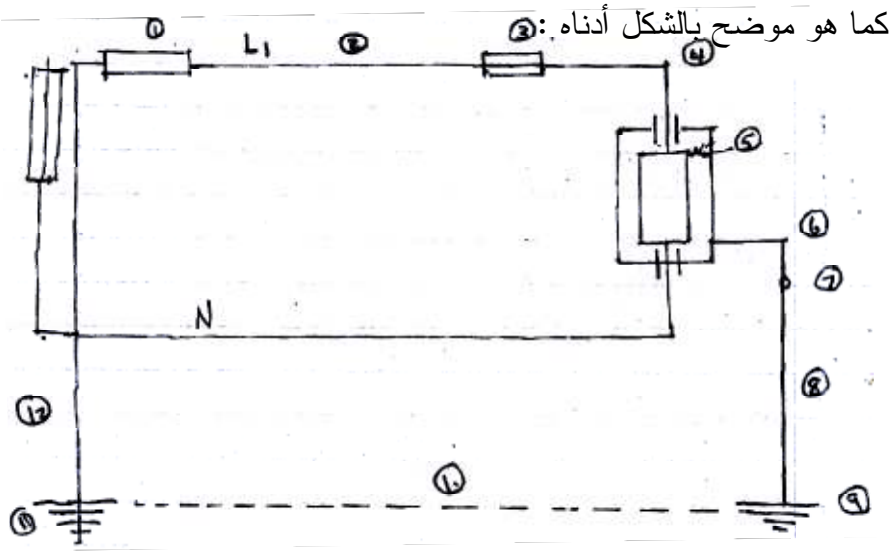
خطر حقيقي : يمر تيار الصدمة خلال المقاومة الشاردة والمكثف الشارد

Stray Resistors and capacitors

سلامة ظاهرية : لأنة لا يوجد مسار تيار للصدمة

8.3 معاوقة مسار خطأ الأرضي :

اذا حدث خطأ ذي معاوقة يمكن جهلها بين موصل السلك الحي إلى الغطاء المعدني المؤرض فإن جهد المصدر سوف يتسبب في إمرار تيار الخطأ بالإضافة إلى تيار الحمل المعتاد خلال مسار خطأ الأرضي كما هو موضح بالشكل أدناه :



(1) المحول – الملف الثانوي لمحول المصدر (2) موصل الطور من المحول إلى التركيبة

(3) جهاز الوقاية للتركيبة (4) موصلات التركيبة من الأخذ إلى مكان الخطأ

(5) الخطأ (يفرض دائماً بأن معاوقته صفراً) (6) نظام موصل الحماية

(7) نقطة الأرضي الرئيسي (8) موصل الأرضي

(9) إلكترود الأرضي للتركيبة (10) كتلة الأرضي العام

(11) إلكترود الأرضي للإدارة (12) موصل الأرضي للإدارة .

لحساب تيار الخطأ يجب معلومية جهد الطور ومعاوقة المسار

تيار الخطأ = $\frac{\text{جهد الطور}}{\text{معاوقة المسار}}$ اذا كان جهد الطور 240 فولت محمي بواسطة منصهر يمكن تغيير سلكه 15 أمبير ومعاوقة مسار الأرضي 2.4 أوم

∴ تيار مسار الخطأ = $\frac{240}{2.4}$ = 100 أمبير وتيار دائرة يبلغ 100 أمبير يتسبب في إنصهار المنصهر في كسر من الثانية وسوف يكون تيار الحمل اضافة لتيار الخطأ ويسبب فى استعجال صهر المنصهر فمهما يكن فإن تيار الحمل لا يؤخذ فى الاعتبار لأن عدم توصيل الحمل فى تلك اللحظة وارد.

804 قواطع دائرة التسريب الأرضى Earth Leakage Circuit Brealcers

(أ) الحاجة إلى قواطع دائرة التسريب الأرضى :

سبق أن أوضحنا الحاجة إلى مسار خطأ الأرضي المستمر لتحقيق تيار تسريب أرضي كافي ليعمل جهاز الوقاية ، هناك أحوال مهما يكن تكون فيها معاوقة الخطأ أو معاوقة خطأ مسار الأرضى كبيرة لاتسمح بامرار تيار كأفى يضمن فصل الدائرة واذا كانت معاوقة خطأ كبيرة لاتسمح بإمرار تيار كافي يضمن فصل الدائرة واذاكانت معاوقة خطأ مسار الأرضي كبيرة هذا يعنى :

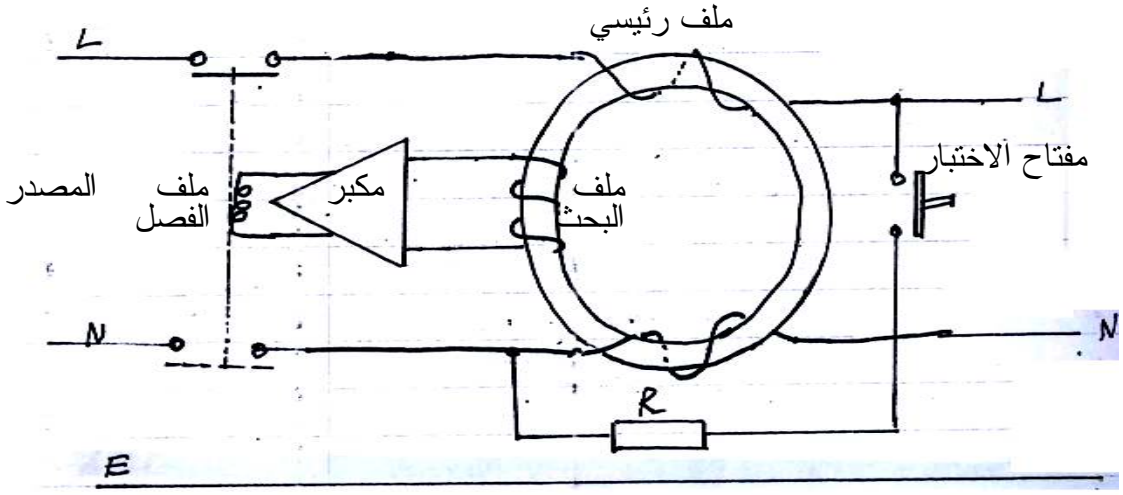
(1) استمرار انسياب التيار إلى الأرضي مما يسبب حرارة او حرائق .

(2) الأجسام المعدنية المعروضة للمس من الممكن أن تكون بجهد عالي بالمقارنة الى الأرضي يمكن تلافي هذين الاحتمالين بتركيب قاطع دائرة بتسريب أرضي . هناك نوعان من هذه القواطع :

(ب) قاطع دائرة بتيار متبقى Residual –Current Cuircut Breaker (R C B)

يسمى هذا النوع من قواطع دائرة التسريب الأرضي أيضاً بالنوع التفاضلي أو النوع التياري ويفصل الدائرة عندما يصل تيار التسريب الأرضي إلى القيمة الموضوعة لها يبين الشكل المبين فى الفقرة 8.3 أن تيار التسريب الأرضي يمر خلال موصل الطور فى طريقه إلى الأرضي ولكن لا يرجع عن طريق المحايد .

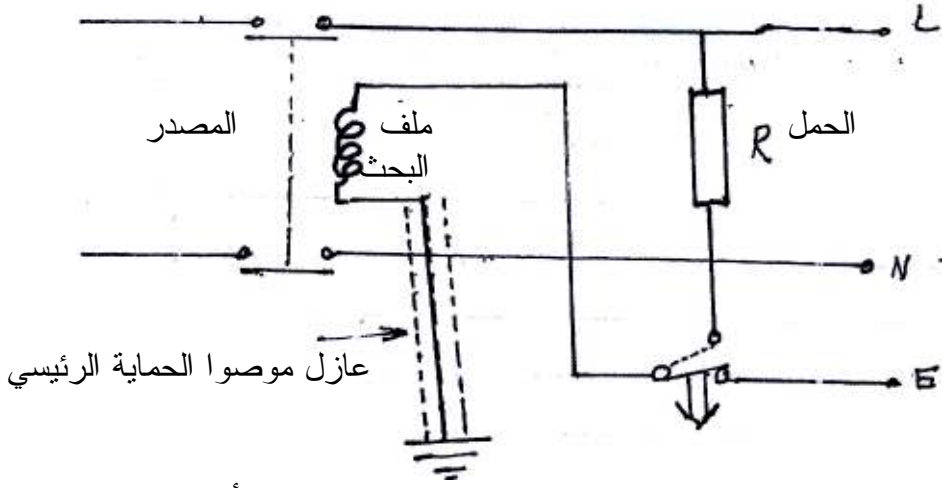
الفرق بين تيار الطور وتيار المحايد هو تيار التسريب الأرضي . يبين شكل 8.4 ب مثل هذا النوع من القواطع تكون نقاط الاتصال الرئيسية مغلقة تحت ضغط ياي .



عند حدوث خطأ تسريب تفتح هذه النقاط بواسطة مغناطيس يمر تيار الطور والمحايد فى ملفين متشابهين ملفوفين فى اتجاه معاكس وبذلك يتوافر أمبير لفات متساوية .

ولكن فى الاتجاه المضاد ولا ينشأ مجال مغناطيسي عندما يكون التيارين متساوين عندما يكون هناك تسريب أرضي يكون تيار الطور أكبر من تيار المحايد ويتولد أمبير لفات أكبر من أمبير لفات المحايد وينشأ فيض مغناطيسي متغير في القلب وتتولد قوة دافعة كهربية تأثيرية بين طرفي ملفات الباحث ويمر تيار في ملفات القطع ويفصل النقاط الرئيسية وبالضغط على مفتاح الاختبار يمكن إختيار صلاحية الجهاز وبالرغم من أن القاطع جهاز تشغيل تيار إلاّ أنه يمكن أن يتسبب في إرتفاع جهد الأجسام المعدنية الموصلة إلى الأرضي إلى درجة خطيرة إذا كانت معاوقة مسار الخطأ كبيرة وتمنع القوانين استخدام مثل هذا الجهاز إذا كان حاصل ضرب تيار التشغيل الاممى في حاصل معاوقة مسار الخطأ يزيد عن 50 فولت ويجب أن لا يستخدم مثل هذا الجهاز في نظام الأرضي الذي يوحد المحايد وسلك الأرضي في هذه الحالة لا يوجد مسار منفصل للمحايد وتيارات التسريب الأرضي في الحالات التي لا يتوفر فيها سلك الأرضي من الإدارة (نقطة المحايد موصلة إلى الأرضي في المحطة الفرعية) فيجب توصيل دوائر المقابس بأجهزة من هذا النوع بحيث لا يتعدى تيار التشغيل 30 ملي أمبير .

(جـ) قواطع الدوائر التي تعمل بجهد خاطئ :



الشكل الموضح في الفقرة 8.4 جـــ يبيّن هذا النوع من القواطع وهو أقل حساسية بالمقارنة إلى النوع التياري ويمكن أن يتأثر بأخطأ خارج التركيبة التي تحمية تيار الخطأ في هذا النوع يمر مباشرة

في ملف القطع ويكفي تيار شدته بضع ملي أمبير لفصل توصيلة النقاط الرئيسية ومن الممكن أن تكون معاوقة مسار الأرضي كبيرة جداً .

لإختبار دائرة القطع يوصل موصل الطور خلال مقاومة لتحديد قيمة التيار بفصل الملف ، وقبل إجراء ذلك يجب فصل موصلات الحماية لأن وجود أي فتح في دائرة ملف القطع أو الارضي أو إلكترود الأرضي سوف يرفع جهد أي جسم معدني في التوصيلة لجهد الطور .

يفضل استعمال أجهزة النوع التياري لحماية التسريب الأرضي ماعدا عندما تكون معاوقة مسار الأرضي كبيرة .

A plug-in RCD gives protection against the risk of electrocution.

الباب التاسع

فحص واختبار الدائرة الكهربية

تسلسل الإختبار :

(أ) التسلسل المنصوح به

1. اختبار إستمرار الدائرة الحلقية .
2. اختبار استمرار موصل الوقاية .
3. قياس مقاومة إلكترود الأرضي .
4. قياس مقاومة الأرضي .
5. التأكد من الحماية بواسطة الحواجز والأغلفة .
6. قياس العزل للأرضية والجدران والغير موصل .
7. التأكد من القطبية .
8. قياس مقاومة مسار الخطأ الأرضي .
9. إختيار عمل قواطع التسريب الأرضي .

(ب) الحاجة إلى التسلسل :

من الضروري إجراء الاختبارات بالتسلسل المطروح في الفقرة (أ) على سبيل المثال يجب إختبار الاستمرارية وبالتالي فعالية موصلات الوقاية قبل الشروع في إختبار مقاومة العزل ، فتح دائرة موصل الحماية يرتبط بمقاومة عزل منخفضة جداً مما يعرض كل الأجهزة المحمية إلى جهد جي بواسطة جهد الاختبار عند إجراء إختبار العزل في الغالب يكون من الضروري توصيل إمداد التركيبة للمصدر الكهربائي للتمكن من إجراء إختبار مسار الخطأ الأرضي ومن الواضح تكون هناك خطورة عند توصيل المصدر للتركيبة بدون اختبار نظام الحماية والعزل والقطبية .

المحركات ثلاثية الأطوار :

توجد أنواع مختلفة من محركات التيار المتردد ثلاثية الأطوار وسوف نتناول المحركات الحثية أو الاستنتاجية أولاً والتيتستخدم على نطاق واسع .

9.1 الأجزاء الرئيسية للمحركات الحثية والاستنتاجية أو اللاتزامنية :

(أ) العضو الساكن Stator :

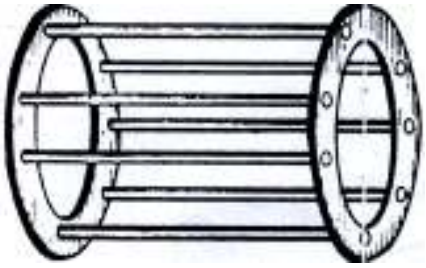
نشبه مولدات التيار المتردد ثلاثية الأطوار ويوجد في العضو الساكن ثلاثة ملفات مزاحة بزاوية مقدارها 120° كل ملف له بداية ونهاية وبذلك يكون للمحرك 6 أطراف خارجة من المحرك ويمكن توصيل هذه الأطراف الستة بطريقتين طريقة النجمة وطريقة الدلتا .

(ب) العضو الدائر Rotor :

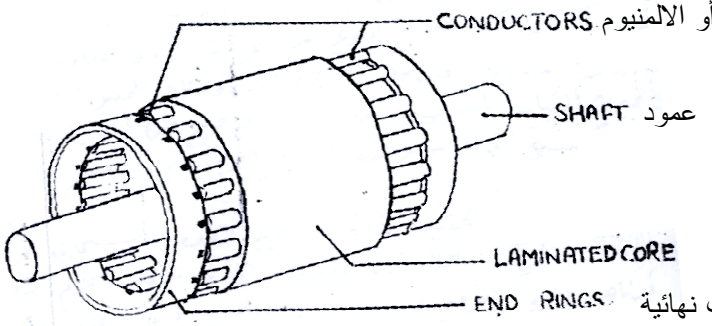
يوجد نوعان من المحركات الحثية يسمى كل منهما تبعاً لنوع العضو الدوار المستخدم . وفيما يلي وصفاً موجزاً لتركيب وخصائص كل نوع .

(1) المحرك الحثي ذو القفص السنجابي :

يتكون العضو الدائر من قضبان سميكة من النحاس أو الالمونيوم تتصل أطرافها من كل ناحية بحلقة مصنوعة نفس المعدن الأمر الذي ينتج معه شكلاً يشبه في التكوين (قفص السنجاب) .

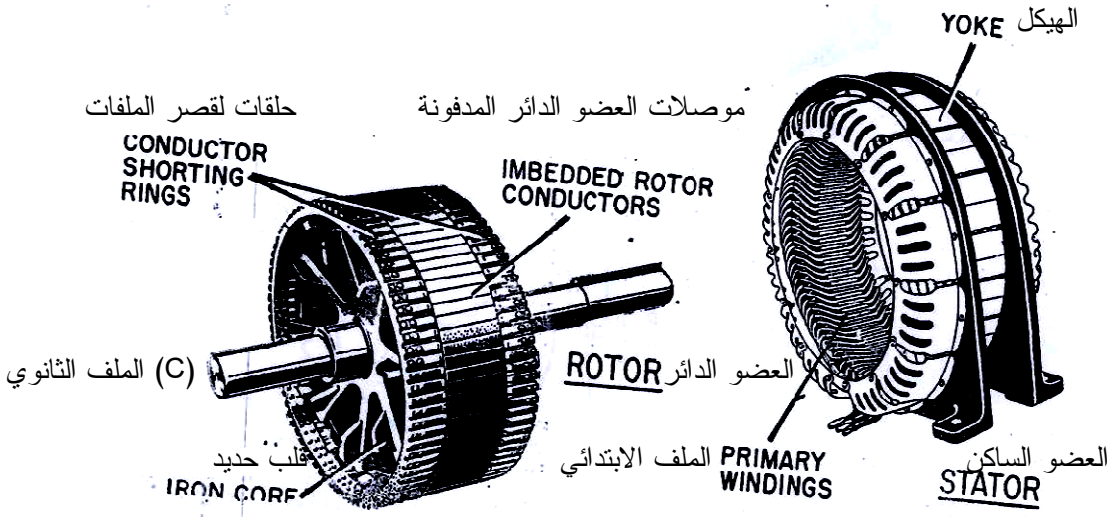


جعل القفص السنجابي على شكل قضبان أكثر كفاءة من جعل العضو من إسطوانة مستوية من النحاس



دفن القضبان النحاسية فى شرائح قلب حديدي أكثر كفاءة من القضبان النحاسية لوحدها .

يمكن اعتبار المحرك الحثى كمحول . العضو الساكن يمثل الملف الابتدائى والعضو الدائر الملف الثانوى ولا يوصل المصدر الكهربائى الى قضبان القفص السنجانى .

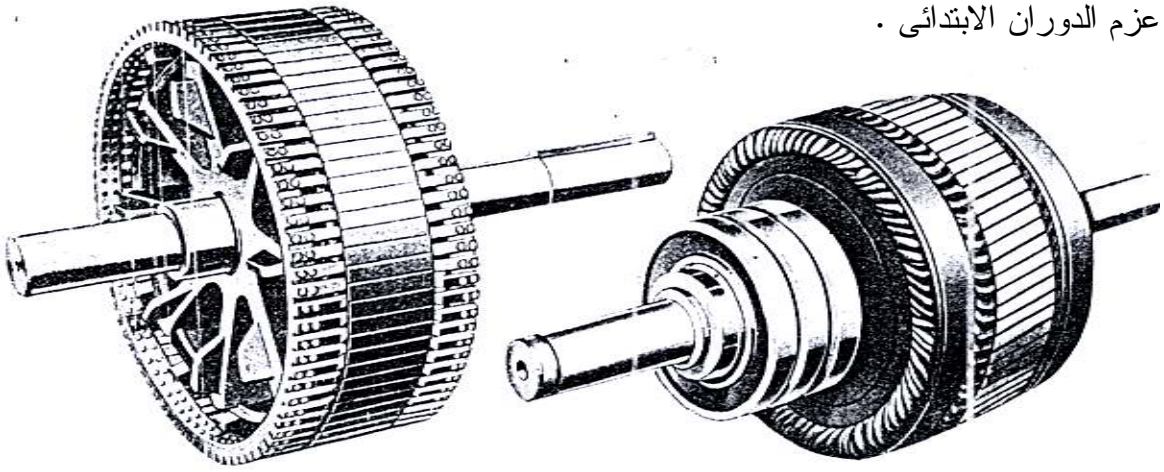


(2) المحرك الحثى ذو حلقات الانزلاق :

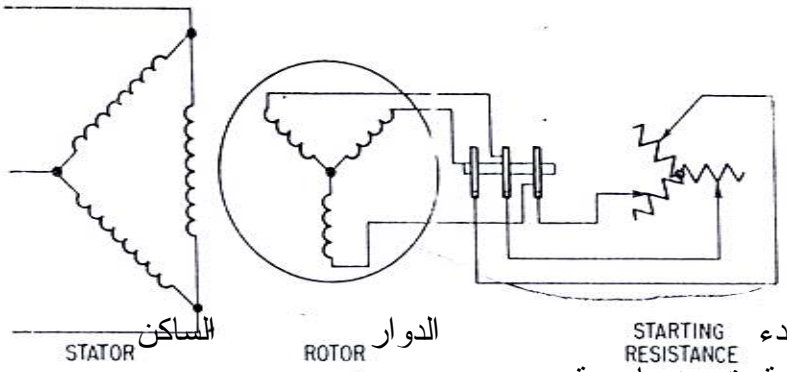
فى هذا النوع من المحركات يلف العضو الدائر فى مجارى كما هو الحال فى العضو الساكن وبنفس الأقطاب ويطلق عليها الدوار الملفوف وتوصل بداية او نهاية الملفات الى بعضها وتوصل الاطراف الثلاثة المتبقية الى ملفات انزلاقية وعند بدء حركة هذا النوع من المحركات تضاف مقاومات خارجية عن طريق فحمات مرتكزة على حلقات الانزلاق وذلك للحصول على عزم بدء عالى وتقليل قيمة التيار المسحوب من المصدر وتخرج هذه المقاومات او تقلل شيئا فشيئا حتى يكسب المحرك سرعتة العادية تقريبا ثم تقصر حلقات الانزلاق اثناء فترة التشغيل .

معظم الحركات الحثية تكون من نوع القفص السنجانى وخاصة محركات الطور الواحد أو المحركات الثلاثية الطور التى لاتتطلب عزم دوران كبير والشكل أدناه يوضح الفرق فى التركيب

للنوعين فيما يتعلق بالعضو الدائر كما يوضح الشكل توصيلة المقاومة الخارجية للنوع الملفوف لتحسين عزم الدوران الابتدائى .



(A) CAGE ROTOR القفص السنجابي (B) FORM-WOUND ROTOR النوع الملفوف



(C) EXTERNAL VARIABLE RESISTANCE. مقاومة متغيرة خارجية

مقارنة بين المحركات الحثية ذو القفص السنجابى والنوع الملفوف

لنوع القفص السنجانى المميزات التالية :

أ – رخيص ومتين .

ب– الكفاءة ومعامل القدرة اكبر .

ج– تزول مخاطر الشرر والانفجار لغياب حلقات الانزلاق والفرش .

مميزات النوع الملفوف :

(أ) عزم الدوران الابتدائى اكبر وتيار البدء اقل .

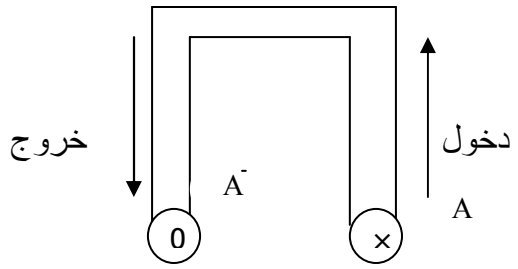
(ب) السرعة يمكن تغيرها عن طريق مقاومة الدوران الخارجية وبصورة عامة المحركات الحثية لها سرعه ثابتة وتستخدم مع الاحمال الثابتة .

9.2 المجال الدوار:

اذا وصل مصدر 3 اطوار للتيار المتردد (كل طور مزاح120° عن الأخر) الى ملفات العضو الساكن الثلاثة (مزاحة ايضا بزاوية مقدارها 120°) فى محرك حتى فان المجال الناشى يدور حول العضو الساكن وفقا للادوار الثلاث .

(1) توجد ثلاث مجموعات من الملفات موصل اليها ثلاثة خطوط الاحمر A ، الازرق B ، الاصفر C ، على الترتيب لغرض ان بداية الملفات موصلة الى A ، B ، C , وان نهاية الملفات الثلاثة هى ، A ، B ، C ، والملفات الثلاثة موصلة نجمة .

(2) التيار الكهربى يدخل عند بداية كل ملف ويخرج عند نهاية كل ملف



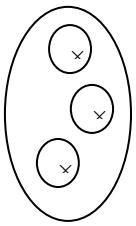
× العلامة × تعني منظر السهم من الخلف وهو داخل .

0 العلامة 0 تعني رأس السهم وهو خارج .

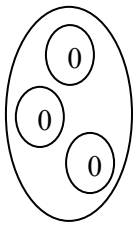
(3) فى اى لحظة معينة عندما تكون الموجة أعلى خط الصفر فأن التيار يدخل فى بداية الملف ويخرج من نهاية الملف والعكس اذا كانت الموجة تحت خط الصفر فأن التيار يدخل بنهاية الملف والعكس اذا كانت الموجة تحت خط الصفر فأن التيار يدخل بنهاية الملف ويخرج ببداية الملف

(4) علم على نهاية وبداية الملفات اما بالعلامة × أو العلامة 0 أو علامة خالية O للزاوية صفر ، 60° ، 180 ° ، 220 ° ، 300 ° .

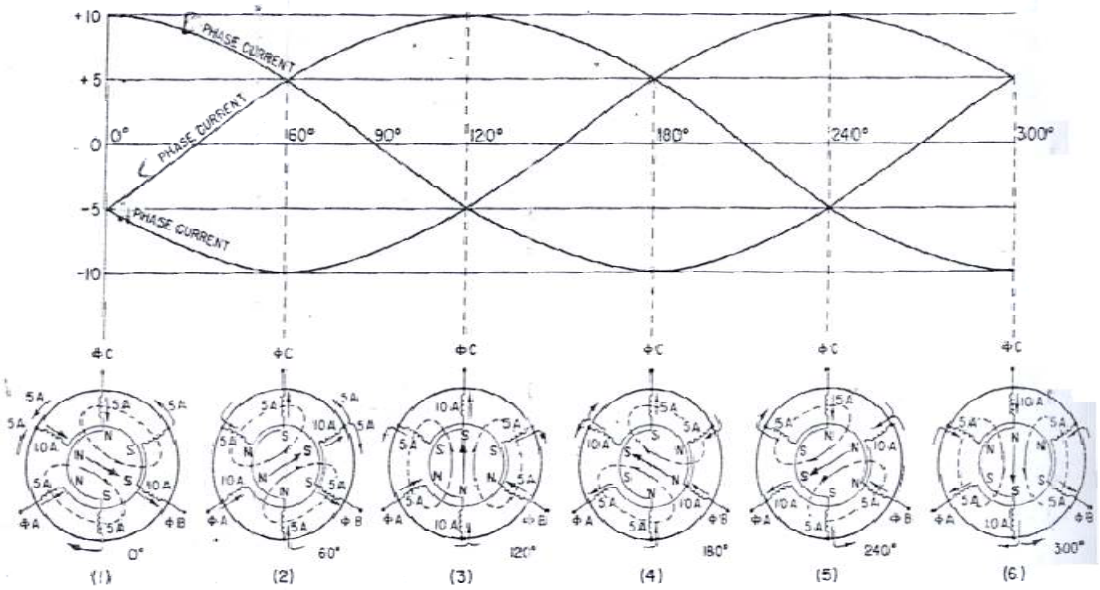
(5) ارسم قوس حول العلامات المتشابة سوف تجد ان للمجال المغنطيسى قطبان فقط .



قطب 1



قطب 2



(6) الشدة المغنطيسية ثابتة .

(7) تدور بسرعة ثابتة .

السرعة التى تدور بها المجال المغناطيسى تسمى السرعة التزامنية او السرعة التوافقية او سرعة المجال الدوار . اذا كان العضو الساكن ملفوف بثلاث ملفات فقط وكان تردد المصدر 50 هيرتز فأن السرعة التزامنية = 50 × 60 = 300 لف / دقيقة . ولكن بترتب ملفات العضو الساكن بتدبير مناسب فأنه يمكن توليد مجال دوار باكثر من زوج أقطاب لذلك فان العلاقة العامة تصبح

$$\text{السرعة التزامنية} = \frac{\text{تردد المصدر} \times 60}{\text{عدد ازواج الاقطاب}} \quad \text{لفة / الدقيقة}$$

وتسمى سرعة المجال الدوار بالسرعة التزامنية لانها متزامنه مع تردد المصدر الكهربائى وتتناسب السرعة التزامنية طرديا مع ترددالمصدر الكهربائى وتتناسب السرعة التزامنية طرديا مع تردد 60 هيريز ووصل الى مصدر 50 هيريز فان السرعة التزامنية تنخفض من 1800لفه / دقيقة الى 1500لفه / دقيقة . ويلاحظ ايضا ان السرعة التزامنية تتناسب عكسيا مع ازواج الاقطاب ولا تتغير السرعة التزامنية مع تغير الاحمال بشرط ان يكون التردد ثابتا عمليا يمكن ملاحظة المجال

الدوار وذلك بتوصيل العضو الساكن بعد فك وازالة العضو الدوار الى مصدر تيار متردد منخفض الفولتية ووضع بلية معدنية على سطح العضو الساكن سوف تدور البلية بالسرعة التزامنية فى اتجاه دوران البلية وعلى ذلك يمكن تغيير اتجاه دوران المحرك الاستتناصى ثلاثى الاطوار بتغير اى طورين او خطبين .

9.3 طريقة عمل المحركات الحثية ثلاثية الأطوار :

ذكرنا فى باب المولدات انة يلزم ثلاث شروط لتوليد قوة دافعة كهربئية فى موصل والشروط هى :

1 – مجال مغناطيسى 2– حركة

3– موصل الان فى درستنا للمجال الدوار يتوفر مجال كهربى وهو يدور (يتحرك) اذا وضعنا العضو الدائر داخل العضو الساكن فأن المجال الدوار سوف يقطع قضبان الالمونيوم او النحاس فى العضو الدوار فيتولد قوة دافعة كهربية تأثيرية فى القضبان . مع ومع ان القضبان مقصور بحلقات فى نهاية القضبان فأن تيلر كبير يمر خلال القضبان ويتكون نتيجة لذلك مجال مغناطيسى حول القضبان . رد الفعل بين هذا المجال التأثيرى والمجال الدوار يعمل عزم دوران فى العضو الدائر فيدور العضو الدائر (المحرك) فى نفس اتجاه المجال الدوار محاولا اللحاق بسرعة المجال الدوار الانه لايمكن الوصول للسرعة التزامنية والاتلاشت قيمة العزم الذى يدير المحرك .

مع زيادة سرعة العضو الدائر فأن السرعة النسبية بين قضبان القفص السنجانى وسرعة المجال الدوار تنخفض وتنخفض بذلك الجهد التأثيرى المتولد فى القضبان وكذلك تيار القضبان ، اذاكان معنى القدر العضو الدائر ان يلحق بالسرعه التزامنية فى هذه الحالة لاتوجد سرعة نسبية بيهما وبالتالى لايتولد جهد تاثيرى فى القضبان وبدونه تيار تأثيرى فى العضو الدائر بالطبع لايوجد فول العضو الدائر مجال مغناطيسى فيختفى عزم الدوران عندما يدور العضو الدائر بالسرعة التزامنية . عمليا هذه الحالة لاتحدث مطلقا وبدلا من ذلك يدور العضو الدائر بسرعة اقل قليلا من السرعة التزامنية مولدا ق د ك تأثيرية كافية لسريان تيار تأثيرى فى القضبان لانتاج عزم للتغلب على مناقير الالة . الفرق بين سرعة المجال الدوار وسرعة العضو الدائر يسمى سرعة الانزلاق (التفويت) أوسرعة التزحلق حيث أنها السرعة التى يتزحلق او ينزلق بها المجال على سطح العضو الدائر سرعة

الانزلاق لاتعطي أى مؤشر لخواص المحرك الحثى ولكن النسبة بين سرعة الانزلاق والسرعة التزامنية تعطى دلالة ما اذا كانت سرعة الانزلاق نسبيا كبيرة أو صغيرة . هذه النسبة تسمى الانزلاق.

$$\text{الانزلاق } (\text{ى}) = \frac{\text{سرعة الإنزلاق}}{\text{السرعة الزمنية}} = \frac{\text{ع} - \text{ع}'}{\text{ع}}$$

حيث ع = السرعة التزامنية

$\text{ع}'$ = سرعة العضو الدائر

$$\text{الإنزلاق \%} = \text{ي\%} = \frac{\text{ع} - \text{ع}'}{\text{ع}} \times 100\%$$

عند اضافة أحمال الى عسر الدائر تنخفض سرعتة $\text{ع}'$ ولكن تبقى السرعة التزامنية ع كما هى عندما تنخفض ع $-$ $\text{ع}'$ وبالتالى ترتفع نسبة الانزلاق وايضا تيار الدائر . يختلف تردد تيار العضو الدائر عن تردد المصدر الموصل الى العضو الساكن ولكنه توجد علاقة تربط تردد تيار العضو الدائر مع تردد المصدر كما يلى :

تردد تيار العضو الدائر = الانزلاق × تردد المصدر

= ى × د هيريز

مثال:

محرك استنتاجى ثلاثى الاطوار ملفوف ليعطى 4 أقطاب وصل الى مصدر تردد 50 هيرتز أحسب :

(1) السرعة التزامنية ؟ (2) سرعة العضو الدائر عندما يكون الانزلاق 4% ؟

(3) تردد تيار العضو الدائر عندما تكون سرعة العضو الدائر 600 لفة / دقيقة ؟

الحل

(1) السرعة التزامنية = سرعة المجال الدوار = $\frac{\text{تردد المصدر} \times 60}{\text{عدد ازواج الاقطاب}} = \frac{60 \times 50}{2}$

= 1500لفة/دقيقة

(2) الإنزلاق (ي) = $\frac{\text{ع} - \text{ع}'}{\text{ع}} = \frac{1500 - \text{ع}'}{1500}$

$\therefore \quad \frac{1500 - \text{ع}'}{1500} = 0.04 \quad ، \quad 1500 - \text{ع}' = 60$

اذن $\text{ع}'$ = 1500 − 60 = 1440 لفة/دقيقة

(3) الإنزلاق (ي) = $\frac{ع - ع'}{ع} = \frac{1500 - 600}{1500} = \frac{900}{1500} = \frac{9}{15} = \frac{3}{5} = 0.6$

اذن تردد تيار العضو الدائر = الانزلاق × تردد المصدر = 0..6 × 50 = 30هيرتز

9.4 بدء الحركة فى المحرك الحثى ثلاثى الاطوار :

يجب استخدام العضو الساكن لبدء حركة محرك starting استناجى قفص سنجانى حيث انه لايمكن اجراء توصيلات على العضو الدائر ويمكن انه يسبب التوصيل المباشر على الخط للمحركات الكبيرة تيارات بدء كبيرة . تعانى المحركات الحثيية قفص سنجانى من عيب اساس بان عزم البدء منخفض اذا اذا كانت مقاومة العضو الدائر منخفضة بينما تنخفض الكفاءة اذا كانت مقاومة العضو الدائر عالية .

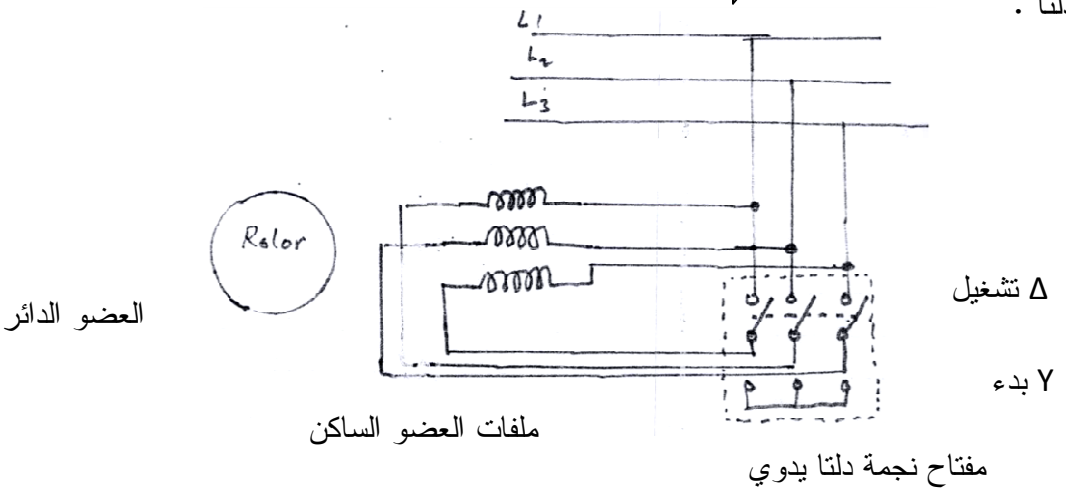
طرق بدء الحركة :

(1) بدء مباشر على الخط direct-on line starting

تستخدم طريقة بدء الحركة مباشرة على الخط فى المحركات الصغيرة التى لاتزيد قدرتها عن 2 كيلو واط .

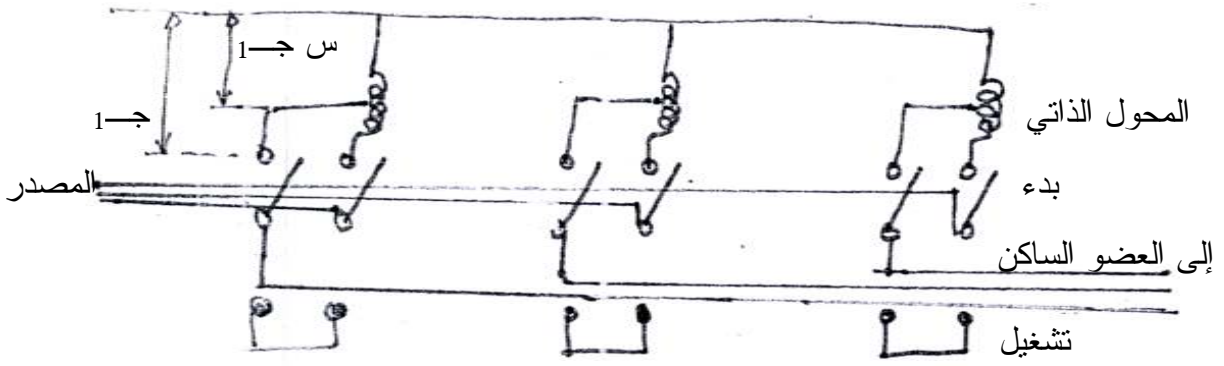
(2) بدء نجمة – دلتا start delta starting

فى هذا النوع من بدء الحركة يوصل العضو الساكن توصيلة دلتا . جهد الطور عندما يوصل العضو الساكن توصيلة نجمة يساوى فقط $\frac{1}{\sqrt{3}}$ من قيمة الجهد اذا وصلت الملفات للعضو الساكن توصيلة ثلثا . وسوف تقل عزم البدء الى $\frac{1}{\sqrt{3}}$ تيار الطور فى توصيلة النجمة $\frac{1}{3}$ من قيمة تيار الخط لتوصيلة الدلتا .



(3) بدء الحركة بالمحرك الذاتى auto– trens former starting

فى طريقة بدء الحركة بالمحول الذاتى فان المحول يكون له على الاقل ثلاثة ترتبات تعطى جهود دائرة مفتوحة على الاقل 40، 60، 75، فى المائة من جهد الخط لبدء وتوصيل المحرك مباشرة للمصدر عندما يصل المحرك سرعة معينة اذا كان فرد التدرج يساوى (س) سوف يكون الجهد لكل طور يساوى س جـــ1 حيث جـــ1 جهد المصدر وتقل عزم البدء بقيمة س^2 وتقل ايضا تيار البدء من المصدر تقريباً بقيمة س^2



9.5 الكفاءة والمفقودات :

تصاحب اى عملية تحويل للطاقة بمفقودات تؤدى الى تقليل قيمة الطاقة الخارجية (الخرج) المستفاد عن القيمة الطاقة الداخلة (الداخل) وتعرف نسبة ماخرج الى مادخل فى اى من عمليات تحويل (أو نقل) الطاقة بأسم الكفاءة (أو الكفاية أو الجودة) وتبعا لذلك فانة يمكن كتابة قانون الكفاءة كالتالى :

$$\text{الكفاءة} = \frac{\text{طاقة الخرج}}{\text{طاقة الدخل}} = \frac{\text{قدرة الخرج}}{\text{قدرة الدخل}} = \frac{\text{الدخل – المفقودات}}{\text{الدخل}} =$$

$$1 - \frac{\text{المفقودات}}{\text{الدخل}} = 1 - \frac{\text{المفقودات}}{\text{الخرج – المفقودات}}$$

ونظراً لان القدرة هى معدل بذل الطاقة فى الثانية ، فانه عادة ماتقدم القدرة بدلا من الطاقة عند حساب الكفاءة ويجب ان تكون وحدة قياس القدرة او المفقود واحدة فأذا كان قدرة الخرج مقدرا بالحصان (كما فى المحركات) لزم التحويل الى الوات علما بان :

1حصان = 746 واط

وتتراوح قيمة الكفاءة فى المحركات من حوال47% للمحركات الصغيرة قدرة 1 حصان الى حوالى 88% لقدرة 50 الحصان الى 97% قدرة 500 حصان .

انواع المفقودات :

بالرغم من ان المفقودات ليس لها دور اساسى فى عملية تحويلا الطاقة نفسها الا انها تمثل العامل الرئسى فى تحديد الالة الكهربائية . ذلك أن المفقودات هى التى تسبب فى رفع درجة الحرارة للآلة الكهربائية ونظرا لان لفائف الآلة الكهربائية تعزل بعضها البعض وعن حديد العضو الملفوف فيه ، فان ارتفاع درجة حرارة الآلة يؤثر بالتالي سلبياً على خصائص العازلة . ونبعا لنوع مادة العزل المستخدمة فأن درجة حرارة اى ألة كهربائية لايسمح لها بتعدى حد معين . الامر الذى يعنى ان المفقودات وبالتالى حمل الآلة لايجب أن تتعدى قيمة معينة تعتمد على حجم الآلة ومادة العزل ودرجة حرارة الوسط المحيط اثناء التشغيل وطريقة التبريد المتبعة فى امتصاص المفقود فى محيط الالة الى خارجها . وفيما يلى تفصيلاً لانواع المفقودات التى تصاحب عملية تحويل الطاقة فى المكائن الكهربائية على وجه العموم :

(أ) مفقودات النحاس :

تحدث فى كل لفائف العضو الدوار والعضو الساكن وتحسب باستخدام القانون : القدرة = مربع شدة التيار × مقاومة اللفيفة

يلاحظ ان هذه المفقودات تتغير بتغير حمل المكنة

(ب) توجد هذه المفقودات فى اجزاء الدائرة المغناطيسية التى يتغير فيها الفيض المغناطيسى المتغير كما تعتمد على تردد ذلك التغير اضافة الى نوع المادة المغناطيسية وتعتمد هذة المفقودات على كثافة الفيض المغناطيسى المتغير كما تعتمد على تردد ذلك التغير اضافة الى نوع المادة المغناطيسية . وعادة مايقلل الفقد الناتج عن التيارات الداوية باستخدام شرائح رقيقة ومعزولة من الحديد فى تكوين أجزاء الدائرة المغناطيسية التى يتغير فيها قيمة أو اتجاه الفيض المغناطيسى ويلاحظ ان مفقودات الحديد هذه لا تعتمد على حمل المحرك وأنما تعتمد على الجهد .

(ج) المفقودات الميكانيكية :

تنتج هذه المفقودات من احتكاك عمود دوران الالة فى كراسى التحميل ومن احتكاك دوران الالة بالهواء المحيط او باي وسط اخر قد تستخدم لتبريد الالة فى حالة الآلات العالية القدرة . وتعتمد هذه المفقودات اساساً على سرعة الدوران وبالتالى فانه يمكن اعتبارها ثابتة لا تتاثر سرعتها كثيراً بتغير الحمل .

امثلة محلولة :

(1) محرك كهربائى قدرته 10 حصان ، مفقوداته كالتالى :

مفقودات النحاس كملفات العضو الساكن = 300 واط

مفقودات النحاس للعضو الدائر = 350واط

مفقودات الحديد للعضو الدائر = 600 واط

المفقودات الميكانيكية للعضو الدائر = 100 واط

احسب كفاءة المحرك عند الحمل الكامل والقدرة المحسوبه لذلك من المصدر الكهربائى :

الحل :

الخرج عندالحمل الكامل = 10 حصان

= 10× 746 = 7460 واط

أجمالى المفقودات = 300 + 350 + 600 + 100 = 1350واط

القدرة المحسوبة من المصدر الكهربائى (الداخل) = الخرج + المفقودات

= 7460+ 1350 = 8810 واط

$$\text{الكفاءة} = \frac{\text{الخرج}}{\text{الدخل}} = \frac{7460}{8810} = 0.847$$

الكفاءة % = 84.7%

مثال 2 :

محرك حتى ثلاثى الاطوار يعمل بجهد 400 فولت وينتج 25 حصان عند كفاءة 87, ومعامل قدرة 82, أحسب :

(أ) تيار الخط ؟ (ب) تيار الطور اذا كانت الملفات موصلة دلتا ؟

$$\text{حيث أن الكفاءة} = \frac{\text{قدرة الخرج بالواط}}{\text{قدرة الدخل بالواط}} = \frac{\text{القدرة بالحصان} \times 746}{1.73 \times \text{جـ خط} \times \text{معامل}}$$

$$\text{اذن } 0.87 = \frac{746 \times 25}{1.73 \times \text{جـ خط} \times 400 \times 0.82} \quad \text{اذن } \text{ت خط} = \frac{746 \times 25}{1.73 \times 400 \times 0.87 \times 0.82}$$

= 37.8 أمبير

توصيلة الدلتا

$$\text{تيار الطور} = \frac{\text{تيار الخط}}{1.73} = \frac{37.8}{1.73} = 21.8 \text{ أمبير}$$

9.6 المحركات التزامنية synchronous motors

تختلف المحركات التزامنية عن المحركات الحثية فى عدة نواحى . المحركات التزامنية تحتاج الى مصدر تيار مباشر dc منفصل الملفات المجال . وتحتاج ايضا الى مكونات خاصة لبدء الحركة . أما ملفات العضو الساكن فتكون متشابة مكونات هذا النوع من المحركات هى نفسها مكونات المولد حيث تزيد عادة لفائف عضو الانتاج فى مجارى السطح الداخلى للعضو الساكن وتكون اللفائف ثلاثية الاطوار . يدور المجال المغناطيسى الناتج فى العضو الساكن عند اثارة لفائفه بالتيار المتردد ثلاثية الاطوار بالسرعة التزامنية وذلك بالرغم من ثبات اللفائف المنتجة له .

أما لفائف العضو الدائر والتى تسمى بلفائف المجال فتثار بالتيار المستمر وللحصول على محصلة للعزم توثر على العضو الدائر فى اتجاه واحد ويجب ان يدور مجال العضو الدائر هوالاخر بنفس السرعة التزامنية وفى نفس اتجاه دوران العضو الساكن ومن ذلك نستنتج مايلى :

(أ) أن المحرك التزامنى ليس له امكانية بدء الحركة من السكون ذلك أن المجال العضو الدائر يكون عندئذ ساكناً هو الاخر فى الفراغ بينما مجال العضو الساكن يدور بالسرعة التزامنية ويسلتزم ذلك ان يستعان بمحرك من نوع أخر لبدء حركة المحرك التزامنى أولا ومن ثم يمكن للمحرك التزامنى أن ينتج عزم دوران ويواصل التشغيل بمفرده .

بالرغم من انه يمكن استخدام محرك حثى صغير لبدء الحركة الا ان ذلك لايستخدم عادة . فى بعض الاحوال عندما يكون مصدر التيار المباشر متوفراً يستخدم محرك تيار مباشر مقترن بعمود الدوران الرئيسى لدفع العضو الدوار الى السرعة التزامنية وبعد ذلك يحول محرك التيار المباشر الى مولد تيار مباشر لتغذية ملفات العضو الدائر للمحرك التزامنى .

مهما يكن وفى العادة تستخدم طريقة أخرى لبدء حركة المحرك التزامنى . وذلك بجعل ملف قفص سنجانى فى دوران المحرك التزامنى لجعل المحرك يبدأ ذاتياً كمحرك حثى . عند بدء الحركة يترك مجال التيار المباشر خالياً بدون مغناطيس ويوصل جهد منخفض من التيار المتردد الى ملفات

العضو الساكن وهكذا يبدأ المحرك حركتة كمحرك حثى وتدور بسرعة أقل قليلاً من السرعة التزامنية ومن ثم يغذى العضو الدائر من مولد تيار مباشر مقترنة بالعمود عن طريق ريوسنات بأقل تيار خط .

(ب) أن سرعة دوران المحرك التزامنى أثناء تشغيل عند كل الأحمال تثبت تماماً عند سرعة التزامن .

الشكل الموضح يبين أجزاء المحرك التزامنى وتعتبر أستخدامات مثل هذه المحركات محددة للغاية بالمقارنة مع الحركات الحثية .

وعادة ما يستخدم المحرك التزامنى مقترناً بمحرك حثى يعطى معامل قدرة تقدم وتعمل مجموعة محرك حثى تزامن بعزم بدء عالى للمحرك الحثى (ليس للمحرك التزامنى عزم بدء) ومعامل قدرة تقدم للمحرك التزامنى .

وعادة تستخدم ايضا المحرك التزامنى كوسيلة لتغير التردد وذلك بتشغيل كمجموعة محرك . مولد وبالتالى فأنه يمكن تغيير تردد المولد عن تردد المصدر المغذى للمحرك بتغير عدد الاقطاب فى المولد عنها فى المحرك مع ملاحظة أن سرعة الدوران لكل منها واحدة . فأذا افترضنا أن عدد الاقطاب فى المحرك ق$_1$ وعدد الاقطاب فى المولد ق$_2$ وان تردد المصدر الكهربائى المغذى للمحرك د$_1$ وتردد المولد فإن سرعة الدوران تصبح :

$$ع_1 = \frac{120 \times د_1}{ق_1} \quad ، \quad ع_2 = \frac{120 \times د_2}{ق_2}$$

ولكن ع$_1$ = ع$_2$ وبالتالي :

$$د2 = د1 \times \frac{ق_2}{ق_2} \text{ أو } \frac{ق_2}{ق_1} = \frac{د_2}{د_1}$$

مثال :

محرك تزامني يستخدم مع مولد لتغيير التردد من 60 هيرتز إلى 50 هيرتز ما هو أقل عدد لازم وجوده من الأقطاب في كل من المحرك والمولد وما هي سرعة الدوران المناظرة ؟

الحل :

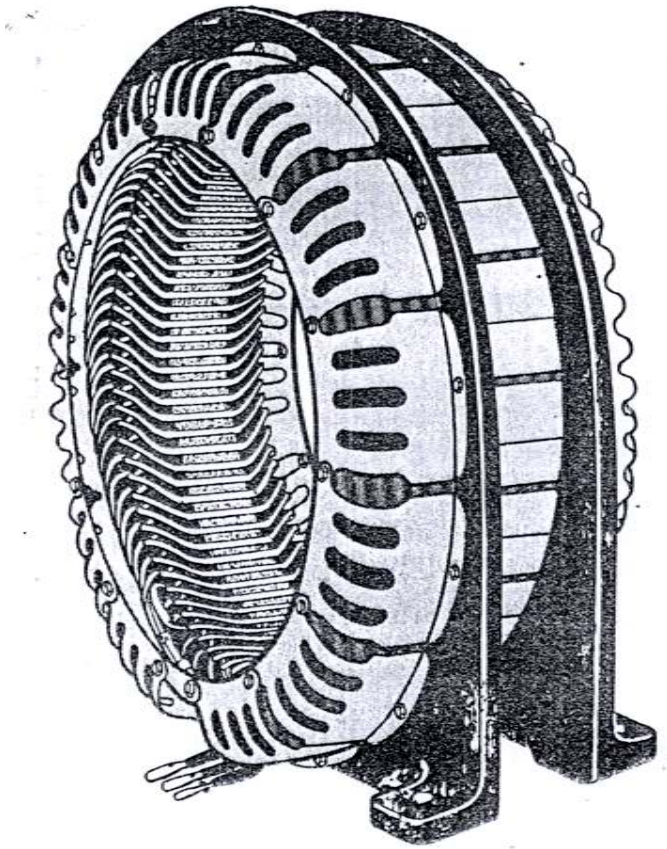
د$_1$ = 60 هيرتز ، د$_2$ = 50 هيرتز

$\frac{ق_2}{ق_1} = \frac{د_2}{د_1} = \frac{50}{60} = \frac{5}{6}$ أي أن نسبة عدد الأقطاب في المولد إلى تلك التي في المحرك يجب أن تكون كنسبة 5 إلى 6 ونظراً لأن عدد الأقطاب دائماً زوجية .

أذن أقل عدد اقطاب للمحرك = $ق_2$ = 12 قطب وللمولد = 10 قطب

$$ع = \frac{د \times 120}{ق} = \frac{60 \times 120}{12} = 600 \text{ دورة/دقيقة}$$

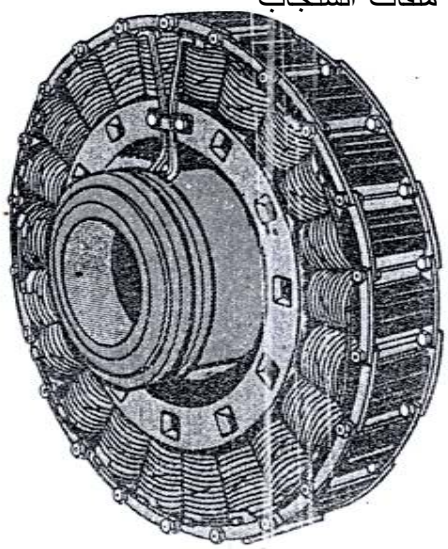
$$= \frac{50 \times 120}{10} = 600 \text{ دورة/دقيقة}$$



العضو الساكن ROTOR

(A)

ملفات السنجاب



العضو الدائر ROTOR

(B)

المحرك التزامني

9.7 جدول لخواص محركات التيار المتردد

ملاحظات	عكس دوران المحرك	عزم البدء	تيار البدء	نوع المحرك	
لايوجد تحكم على السرعة – عضو دوار صلد – سرعة ثابتة تستخدم مع الاحمال الثابتة	أعكس اي طوربين	منخفض	عالى	(1) محرك ثلاثى الاطوار قفص سنجانى	نوع حثي
تحكم على السرعة محدد– ثلاثى حلقات انزلاقية – سرعة ثابت فى الغالب – تستخدم عندما يكون المطلوب عزم بدء أفضل	أعكس اي طوربين	متحسن	منخفض	(2) محرك ثلاثى الاطوار بعضو ملفوف	
لايوجد تحكم على السرعة – مفتاح طرد مركزى على العضو الدائر سرعة سرعة ثابتة فى الغالب – يستخدم عنما يكون الحمل ثابتا	أعكس ملفات البدء أوالتشغيل	منخفض	عالى	(2)طور واحد قفص سنجانى	
لايوجد تحكم على – سرعة ثابتة فى الغالب يستخدم عندما يكون الحمل ثابتا	لايمكن	منخفض	عالى	القطب المظل	
تدور على سرعة واحدة – حلقتا انزلاق على العضو الدائر يستخدم عندمايكون المطلوب سرعة ثابتة – تستخدم لتصحيح معامل القدرة وتغير التردد	اعكس اي طوربين ومحرك البدء	/	/	(1)محرك تزامن ثلاثى الاطوار	نوع تزامنى
كما فى المحرك التزامنى ثلاثى الاطوار	أعكس اتجاه دوران محرك البدء	/	/	(2)محرك تزامنى طور واحد	
الخواص كما فى التزامنى ولكن لا يحتاج ..... حثي وتشغيل تزامنى	كما فى المحرك الحثى	منخفض	عالى	(3)محرك حثى – تزامنى	

نوع المحرك		تيار البدء	عزم البدء	عكس دوران المحرك	ملاحظات
نوع بعضو توحيد	(1)تنافرى	منخفض	عالى	حركة الفرش	ضبط السرعة يتم بتحريك الفرش .السرعة تنخفض بسرعة مع التحميل –يستخدم عندما يكون المطلوب عزم عالى وتحكم على السرعة لمدى معين
	(2)تنافرى حثى	منخفض	عالى	كما سبق	فى الغالب سرعة ثابتة – لايوجد تحكم على السرعة جهاز طرد مركزى على العضو الدائر تستخدم عندما يكون المطلوب عزم بدء عالى وسرعة ثابتة بدء تنافرى وتشغيل حثى
	(3)محرك التوالى العام	عالى	عالى	أعكس أطراف المجال أ و المنتج	يمكن التحكم على السرعة – السرعة تنخفض بسرعة مع التحمل – تشغيلة على DC أو AC محرك توالى فى أنها لاتحتوى على أقطاب ساكنة الهيكل والعضو الدائر بالكامل من شرائح .

اسئلة وتمارين للمراجعة

السؤال الأول :

اختار الاجابة الصحيحة من أ، ب ،ج أو د

(1) المقاومة المنقبرة الموضوعة فى العضو الدائر لمحرك حثى ملفوف العضو الدائر توصل لفرض :

(أ) التحكم (ب) التحكم فى التردد (ج)التحكم فى الجهد (د) التحكم فى عزم البدء

(2) أكثر الطرق استخداما لبدء المحرك التزامنى هو :

(أ) محرك تيار مباشر منفصل (ب) بلف قفص سنجانى

(ج) يدويا (د) بتوصيل DC إلى العضو الدائر

(3) السرعة التزامنية لمحرك حثى هى :

(أ) السرعة التى عندها يدور العضو الدوار (ب) سرعة المجال الدوار

(ج) تردد تيار العضو الدائر (د) الانزلاق % لسرعة العضو الدائر

(4) قريبا من السرعة التزامنية فأن :

(أ) الجهد المستحدث داخل العضو الدائر يكون صغير .

(ب) الجهد المستحدث داخل العضو الدائر يكون كبير .

(ج) الجهد الموصل إلى العضو الساكن يساوى صفراً .

(د) تردد العضو الدائر بقيمة عظمى .

(5) زيادة عدد الاقطاب فى محرك حثى :

(أ) تزيد سرعة المجال . (ب) يقلل سرعة المجال .

(ج) يقلل عزم بدء المحرك . (د) يخفض تردد الخط .

(6) جهد العضو الدائر المحرك أستنتاجى يتناسب :

(أ) مع شدة المجال المغناطيسى .

(ب) عدد المواصلات فى العضو الساكن .

(ج) زاوية القطع الخطوط القوة المغناطيسية

(د) الفرق بين سرعة المجال الدوار وسرعة العضو الدائر .

(7) زيادة تردد جهد المصدر الموصل للمحرك الحثى يسبب فى :

(أ) انخفاض سرعة المجال . (ب) تزيد سرعة المجال .

(ج) ينخفض عزم العضو الدائر . (د) تيار العضو الساكن يزداد .

(8) القرض من جعل العضو الدائر من قلب حديدى حول القضاية هو :

(أ) تقليل وزن المحرك . (ب) توليد تيارات المضارية .

(ج) تقليل الفجوة الهوائية للمغناطيس . (د) لتقليل النفاذية المغنطسية .

(9) تردد تيارات العضو الدائر يتغير مباشرة مع :

(أ) الجهد الموصل للعضو الساكن . (ب) مقاومة العضو الدائر .

(ج) الانزلاق . (د) عدد الملفات فى العضو الساكن .

(10) يختلف المحرك التزامنى عن المحرك الحثى فى :

(أ) لا يبدأ ذاتياً . (ب) يحتاج الى مصدر D2 و A2 .

(ج) يمكن استخدامة لتصحيح معامل القدرة . (د) كل ماذكر صحيح .

السؤال الثاني :

محرك حثى له 6 اقطاب وقدرتة 10 حصان يغذى من منبع ثلاثى الاطوار ترددة 60 هيرتز ، إذا كان معامل الانزلاق عند الحمل الكامل = 4% أحسب سرعة دوران عند الحمل الكامل .

السؤال الثالث :

محرك تزامنى يغذى من مصدر تردد 60 هيرتز ويستخدم فى إدارة مولد لتوليد تيار متردد 25 هيرتز أحسب:

(أ) أقل عدد من الاقطاب التى يمكن أن يزود بها االمحرك ؟

(ب) أقل عدد من الاقطاب التى يمكن أن يزود بها المولد ؟

(ج) سرعة الدوران التى تدور بها مجموعة المحرك – المولد المحددة فى السحاب ؟

السؤال الرابع :

محرك حثى ملفوف ثلاثه لفات فقط يغذى من مصدر ترددة 50 هيرتز يدور بسرعة 2900لف/ دقيقة عند عدم التحميل وبسرعة 2700لف/دقيقة عند الحمل الكامل . أوجد :

1- سرعة التزامن وعدد الاقطاب فى المحرك ؟

2- أحسب معامل الانزلاق عند عدم التحميل وعند الحمل الكلمل ؟

السؤال الخامس :

محرك حثى به 10 أقطاب يغذى من مولد له 6 أقطاب يدور بسرعة 120لف /دقيقة . أحسب سرعة دوران المحرك ، إذاكان معامل الانزلاق يساوى 3 ؟

الباب العاشر

دوائر التقويم ((التوحيد))

تعرف دوائر التقويم (التوحيد) rectification بانها هى الدوائر التى تحول التيار المتردد Ac (متغير مقداراً واتجاهاً) إلى تيار مباشر أو مستمر Dc (ثابتة مقداراً أو عبارة عن نبضات تسرى فى إتجاه واحد) .

الحاجة إلى دوائر التقويم :

معظم مصادر القدرة فى وقتنا الحاضر عبارة عن مصادر التيار المتردد Ac للميزات التى ذكرت فى باب المولدات .

غير انه فى بعض التطبيقات التى تكون الحاجة ملحة لاستخدام التيار المباشر Dc والتطبيقات التى تحتاج فيها إلى تيار مباشر Dc يمكن ان نلخصها فيما يلى :

(1) كل الاجهز الالكترونية التى بها عناصر فعالة نحتاج الى مصدر تيار مباشر وبدون التيار المباشر لاتعمل هذه الاجهزه على الاطلاق .

(2) كل التطبيقات التى تتوقف عملها على الأثير الكيميائى مثل شحن البطاريات والطلاء بالكهرباء ... الخ فلابد من إستخدام تيار مباشر فقط لانجاز هذه التطبيقات .

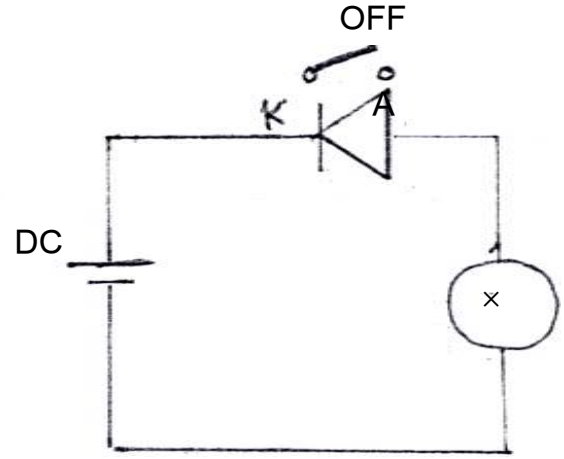
(3) فى العادة يتم توفير المجال المغناطيسى اللازم فى العضو الدائر للمولدات على شكل مجال كهرو مغناطيسى وذلك بتوصيل مصدر تيار مباشر إلى ملفات حول قلب شرائح من الصلب أو الحديد لتكوين أقطاب ثابتة إذا أستخدم تيار متردد فإن الاقطاب المغناطيسية تكون متغيرة بالطبع يمكن إستخدام أقطاب مغناطيسية دائمة غير إن المجال الكهرومغناطيسى يوفر شدة مجالية أكبر بكثير من الاقطاب الدائمة علاوة على ذلك فإنه يمكن التحكم على شدة المجال الكهرومغناطيسى وبالتالى على جهد خرج المولد فى العضو الساكن .

المقومات :

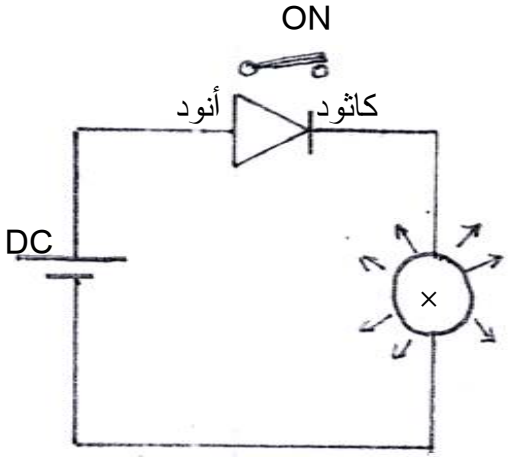
حديثا يستخدم عنصر الدايود (الثنائى) لكفاءتة العالية فى تقويم التيار المتردد وخاصة مادة السليكون وهو من أشباه الموصلات . يضاف إلى السليكون النقى بعض الشوائب بكميات قليلة

ومحكومة إلى عنصر السليكون للحصول على نوعين من المواد النوع الموجب والنوع السالب اذا وضعنا النوعين بجانب بعضها البعض متلاصقين يتم الحصول الى عنصر الدايود .

للريود طرفان طرف يسمى الأنود والأخر يسمى الأنود والأخر يسمى الكانود ويعمل لدايود طرفان يسمى الكانود ويعمل الديود كمفتاح إلكترونى يوصل كمفتاح عندما يكون الانود موجبا بالنسبة إلى الكاثود فى هذه الحالة يقال أن الدايود فى حالة إنحياذ أمامى ويفصل الديود كمفتاح عندما يكون الكاثور موجبا بالنسبة لدايود فى هذه الحالة يقال أن الديود فى حالة انحياز عكسى

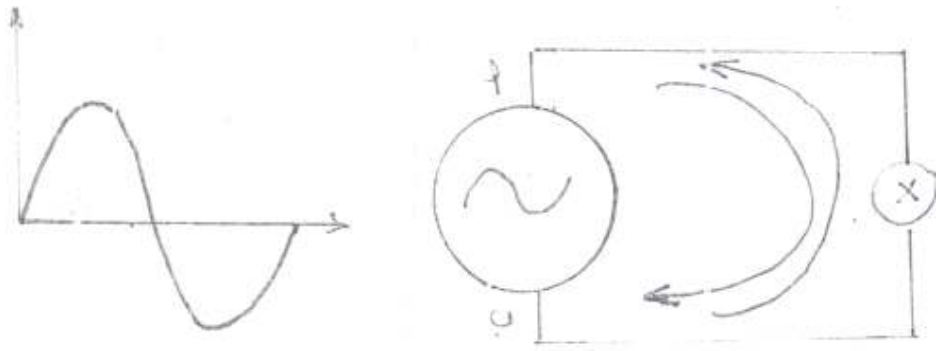


الأنود موصل إلى سالب البطارية إنحياز عكسي الدايود لا يوصل ، اللمبة غير مضئية

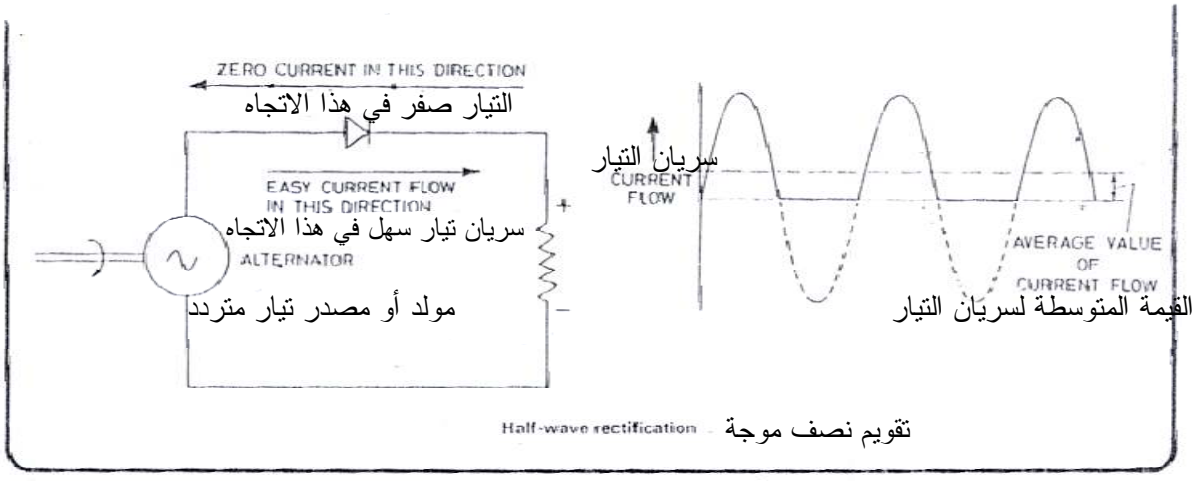


الانود موصل إلى موجب البطارية إنحياز الدايود يوصل كمفتاح – اللمبة مضاءة اتجاه التيار العرفي من موجب البطارية إلى السالب .

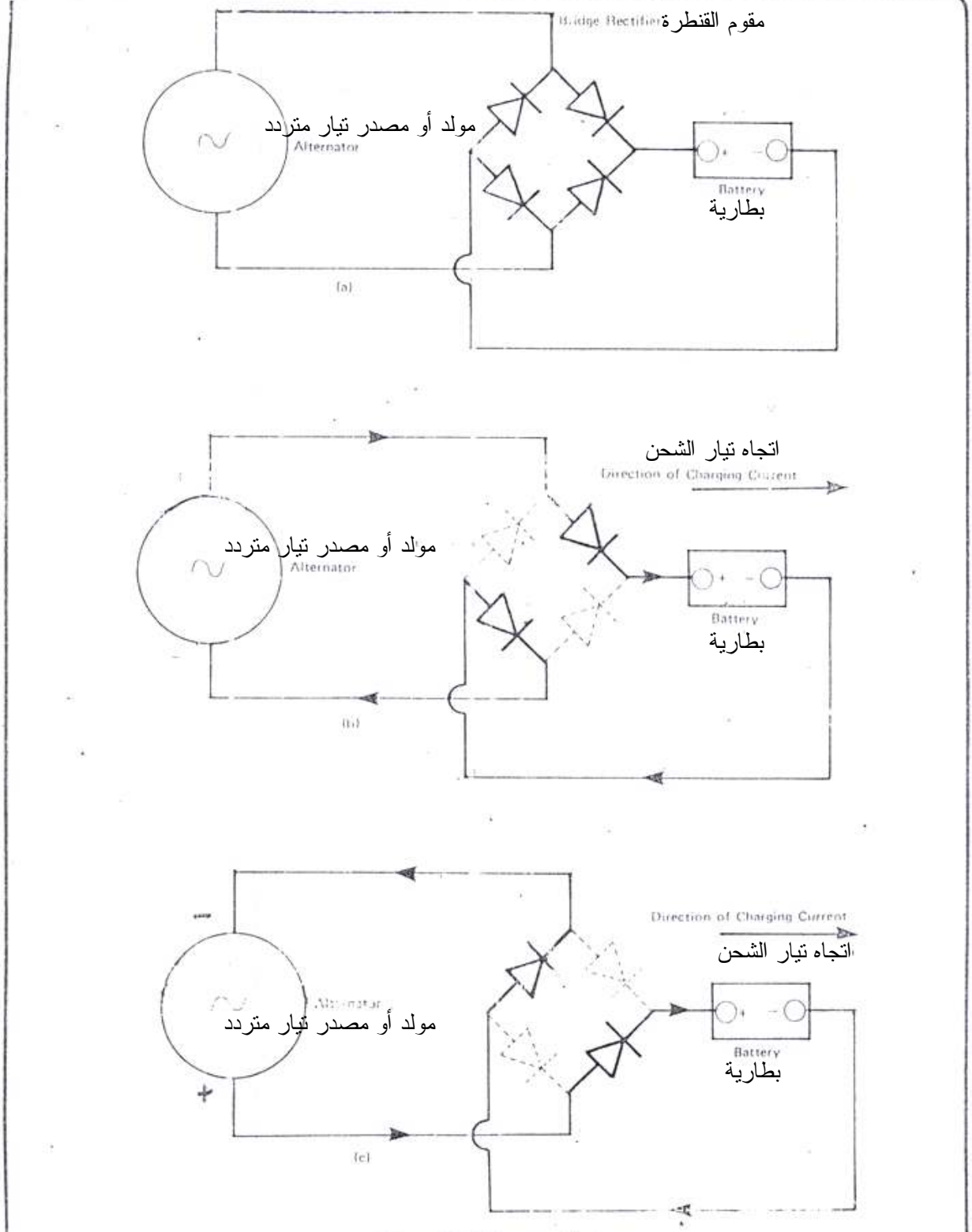
عندما يوصل لمبة الى دائرة تيار متردد Ac تردده 50هيرتز ، يكون الطرف (أ) موجبا والطرف (ب) سالباً فى نصف الموجة الموجبة ويمر تيار ويكون اتجاه التيار فى أتجاه عقارب الساعة وبعد $\frac{1}{100}$ من الثانية يكون الطرف (أ) سالبا والطرف (ب) موجبا فى النصف السالب من الموجة ويسرى تيار من (ب) إلى تيار (أ) فى اتجاه عكس عقارب الساعة ويستمر سريان التيار هكذا متغير فى الاتجاه كل $\frac{1}{100}$ من الثانية .



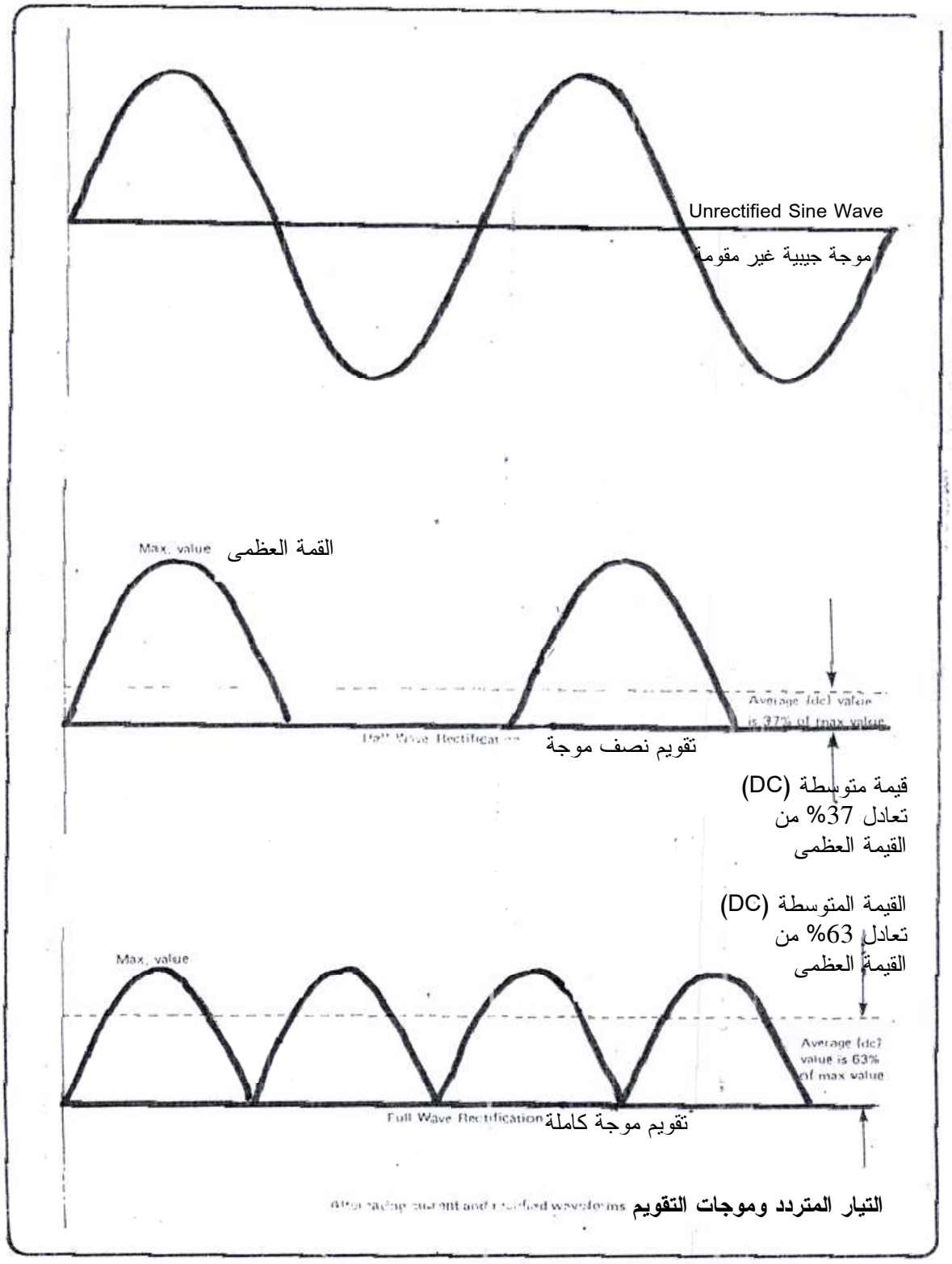
عندما يوصل دايود بين المصدر والحمل كماهو موضح فى الشكل أدناه فإنه فى تصف الموجبة يكون الأنود موجباً والكاثود سالبا ويوصل الدايود فى الانحياز الأمامى . فى النصف السالب للموجة الجيبية يكون الكاثود موجبا والانود سالبا (انحياز عكسى) فيجب الجزء السالب إذ يكون الدايود قاطعاً وبذلك يسرى التيار فى الدائرة فى اتجاه واحد (Dc) وتسمى دائرة التقويم بدائرة تقويم نصف موجه إذ تم الاستناد فى نصف الموجة الموجبة فى هذه الحالة . وإذا عكس قطبية الدايود فانه يتم الاستنادة من النصف السالب فقط ويحجب النصف الموجب ويقال أن الدائرة فى هذه الحالة ايضاً بتقويم نصف الموجبة haif-ware rectification .



تستخدم طريقة أخرى أفضل من تقويم نصف موجبة وتسمى هذه الطريقة بطريقة تقويم موجبة كاملة إذ يتم الاستنادة من نصفى الموجة ويكون اتجاه التيار فى نصفى الموجبتين فى اتجاه واحد . يستخدم فى هذه أربعة دايودات . يوصل فيها كل دايودين على التوالي في كل نصف موجة . الأشكال التالية توضح دائرة تقويم موجة كاملة توصيلة القنطرة مستخدم لشحن بطارية .



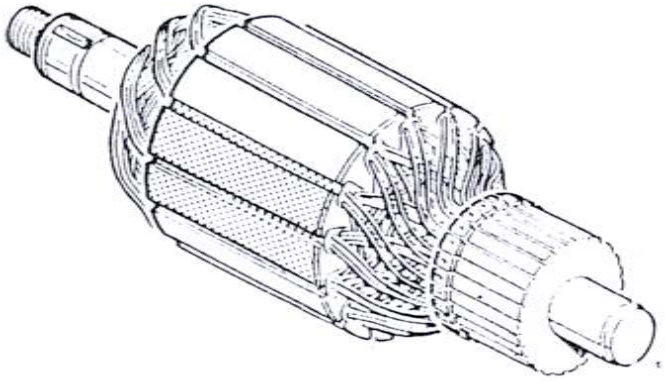
Action of the full-wave rectifier. **عمل مقوم موجة كاملة**



التيار المتردد وموجات التقويم

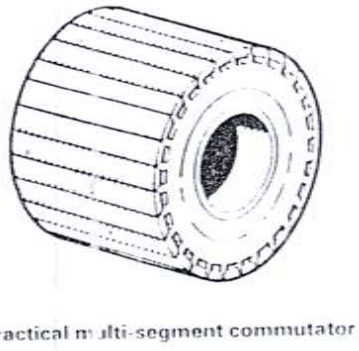
نماذج دوائر التقويم في مولد السيارات :

(أ) نحتاج إلى مصدر تيار مباشر في السيارة لشحن البطارية ولدائرة الاشتعال . حتى الستينات من القرن الماضي (1960) كان مولد السيارة عبارة عن الدينمو المعتاد الذي يتكون من المنتج في العضو الدائر والذي يتولد فيه قوة دافعة كهربية مترددة . عضو الانتاج يتكون من قلب شرائح الحديد لتقليل التيارات الإعصارية مثبتة على عمود من الصلب وتلف الموصلات في مجاري على القلب تؤخذ أطراف الموصلات التي تتولد فيها القوة الدافعة الكهربية المترددة وتلحم في قضبان عضو التوحيد والذي يتكون من قضبان سميكة من النجاس على شكل إسطوانة مثبتة على نفس العمود . تضع عضو التوحيد في قضبان سميكة من النحاس للحصول على إلتماس جيد مع فرش الكربون وتعزل القضبان عن بعضها البعض وتترك المادة العازلة على مستوى أقل انخفاضاً من مستوى سطح النحاس عند التصنيع لأن النحاس أكثر تآكلاً من المادة العازلة . تثبت الفرش الكربونية على صندوق ونضغط عن طريق ياي على عضو التوحيد لإلتقاط قوة دافعة كهربية عبارة عن تيار مباشر تمت تقويمه بواسطة عضو التوحيد .



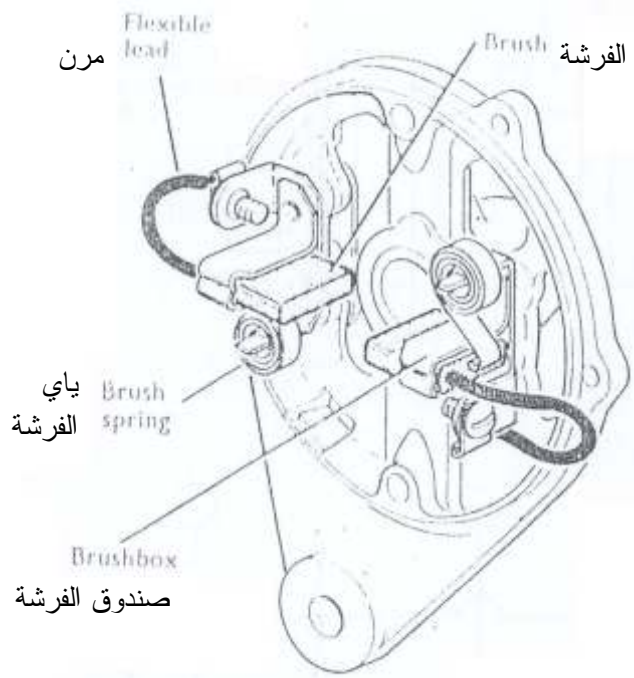
Typical dynamo armature and commutator

منتج مولد تيار مستمر مع عضو توحيد



Practical multi-segment commutator

قضبان متعددة لعضو توحيد واقعي

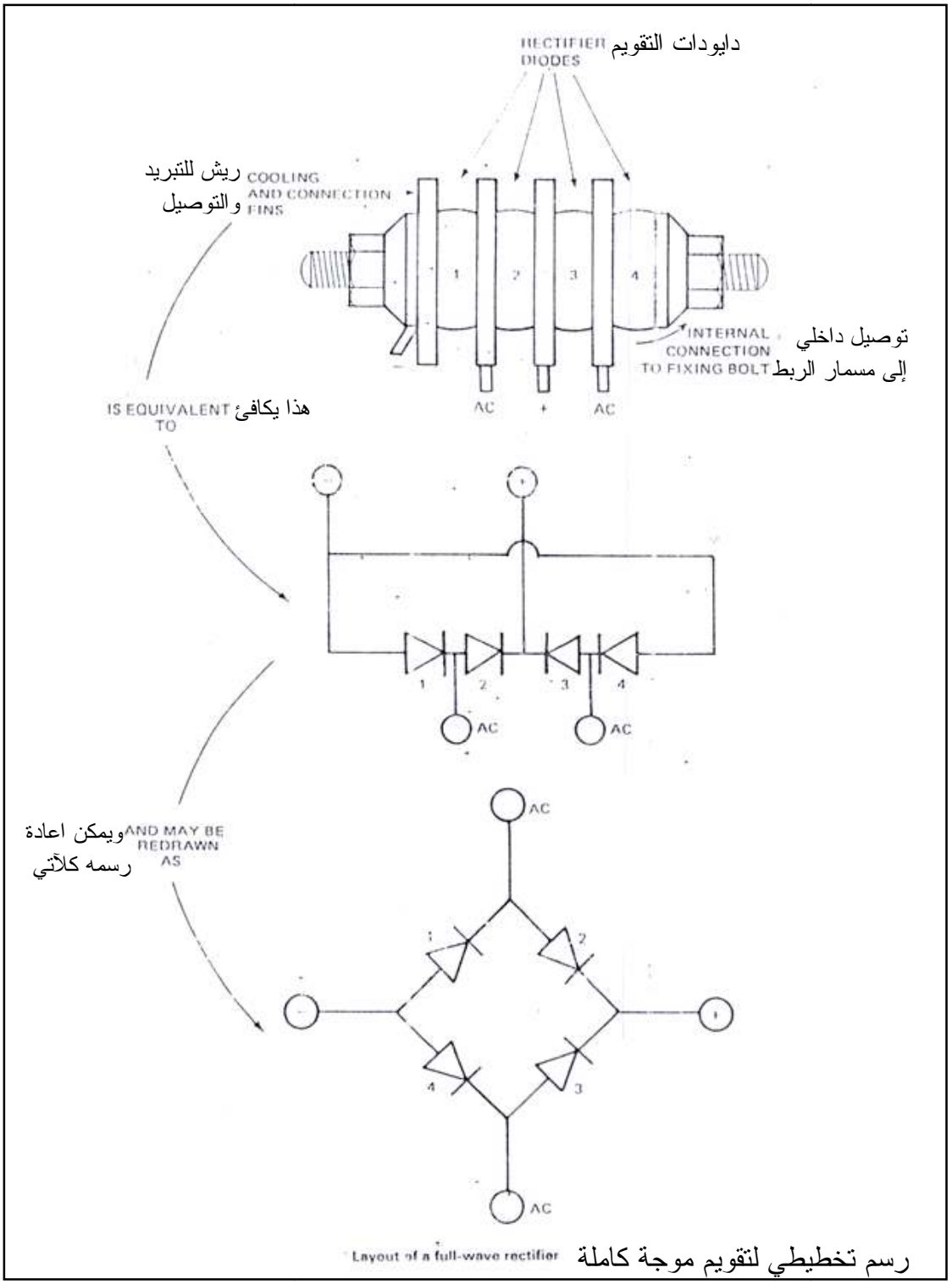


Brush assembly (**مجموعة الفرش**

Multi-coil armature output (**خرج ملفات متعددة**

(ب) يستخدم – في الوقت الحاضر – في السيارات – مولدات عبارة عن ملفات في العضو الساكن والمجال المغناطيسي في العضو الدائر عكسي مع ذكر في الفقرة (أ) وذلك للمميزات التي ذكرت لهذا النوع في باب المولدات ويتم التقويم بواسطة مقومات ساكنة عبارة عن دايودات من أشباه الموصلات ويسمى مثل هذه المولدات محلياً " بالماقنيتو " .

هنالك عدد قليل من المولدات المستخدمة عبارة مولدات طور واحد وبعض مولدات السيارات المصنعة في فرنسا مثلاً ويوجد طرفان فقط يمثل هذه المولدات للتيار المتردد ويوصل الطرفان إلى دائرة قنطرة تقويم موجة كاملة كما هو موضح في الشكل أدناه :



Layout of a full-wave rectifier رسم تخطيطي لتقويم موجة كاملة

(جـ) الماقنيتو ثلاثي الأطوار :

معظم مولدات السيارات في وقتنا الحاضر عبارة عن مولدات ثلاثية الأطوار . كما ذكرنا سابقاً توجد ثلاثة مجموعات من الملفات مزاحة 120 ْ عن بعضها البعض في العضو الساكن . يخرج ستة أطراف من الملفات ويمكن توصيل هذه الأطراف أما توصيلة نجمة أو توصيلة دلتا .

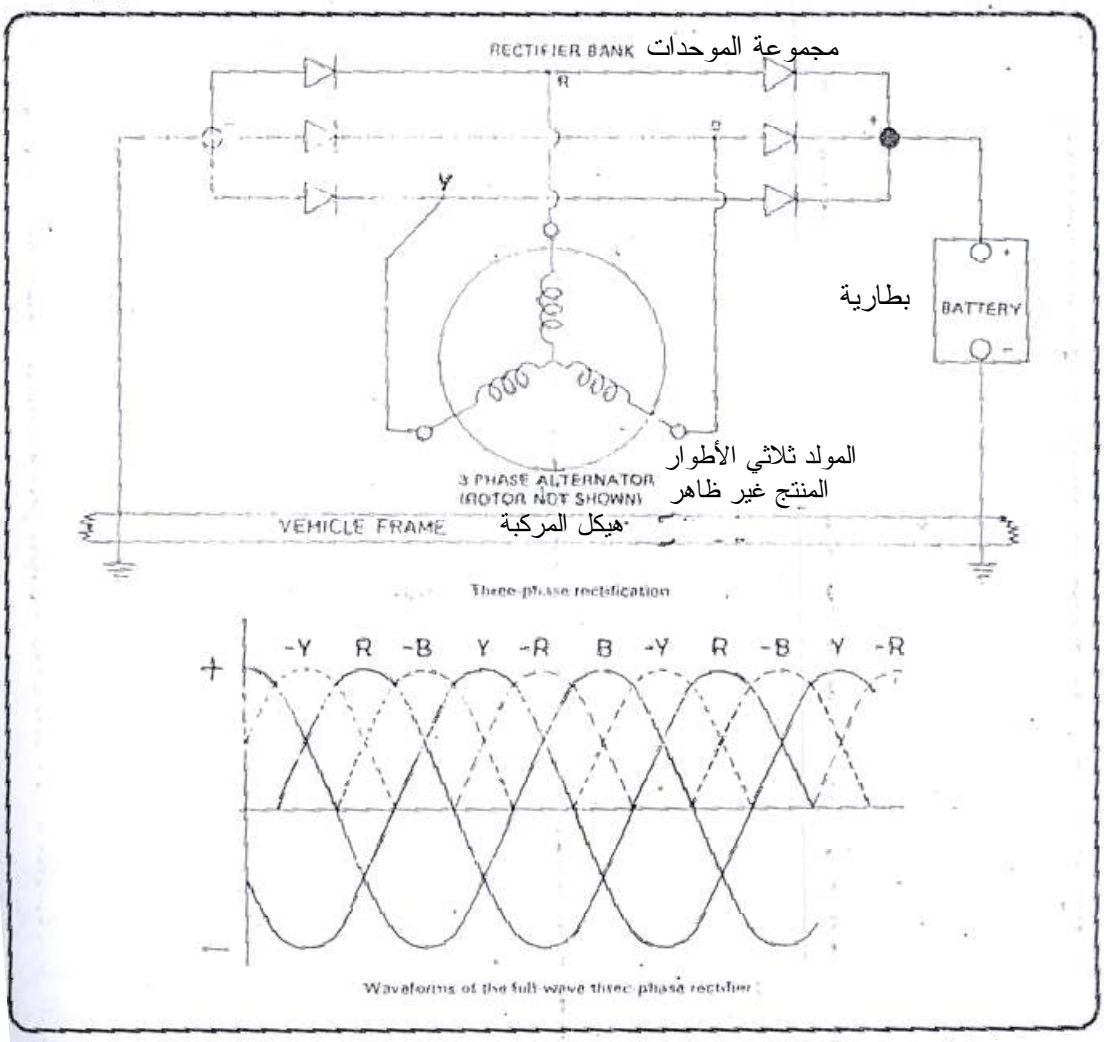
سرعة معينة تكون قدرة الخرج متساوية في الحالتين ولكن جهد خرج توصيلة النجمة

= 1.732 × جهد خرج توصيلة الدلتا ، وأن تيار الخرج في توصيلة الدلتا

= 1.732 × تيار الخرج لتوصيلة النجمة .

تستخدم توصيلة النجمة في معظم السيارات الخفيفة للحصول على جهد عالي وعندما تكون الحاجة إلى تيارات أعلى يفضل استخدام توصيلة الدلتا .

دائرة التقويم في المولدات الثلاثة الأطوار تتم بعدد ستة دايودات و تسعة دايودات تقويم موجة كاملة بعكس أنصاف الموجات السالبة يمكن الحصول على جهود أو تيارات مرتفعة بالمقارنة إلى مولدات الطور الواحد إذ توجد عدد ستة أنصاف موجات في كل 360 ْ مما يعطي قيم متوسطة لا تقل كثيراً عن القيمة العظمي للموجة الجيبية ، بجانب عمل الدايودات كمقومات فإنها تعمل أيضاً في منح التيار من البطارية إلى المولد عندما يكون جهد البطارية أعلى من جهد المولد بهذه الخاصية يمكن التغلب والاستغناء من إستخدام الكتاوت في دائرة الشحن كما هو مطلوب في مولدات الدينمو المباشر في الفقرة (أ)



موجات تقويم موجة كاملة لمولد ثلاثي الأطوار

(د) إثارة مجال العضو الدائر :

إذا ما تم لف العضو الدائر بملفات حول قلب من الحديد كما موضح في شكل (أ) فإنه يتكون من قطبان مغنطيسيان ولطول الممر الهوائي سوف تكون خطوط القوي المغنطيسية ضعيفة .

تخيل الآن أذا وضعنا قطعتين نت الحديد تفصل بينهما مساحة صغيرة من الهواء كما في شكل

(ب) لتركيز خطوط القوى المغنطيسية وأخيراً إذا جعلنا طرفي قطعتي الحديد بحيث أنهما يتشابكان أو

تتعشقان مع بعضهما البعض بدون تلامس كمخلبين متداخلين فإن خطوط القوى المغنطيسية سوف تكون بشدة معتبرة وسوف تتسرب منبعجة إلى الخارج – هذه الخطوط المتسربة إلى الخارج هي التي سوف تقطع ملفات العضو الساكن المحيطة لتوليد قوة دافعة كهربية مطلوبة يوجد في المخلبين 12 قطباً ، المخلب الأول فيه 6 أقطاب مغناطيسية قطب شمالي والمخلب الآخر به 6 أقطاب مغناطيسية قطب جنزي – الزيادة الملحوظة في عدد الاقطاب تعني زيادة في قيمة التردد وبالتالي خرج أفضل من حيث القيمة والتنقية .

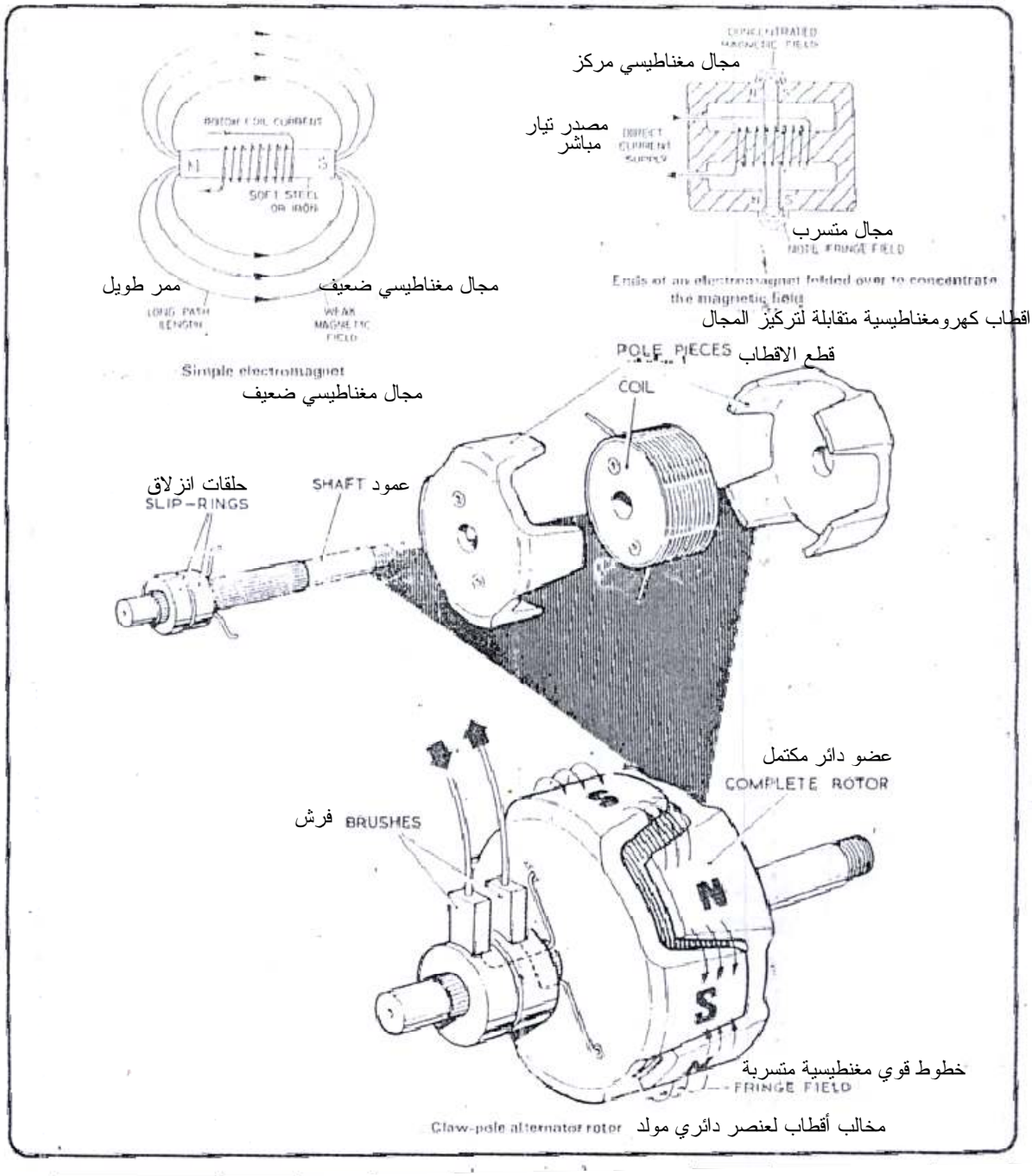
لا توجد معناطيسية متبقية موجودة كافية كما في مولد الدينمو في الفقرة (أ) وذلك لبدء عملية الشحن حيث تستخدم في البدء لإثارة أو تغعيل مغناطيس المجال في النظم السابقة كانت تستخدم في المجال لتوصيل البطارية إلى ملف المجال عند تشغيل مفتاح الاشغال ، في الوقت الحاضر حل نظام الإثارة الذاتية بديلاً لنظام الإثارة عن طريق البطارية السابقة . في نظام الإثارة الذاتية تستخدم ثلاثة دايودات إضافية عن الستة دايودات المستخدمة لشحن البطارية وذلك لتغذية مجال العضو الدائر بجزء من التيار المنتج بواسطة المولد " انظر دائرة الإثارة الذاتية " .

بالرغم من أن آلة الإثارة الذاتية تمد تيار الإقارة لملف المجال في الوقت الذي يشحن فيه المولد البطارية تكون الآلة غير قادرة لمد التيار المبدئي لإثارة المجال لبدء عملية الشحن وتنجز ذلك بطريقة بسيطة وذلك بإستخدام لمبة انذار وبهذه الطريقة تحقق دائرة لمبة الإنذار غرضين :

أولاً : تنذر السائق عن طريق إشارة بأن النظام لا يعمل على ما يرام .

ثانياً : عن طريق الدائرة تمد تيار المجال المبدئي .

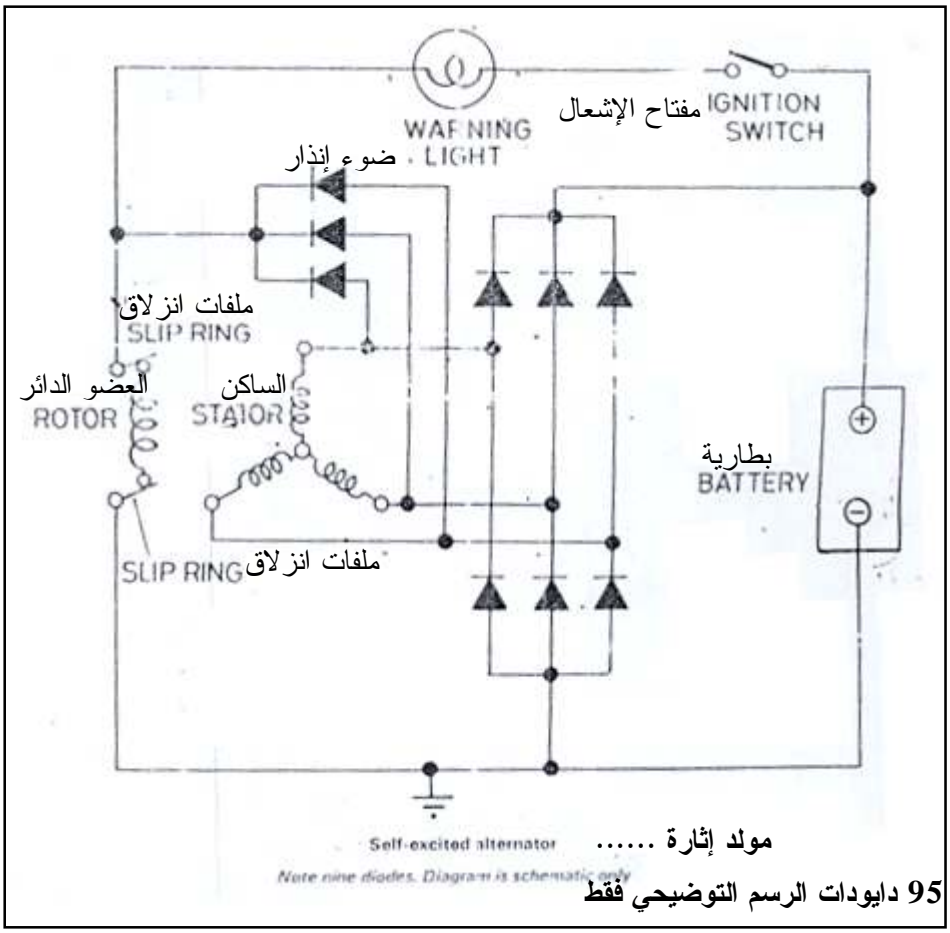
عندما يراد تشغيل سيارة تشغل مفتاح الإشعال ويوصل اللمبة إلى البطارية وتكمل الدائرة خلال ملف الإثارة إلى الأرضي ، في هذه اللحظة تضاء لمبة الإنذار وعن طريقها يغذى ملف المجال .



بتيار الإثارة ، قيمة هذا التيار يعتمد على قدرة اللمبة بالواط (عادة 2.2 واط عند 12 فولت) .

بارتفاع سرعة دوران المولد فإن فرق الجهد على خرج دايودات المجال يزداد وهذا يخفض بالتدريج الجهد المسلط بين طرفي اللمبة وتنخفض إضاءة اللمبة ببطئ وتنطفئ بالكامل عندما يكون جهد الخرج للدايودات يساوي جهد البطارية .

عملياً توصل مقاومة على التوازي مع اللمبة بضمان عمل الدائرة حتى عند تلف اللمبة .



مولد إثارة .....

95 دايودات الرسم التوضيحي فقط