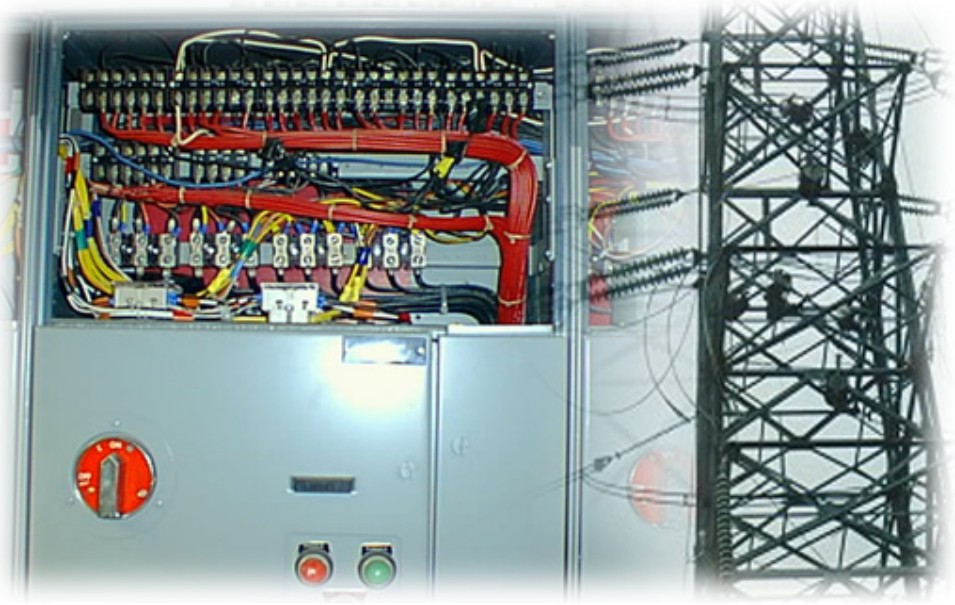
المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

قوى كهربائية

محطات التوليد ونقل القدرة

٢٥٤ كهر



جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

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

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

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

وتتناول هذه الحقيبة التدريبية " محطات التوليد ونقل القدرة " لمتدربي قسم" قوى كهربائية " للكليات التقنية موضوعات حيوية تتناول كيفية اكتساب المهارات اللازمة لهذا التخصص.

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

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

الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

محطات التوليد ونقل القدرة

مصادر الطاقة الكهربائية

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الجدارة:

الإلمام بمصادر الطاقة المختلفة وأهميتها في توليد الطاقة الكهربائية.

الأهداف:

عندما تكمل هذا الفصل يكون لديك القدرة على معرفة:

١ - مصادر الطاقة المختلفة وكيفية تحويلها إلى طاقة كهربائية

٢ - أهم مميزات وعيوب هذه المصادر

مستوى الأداء المطلوب:

أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الجدارة بنسبة ١٠٠٪

الوقت المتوقع للتدريس : ٤ ساعات

الوسائل المساعدة:

١ - التجربة العملية الأولى

٢ - التجربة العملية الثانية

متطلبات الجدارة:

معرفة ما سبق دراسته في جميع المواد السابقة

مقدمة

لتوفير احتياجاته للطاقة حاول الإنسان أن يستفيد من الموارد الطبيعية من حوله ويحولها إلى طاقة كهربائية.فاختلفت مصادر الطاقة الكهربائية المستخدمة من مكان إلى آخر باختلاف الطاقات الطبيعية المتوفرة والإمكانيات التقنية المتاحة. كان أبرز وأول هذه المصادر الماء وظهرت بعده المحروقات بأنواعها من فحم حجري ونفط وغاز. لكن افتقار بعض المجتمعات لهذه الموارد وتطور التكنولوجيا جعلها تبحث عن مصادر جديدة، وكانت النتيجة انتشار محطات الطاقة النووية. بعد إدراك الإنسان لمدى خطورة هذه المصادر الجديدة وما تحدثه من تلوث وكوارث بحث عن البديل في الطاقات المتجددة وسميت بالطاقات البديلة. أهم هذه الطاقات: طاقة الرياح والطاقة الشمسية وطاقة المد والجزر والطاقة الجوفية.

تصنف هذه المصادر إلى طاقة طبيعية متجددة،أو طاقة قابلة للاسترجاع، وطاقة غير متجددة. تشمل مصادر الطاقة المتجددة الطاقة الشمسية والطاقة الهوائية والطاقة المائية وطاقة المد الجزر، أما مصادر الطاقة غير المتجددة فتمثل المحروقات بأنواعها (الفحم الحجري، النفط والغاز الطبيعي) وكذلك الطاقة النووية. فكل هذه المواد مستخرجة من الأرض والكميات المخزنة منها في الأرض تكاد تكون معروفة، وعندما يتم تحويلها إلى طاقة حرارية ومنها إلى طاقة كهربائية لا يمكن إرجاعها إلى حالتها الأولى.

نتطرق في هذا الباب إلى مختلف مصادر الطاقة الكهربائية بعد تصنيفها إلى مصادر طاقة متجددة وغير متجددة و شرح طريقة استخدامها وتحويلها إلى طاقة كهربائية مع تحديد عيوب ومميزات كل منهما.

الطاقات المتجددة RENEWABLE ENERGY

الطاقة الشمسية SOLAR ENERGY

يعتبر ضوء الشمس وحرارتها من حقائق الكون المسلم بها والتي وهبها الله لخلقه كمنبع للضوء و الدفء وواحدة من مصادر الحياة ينتفع منها الإنسان والحيوان والنبات. وهنالك حقيقة قد تكون خافية على كثير من الناس وهي أن كل أنواع الطاقة على الأرض يرجع مصدرها للشمس. على سبيل المثال طاقة المياه والرياح تسببها الطاقة الشمسية وكذلك مواد الوقود الهايدروكربونية مثل الفحم الحجري والزيت والغاز الطبيعي قد تم تكوينها بواسطة تفاعل طاقة الشمس مع المواد العضوية.

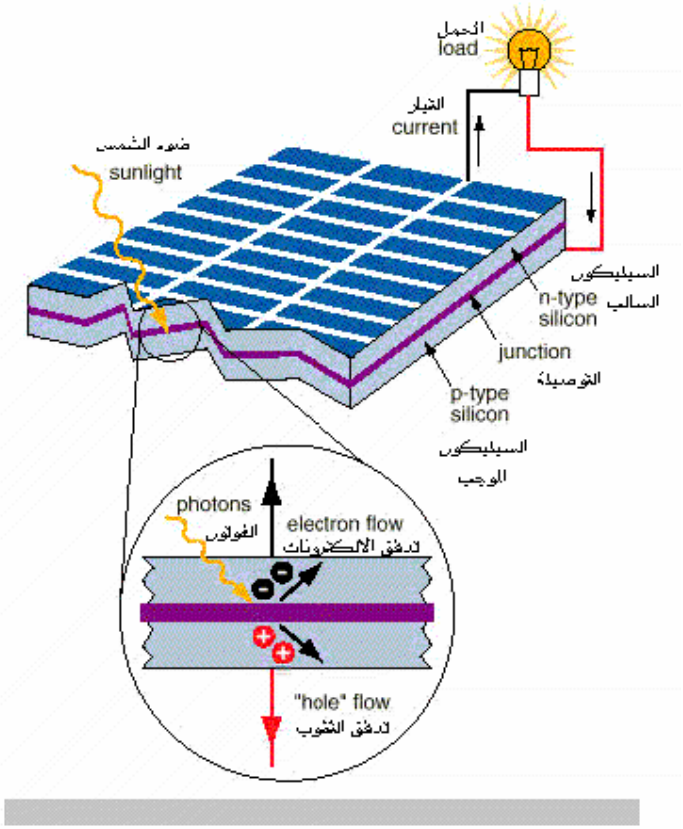
تحصل الأرض على معظم طاقاتها من الشمس على شكل إشعاع كهر مغناطيسي والذي يتكون من ٣٪ أشعة فوق البنفسجية و ٤٢٪ أشعة مرئية و ٥٥٪ أشعة تحت الحمراء و تحتفظ الأرض بواحد في المائة فقط من هذه الأشعة. تمثل الطاقة الشمسية التي تتساقط على متر مربع واحد فوق السحب ١٣٥٠(W) وات وعلى مستوى الأرض يكون متوسط هذه الطاقة حوالي ١٠٠(W) وات. وتساوي الطاقة الشمسية التي تتلقاها الأرض سنويا من خمسة إلى عشرة أضعاف طاقة الوقود المخزونة بما في ذلك اليورانيوم.

يمكننا استغلال الطاقة الشمسية كمصدر حراري سواء كان للتسخين وهذا يعتبر من اقدم الأساليب أو لتحويلها إلى طاقة حركية وذلك باستخدام التقنيات الحديثة. أما عن أسلوب استغلال الطاقة الشمسية كمصدر ضوئي فيعتبر أسلوب حديث نسبيا ويستخدم في ذلك الخلايا الفولت الضوئية (Photovoltaic cells) التي تحول ضوء الشمس مباشرة إلى كهرباء.

الخلايا الفولت الضوئية Photovoltaic Cells

تعتبر الخلايا الفولت الضوئية الأسلوب الوحيد لاستغلال الطاقة الشمسية كمصدر ضوئي وهي عبارة عن مواد شبه موصلة مصنعة من السليكون (Silicon). عملية تصنيع المواد شبه الموصلة تتمثل في إعطاء شحنة سالبة لمادة السليكون بإضافة عنصر الفسفور (Phosphorus) ويسمى السيليكون السالب (N-type Silicon) أو بإضافة عنصر البورون (Boron) ويسمى السيليكون الموجب (P-type Silicon).

تتكون قاعدة الخلية الفولت الضوئية من السليكون الموجب وتوضع فوقها طبقة خفيفة من السليكون السالب كما يبينه الشكل رقم ١. بما أن طبقة السليكون السالب خفيفة جدا فإن ضوء الشمس المتكون من الفوتونات (Photons) يخترقها بعمق حتى يصل إلى موقع الالتصاق مع طبقة السليكون الموجب فيدفع الإلكترونات وتتكون الثقوب في هذا الجزء. وتكون النتيجة أنه بإمكاننا أن نستخدم هذه الخلية كمصدر طاقة حيث يكون السليكون السالب والسليكون الموجب القطبين السالب والموجب بالتوالي. الشكل رقم ٢ يوضح كيفية استخدام الخلية الفولت الضوئية (اللوحة الشمسية) كمصدر للطاقة موصل إلى حمل كهربائي وهي عبارة عن دائرة كهربائية تمثل مصدراً للتيار المستمر يغذي مقاومة مادية مع بطاريات لتخزين الطاقة.



شكل ١.١ : مكونات الخلية الفولت الضوئية
Photovoltaic cell

كفاءة تحويل الطاقة عند الخلايا الشمسية

يمكننا تعريف كفاءة الخلية الشمسية بنسبة القدرة المستخرجة من الخلية إلى القدرة التي تستقبلها الخلية من ضوء الشمس. وهذه الكفاءة تحددها القيمة النظرية لأقصى كمية طاقة يمكن أن تحول لقدرة كهربائية. هذه الكفاءة القصوى هي حوالي ٢٥ بالمائة ورغم أن هذه الكفاءة متدنية إلا أننا عندما نقارنها بكفاءات تحويل طاقة أخرى نجدها اعتيادية، فمثلا محركات السيارات الاعتيادية لا تزيد كفاءة تحويل الطاقة فيها من حرارية إلى ميكانيكية عن ٢٥ ٪.

$$\text{كفاءة الخلية} = \frac{\text{القدرة الخارجة}}{\text{القدرة الداخلة}}$$

هنالك عدة عوامل تؤثر على كفاءة الخلية ومنها:

إن الضوء الذي ينعكس من سطح الخلية لا يخترق طبقة السليكون السالب (N-type) إلى طبقة السليكون الموجب (P-type) ولذلك فإن كفاءة الخلية تقل.

أ - من المعرف أن طبقة السليكون السالب تكون خفيفة لتمكين الضوء من اختراقها وعندما تثبت هذه الطبقة مع طبقة السليكون الموجب فإن المادة المعدنية التي تستعمل للحام الجزأين تحجز بعض أشعة الضوء من المرور للجزء الثاني مما يقلل من كفاءة الخلية.

ج - هنالك تأثير الحرارة، فالخلية مصممة عادة لتعمل في مدى حراري من ٦٥^{o}C - إلى ١٢٥ ^{o}C+.

وعندما تبدأ درجة حرارة الخلية في الارتفاع، ينخفض الجهد بمعدل ٢mV لكل درجة مئوية ٢mV/١^{o}C. ويعوض هذا الانخفاض بارتفاع التيار الذي يزيد بمعدل ٠,٥ ملي أمبير لكل درجة مئوية ٠,٥mA/١^{o}C. ولكن القدرة تنخفض بمعدل ٠,٣ بالمئوية كلما ارتفعت الحرارة بمعدل درجة مئوية واحدة. ويمكن حساب تيار وجهد الخلية من القوانين التالية:

$$E_{out} = E_{ref}\left[1 - 0.002(T - 25)\right]$$

E_{out} : output of cell in volts جهد الخلية بالفولت

E_{ref} : output of cell in volts at (٢٥^{o}C) جهد الخلية بالفولت عند درجة الحرارة

T : Temperature in degrees centigrade (^{o}C) الحرارة بالدرجة المئوية

$$I_{out} = I_{ref}\left[1 + 0.025A(T - 25)\right]$$

تيار الخلية I_{out} : output current of cell in (mA)

مساحة مقطع الخلية بالمتر المربع (m^2) A : Area of cell in

تيار الخلية بالملي أمبير عند درجة الحرارة (25^oC) I_{ref} : output current of cell in (mA) at

الحرارة بالدرجة المئوية (^oC) T : Temperature in degrees centigrade

توصيل الخلايا على التوالي والتوازي

بحكم أن جهد وتيار الخلية ضعيف جدا فيتم توصيل عدد كبير من الخلايا على التوالي وعلى التوازي للحصول على الجهد والتيار اللازمين. عندما توصل الخلايا على التوالي كما هو موضح في الشكل رقم ٣، يكون الجهد الحاصل هو مجموع جهد هذه الخلايا ولكن التيار يكون تيار الخلية الواحدة. وعندما توصل الخلايا بالتوازي كما هو موضح في الشكل رقم ٤ يكون الجهد مساويا لجهد الخلية الواحدة والتيار مجموع تيارات الخلايا الموصلة بالتوازي. تشكل الخلايا الموصلة على التوالي و التوازي ما يعرف باللوحة الشمسية كما يبينها الشكل رقم ٥. تسوق الخلايا على شكل لوحات شمسية وتعرف كل لوحة بمواصفاتها من قدرة وجهد وذلك عند استقبال أعلى كمية من الأشعة الشمسية.

كيفية استخدام الطاقة الشمسية

لتصميم نظام الطاقة الشمسية اللازم لمشروع معين لا بد لنا من توفير ودراسة المعلومات التالية:

أ - التعرف على كمية ضوء الشمس المتاح في موقع المشروع ومدى تغير هذه الكمية خلال فصول السنة. وهذا بالطبع يساعدنا على حساب عدد اللوحات المطلوب استخدامها لتوفير الطاقة اللازمة للمشروع.

ب - التعرف على خصائص الأحمال المستخدمة بما في ذلك متوسط التيار ودورة الاستخدام. وهذا يمكننا من معرفة سعة البطاريات المطلوبة لتخزين الطاقة واستعمالها في أوقات انعدام ضوء الشمس.

ج - اختيار نوع اللوحات الشمسية التي ستستخدم في هذا النظام وتحديد خصائصها والموقع الذي ستثبت فيه.

ح - تحديد التيار المطلوب توفيره من اللوحات الشمسية عند تساقط الأشعة:

$$\text{التيار المطلوب} = \frac{\text{معامل الأمان x متوسط التيار x ٢٤ ساعة}}{\text{ساعات تساقط الأشعة الشمسية يوميا}}$$

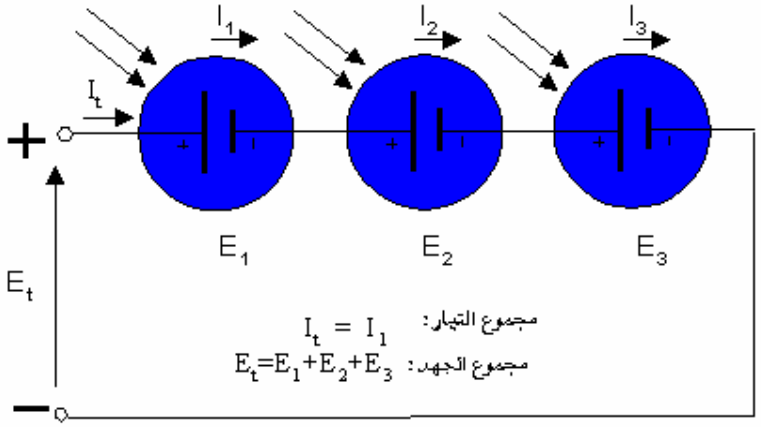
خ - تحديد عدد اللوحات الشمسية اللازمة للمشروع وذلك حسب القواعد التالية:

أ) **عدد اللوحات على التوالي=** $\frac{\text{الجهد اللازم للحمل}}{\text{جهد اللوحة الواحدة}}$

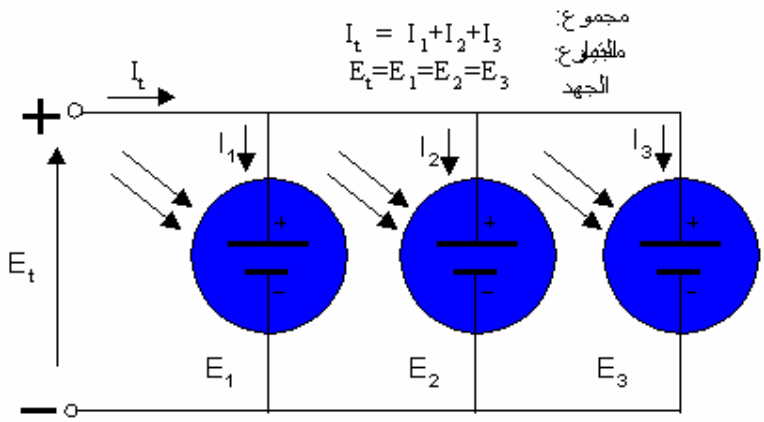
التيار المطلوب

عدد اللوحات على التوازي = $\frac{}{\text{تيار اللوحة الواحدة}}$

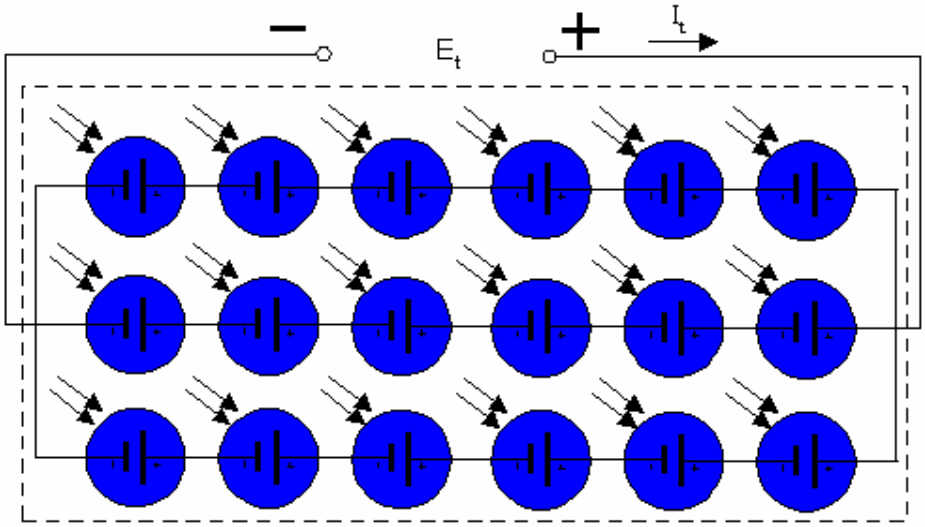
عدد اللوحات اللازمة = عدد اللوحات على التوالي x عدد اللوحات على التوازي



الشكل١.٣ : توصيل
الخلايا على التوالي



شكل١.٤ توصيل الخلايا على التوازي



الشكل١.٥ : لوحة شمسية مكونة من ١٨
خلية ٦على التوالي و٣على التوازي

طاقة الرياح WIND ENERGY

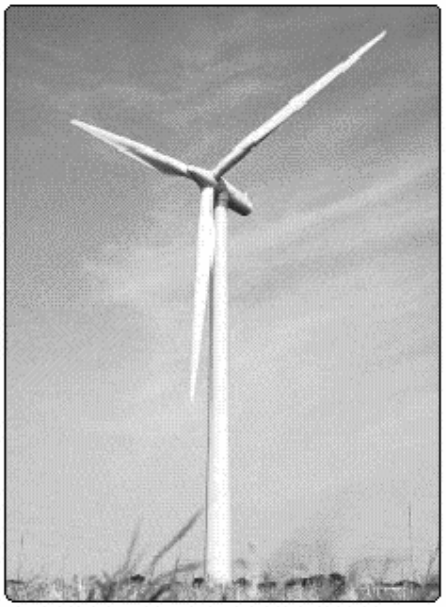
تنتج الرياح عن اختلاف درجه الحرارة على سطح الأرض الذي تسببه أشعة الشمس، ولذا يمكننا اعتبارها شكل من أشكال الطاقة الشمسية غير المباشرة وطاقة متجددة. تختلف كميات ومتوسط سرعة الرياح من منطقة لأخرى من مناطق الكرة الأرضية بدرجات متفاوتة، و لتحديد هذه المستويات طورت خرائط لمعرفة متوسط سرعة الرياح. تساهم هذه الخرائط في اختيار المكان المناسب لاستغلال هذه الطاقة وتحديد تكلفة الطاقة الكهربائية المولدة من طواحين الهواء. ذلك لأن كمية الطاقة المحصلة من طاحونة الهواء تزيد بزيادة سرعة الرياح تكعيب. على سبيل المثال فإن الطاقة المحصلة من طاحونة الهواء عندما تكون سرعة الرياح ٢٠km في الساعة تزيد بنسبة ضعفين ونصف عن طاقة المحصلة عندما تكون سرعة الطاحونة ١٥km في الساعة.

طواحين الرياح (توربينات الهواء)

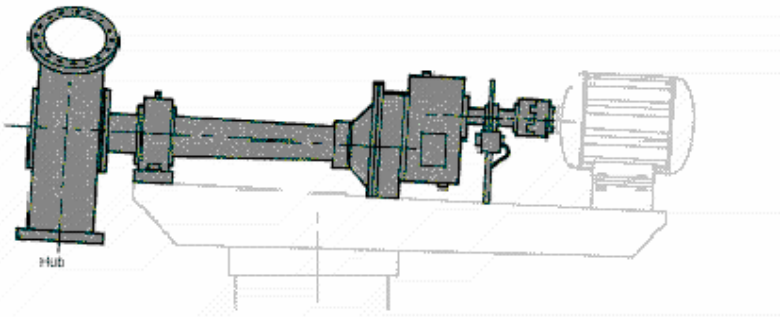
يمكننا تصنيف طواحين الرياح بصفة عامة إلى الطواحين ذات المحور الرأسي والطواحين ذات المحور الأفقي، مع أن معظم طواحين الهواء الحديثة هي ذات محور أفقي، وذلك لزيادة قدرة هذه المحطات وتطور تقنياتها (الشكل ٦). رغم الاختلاف الظاهر في شكل هذه الطواحين فهي تستخدم نفس النظام الميكانيكي لتوليد الطاقة الكهربائية. تمر الرياح عبر ريش الطاحونة فتحول إلى طاقة ميكانيكية والتي تنقل بدورها إلى المولد الكهربائي عبر نظام نقل الحركة كما يبينه الشكل٧. يأمن نظام نقل الحركة القدرة اللازمة لتشغيل المولد رغم التغيرات التي تحدث لسرعة الرياح وذلك في حدود مجال معين. أما عن الطاقة الكهربائية المولدة فيمكن استخدامها مباشرة أو ربطها بشبكة كهربائية أو تخزينها لاستخدامات لاحقة.

تختلف أحجام طواحين الرياح الحديثة من وحدات صغيرة لا تزيد قدرتها عن ١٠٠ وات، صممت لتوفير الحاجات المنزلية الصغيرة للطاقة، إلى طواحين عملاقة يزيد قطرها عن ٥٠ متر وتولد أكثر من مليون وات (١ MW) من الكهرباء. أغلب الطواحين المستعملة الآن هي ذات محور أفقي وتتكون من ثلاثة ريش يتراوح قطرها بين ٢٠ و٥٠ متر وتولد من ١٠٠ إلى ١٠٠٠ كيلو وات من الكهرباء. تشكل مجموعة الطواحين ما يعرف بحقل طواحين الهواء وتكون متباعدة بمسافة لا تقل عن خمسة أضعاف قطر الطاحونة وذلك لتجنب حدوث زوبعة هوائية داخل الحقل والتأثير على تدفق الهواء. يتم ربط هذه الحقول بالشبكة الكهربائية كبقية المحطات الكهربائية لتوفير نسبة كبيرة من احتياجات الطاقة تتراوح مابين ٢٠ إلى٤٠٪ في بعض البلدان كالولايات المتحدة والمملكة المتحدة والدنمارك.

من أهم ميزات طاقة الرياح هي نقاوتها وعدم تسببها في التلوث مقارنة مع ما تحدثه نظيراتها من غازات تسبب الانحباس الحراري أو مواد مشعة يصعب التخلص منها. أما عن العيوب فهي محدود جدا و أهمها الأصوات الناتجة عن الطواحين أو التشويش على الاتصالات اللاسلكية، و ذلك عند تواجدها قرب المناطق المأهولة.



الشكل١.٦: طاحونة هوائية ذات محور أفقي

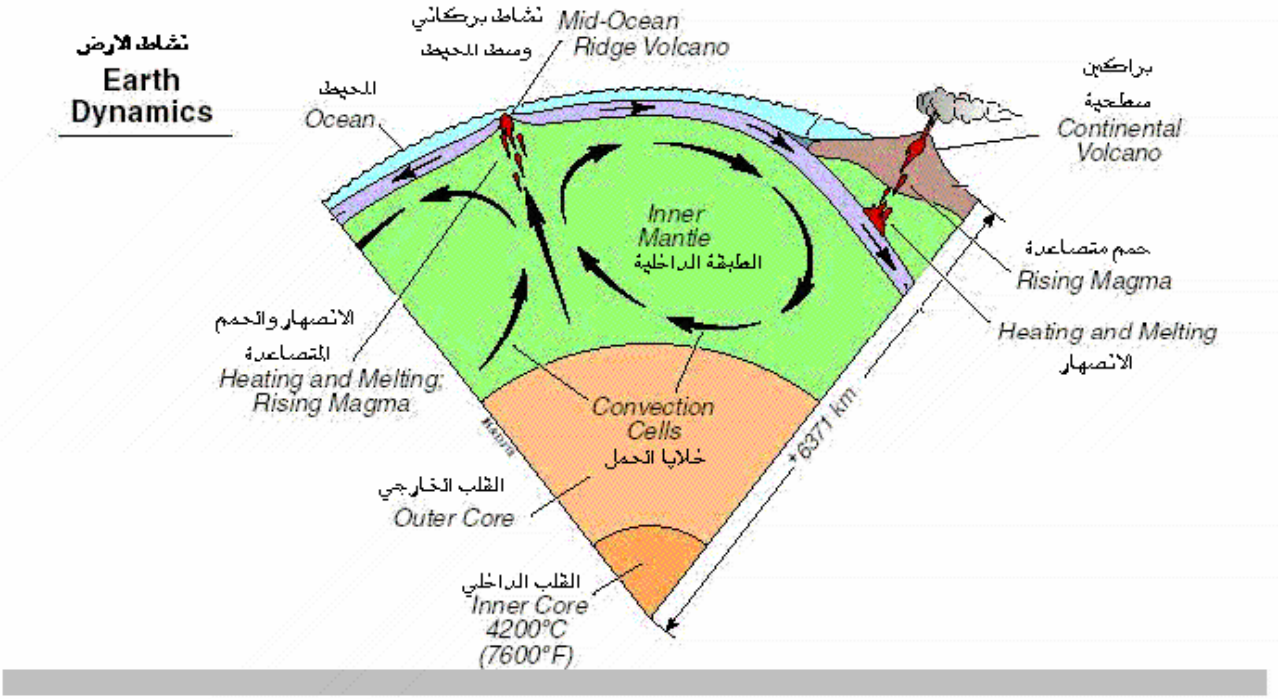


الشكل ١.٧ نظام نقل الحركة من الطاحونة الى المولد

الطاقة الكامنة في باطن الأرض (الطاقة الجوفية) GEOTHERMAL ENERGY

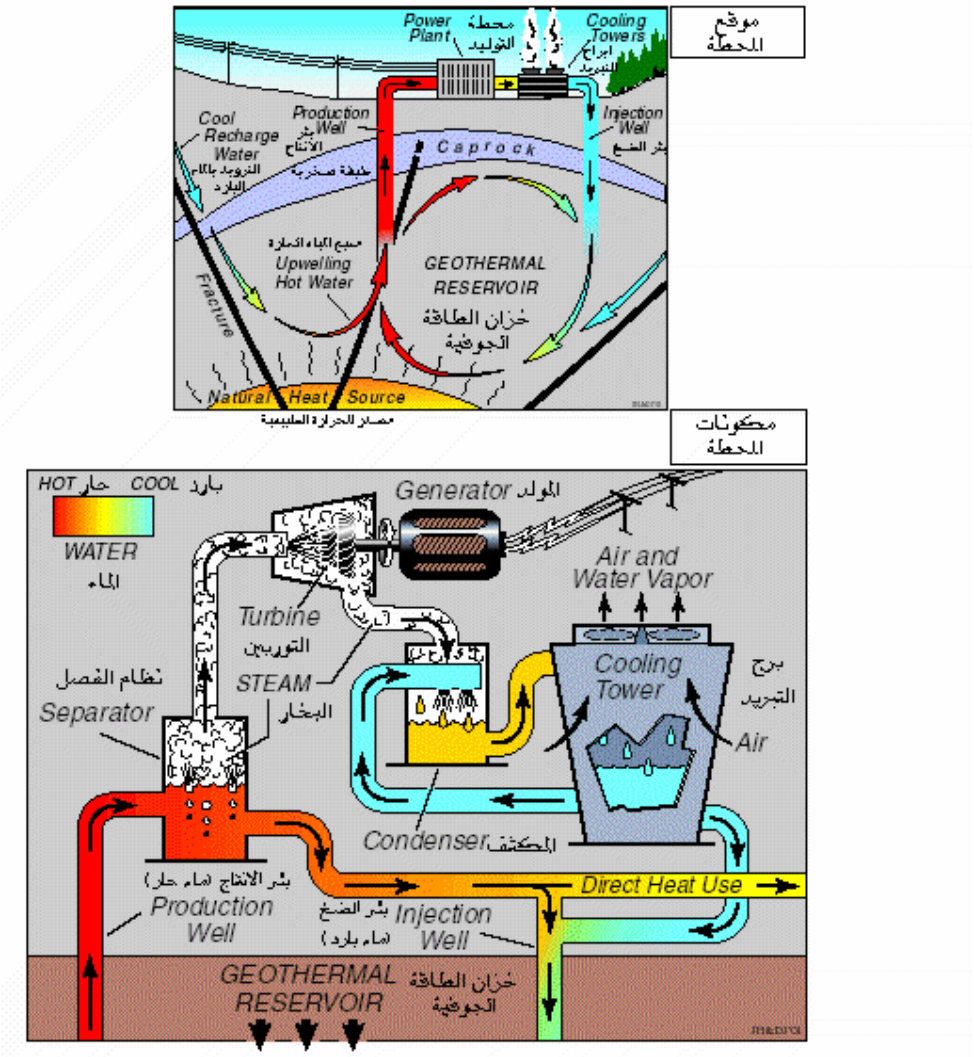
الطاقة الكامنة في باطن الأرض هي عبارة عن الطاقة الناتجة عن حرارة جوف الأرض. تظهر مصادر هذه الطاقة في المناطق البركانية وخاصة النشطة جيولوجيا على أربعة أشكال مختلفة تشمل المياه الحارة أو تحت الضغط العالي و الصخور الجافة الشديدة الحرارة و الحمم البركانية كما يبينها الشكل رقم ٨. كل هذه المصادر هي عبارة عن خزان للحرارة يمكن استغلالها وتحويلها إلى طاقة كهربائية وذلك بتقنيات وأساليب مختلفة.

يعتبر خزان المياه الحارة من أسهل الموارد تحويلا إلى طاقة كهربائية وذلك لما يحتويه من بخار يسهل تحويله إلى قدرة ميكانيكية عبر توربينات البخار ومنها إلى قدرة كهربائية عبر المولد. يتم تكثيف البخار ليصبح ماء ثم يضخ من جديد داخل الصخور الحارة كما يبين الشكل رقم ٩.



الشكل ١٨ : مختلف اشكال الطاقة الكامنة في باطن الأرض

تعتبر الطاقة الكامنة في باطن الأرض غير مأثرة على المناخ ولا تساهم في ظاهرة الانحباس الحراري ولكن اختلاطها بالغازات الخطيرة في بعض الأحيان يمكن أن يؤثر على البيئة وخاصة طبقات المياه.



الشكل ١.٩ : استخدام الطاقة الجوفية لتوليد الطاقة الكهربائية

طاقة المد والجزر TIDAL ENERGY

تمثل المحيطات أكثر من ٧١٪ من مساحة الأرض وهي تتعرض إلى قوة جاذبية هائلة من القمر بحكم قربه من الأرض مقارنةً بالكواكب الأخرى. تتسبب هذه القوة الجاذبية في سحب مياه المحيطات في اتجاه القمر، وبحكم دوران الأرض حول نفسها تحدث تغيرات في ارتفاع مياه المحيطات بصفة يومية ودورية وهو ما يعرف بالمد والجزر (الشكل ١٠).

لتحويل طاقة المد والجزر إلى طاقة كهربائية يتم استخدام نفس النظام المستخدم في المحطات الكهرومائية التقليدية. يتم إنشاء سد عبر خليج ضيق أو مصب نهر وتوضع التوربينات المائية داخله حيث يحركها تدفق الماء في الاتجاهين حسب المد أو الجزر. ثم تقوم هذه التوربينات بتحريك المولدات الكهربائية التي تحول بدورها الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية (الشكل١١).

يحدث ارتفاع وانخفاض مستوى الماء مرتين في اليوم ويمثل ١٢ ساعة تتخللها فترة ستة ساعات لا يمكن أن نعتمد فيها على المد والجزر لتوليد الطاقة. لتشغيل المحطة في هذه الفترة يتم اللجوء لخزان مرتفع يضخ فيه الماء خلال الفترة الأولى.

تعتبر هذا الطاقة المتجددة غير ملوثة نسبيا فهي لا تنتج غازات ولا مواد سامة ممكن أن تساهم في تلوث الطبيعة ولكن لها تأثير سلبي على التوازن البيئي في المحيطات والأنهار.

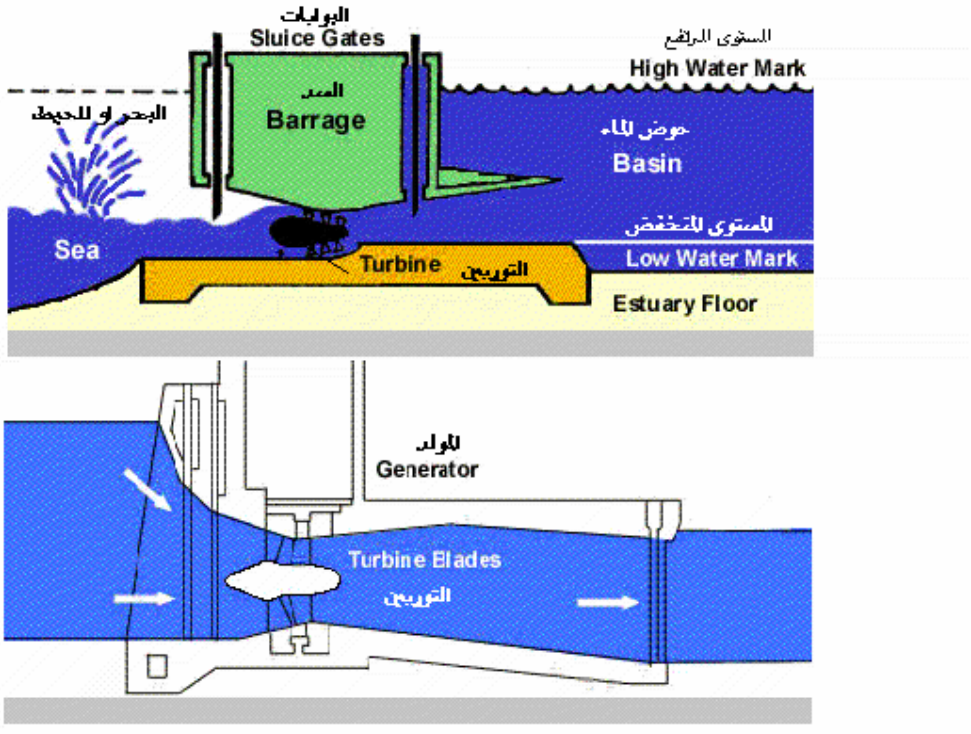
الشكل -١.١: تاثير جاذبية الشمس والقمر على ظاهرة المد والجزر

الطاقة المائية (الطاقة الكهرومائية HYDRO-ELECTRIC ENERGY)

تحول المحطات الكهرومائية الطاقة الحركية الناتجة عن تدفق الماء إلى طاقة كهربائية، وذلك باستغلال مصبات الشلالات أو بناء السدود لتخزين مياه الأنهار. تتدفق المياه عبر الأنفاق المخصصة لها داخل السد مرورا بتوربينات الماء ذات المحور الأفقي أو العمودي. تحول التوربينات الطاقة الحركية للماء إلى قدرة ميكانيكية على شكل حركة دائرية. تنقل هذه القدرة إلى المولدات عبر المحاور المشتركة مع التوربينات فتحولها بدورها إلى قدرة كهربائية كما هو موضح بالشكل رقم ١٢.

تعتمد كمية الطاقة الكهربائية المنتجة في المحطات الكهرومائية على عاملين أساسيين هما: ارتفاع مستوى المياه في السد مقارنة مع مستوى التوربينات وكذلك كمية الماء المتدفق في الثانية.

القدرة الكهربائية (kW) = ٥,٩ x F x H

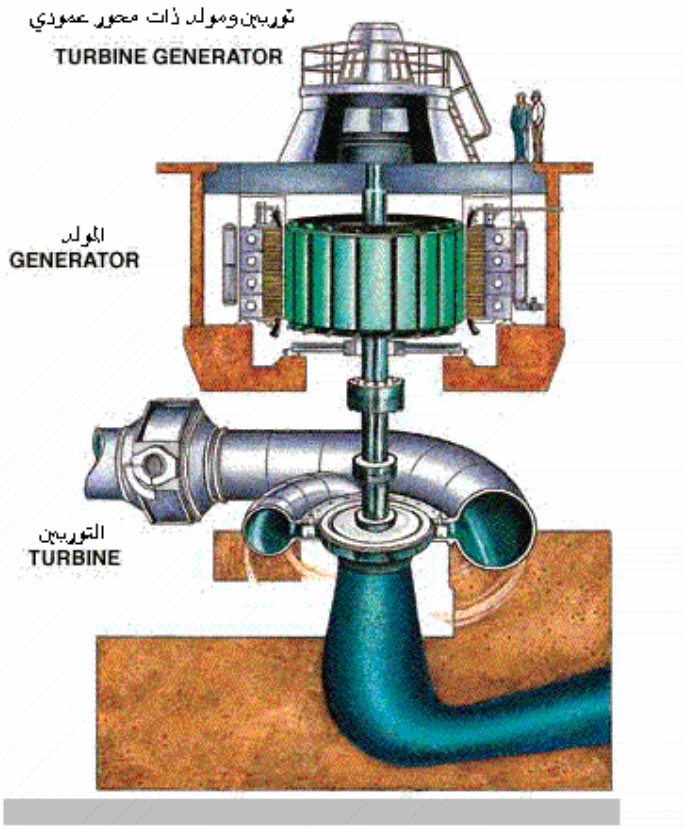


الشكل ١١ : استخدام طاقة المد والجزر لتوليد الطاقة الكهربائية

حيث F نسبة تدفق الماء بالمتر المكعب في الثانية

H ارتفاع مستوى الماء بالمتر

تعتبر الطاقة المائية من أكثر الطاقات المتجددة استخدام في توليد الطاقة الكهربائية وتمثل ١٥٪ من الطاقة الكهربائية المنتجة في العالم. كما يمكننا أن نعتبرها من أقل الطاقات تكلفة و أكثرها نقاوة رغم ما تسببه السدود المستخدمة لتجميع المياه من أضرار بيئية متعددة مثل الفيضانات أو إغراق مساحات شاسعة من الأراضي الزراعية. حيث أثبتت بعض الدراسات الحديثة هذه التأثيرات وجعلت هذه الطاقة محل جدل.



الشكل ١.١٢ : مقطع لمحطة توليد كهرمائية

الطاقات غير المتجددة NONRENEWABLE ENERGY

طاقة الوقود FUEL ENERGY

يعتبر الوقود من أسهل الموارد الطبيعية التي يمكن تحويلها إلى طاقة كهربائية وذلك لسهولة نقلها وتخزينها. يمكننا تحويل هذه الطاقة إلى قدرة كهربائية في أي مكان قرب المستهلك و الابتعاد عن مصدر الوقود وذلك على عكس الطاقات الأخرى، وهذا يعتبر من أفضل ميزاتها ويجعلها من أهم مصادر الطاقة المستخدمة في توليد الكهرباء في العالم.

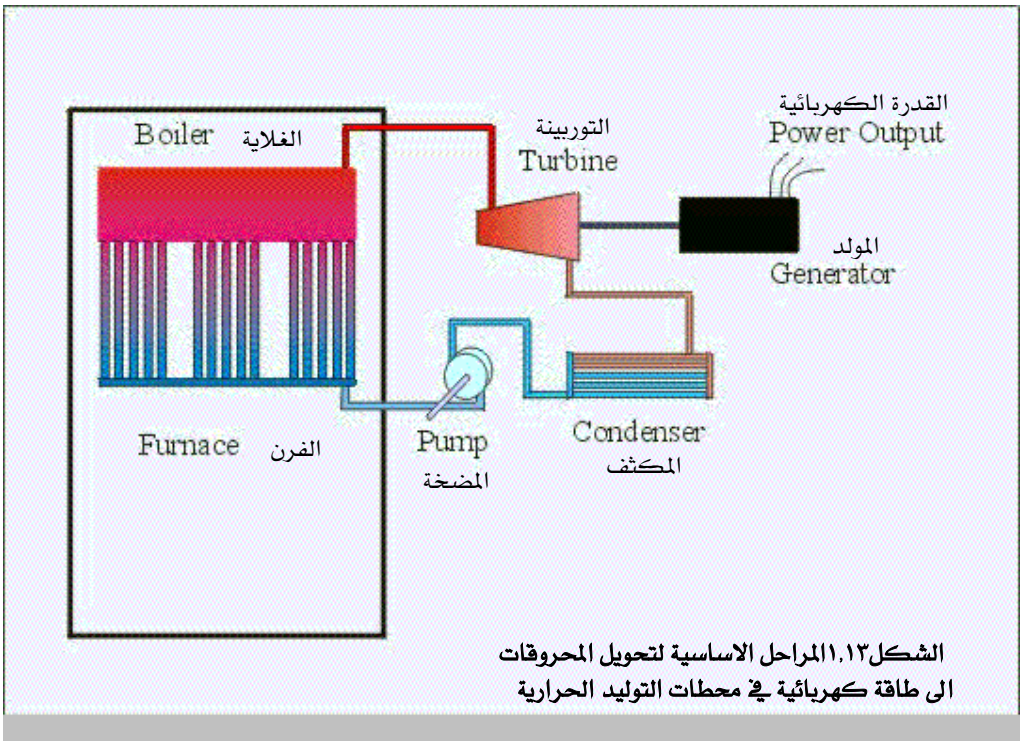
يتنوع الوقود من مواد صلبة كالفحم الحجري إلى مواد سائلة كالنفط أو الغاز الطبيعي وتستخرج كلها من الأرض بتقنيات مختلفة. على عكس الفحم الحجري الذي يستخدم مباشرة دون أي تصنيع يتم تكرير النفط وتجزئته إلى عدة أنواع من المشتقات الهيدروكربونية وكذلك يتم تصنيع الغاز الطبيعي ليصبح سائلا ويتيسر نقله وتخزينه.

تتشابه المحطات الكهربائية التي تستخدم طاقة الوقود في طريقة تشغيلها وخاصة محطات البخار. يتم حرق الوقود لغلي الماء، ويستخدم البخار المنتج لتدوير التوربين وينشأ عن ذلك دوران المولد الذي يحول بدوره هذه القدرة الميكانيكية إلى قدرة كهربائية (الشكل١٣. في مثل هذه المحطات يتم تحويل ٣٥٪ فقط من طاقة المحروقات إلى طاقة كهربائية، أما البقية فهي عبارة عن مفاقيد حرارية في الجو.

لطاقة المحروقات تأثيرات جانبية عديدة على الوسط المحيط، تبدأ عند الإنتاج (سواء كان في مرحلة التنقيب عن المحروقات أو إنتاجها أو نقلها) وتتواصل إلى ما بعد الاستهلاك. وعادةً ما يكون لها تأثيرات سلبية على البيئة. في مناطق التنقيب و الإنتاج يتضرر التوازن البيئي بالمعدات الثقيلة المستخدمة لهذا الغرض. كما تتضرر المحيطات والبحار بتسرب النفط من الناقلات عند نقله من مكان إلى آخر .ويكون الأمر كارثيا عند الحوادث. كما يكون الأمر أكثر أهمية وخطورة بعد الاستهلاك، وذلك لما تنتجه هذه المحروقات من مخلفات كثاني أكسيد الكربون CO_2 وما يسببه هذا الغاز من انحباس حراري إضافة إلى الغازات السامة الأخرى كثاني أكسيد الكبريت (SO_2 Sulfur dioxide) و أكسيد النيتروس (NO_x Nitrous oxides) (الجدول ١,٢).

الوقود	القدرة المولدة	الاستهلاك (في الساعة)
الفحم الحجري	٢٥٠MW	١٠٠ طن
النفط (الزيت أو الديزل)	٢٥٠MW	٥٠ طن
الغاز الطبيعي	١٢٥ MW	٣٠٠٠٠m^3

جدول١,١: نسبة استهلاك الوقود لمختلف أنواع محطات التوليد الحرارية.



الشكل١,١٣المراحل الاساسية لتحويل المحروقات الى طاقة كهربائية في محطات التوليد الحرارية

نوع المحطة	CO	NO_X	SO_2	CO_2
الفحم الحجري	٠,١١	٣,٥٤	٩,٢٦	١٠٩٠
النفط	٠,١٩	٢,٠٢	٥,٠٨	٧٨١
الغاز الطبيعي	٠,٢٠	٢,٣٢	٠,٠٠٤	٤٩٠

جدول١,٢: نسبة انبعاث الغازات من مختلف أنواع المحطات الحرارية بالغرام لكل كيلو وات ساعة مولد (g/kWh).

بالغرام لكل كيلو وات ساعة مولد (g/kWh).

تمرين ١,١

محطة لتقوية الإرسال الإذاعي Repeater تعمل بالطاقة الشمسية بصفة متواصلة لمدة ٢٤ ساعة في اليوم وتسحب تيار يساوي ٢A كقيمة متوسطة تحت جهد ٢٤V. تقع المحطة في منطقة جبلية حيث لا يتجاوز متوسط ساعات تساقط الأشعة الشمسية ٦ ساعات في اليوم ودرجة الحرارة في حدود $25^{o}C$ درجة مئوية . اللوحات الشمسية المتوفرة والتي يمكن استخدامها في مثل هذه المشاريع تولد تيار بقيمة ٢A وجهد بقيمة ١٢V إذا تلقت الأشعة الشمسية اللازمة تحت درجة حرارة لا تتجاوز $25^{o}C$ درجة مئوية. نظرا لأهمية المحطة حدد معامل الأمان لتصميم هذا المشروع بقيمة ١,٢٥.

١ – أوجد التيار المطلوب لتشغيل المحطة دون انقطاع حيث تستخدم بطاريات لتخزين الطاقة.

٢ – احسب عدد اللوحات الشمسية اللازمة لتشغيل المحطة.

٣ – ارسم الدائرة الكهربائية المكافئة لوحدة الطاقة الشمسية مع المحطة مبينا نظام توصيل اللوحات المستخدمة.

الحل:

١ - التيار المطلوب = $\frac{\text{معامل الأمان x متوسط التيار x ٢٤ ساعة}}{\text{ساعات تساقط الأشعة الشمسية يوميا}}$

$$I_t = 1.25 \times \frac{2 \times 24}{6} = 10A$$

٢ - تحديد عدد اللوحات الشمسية اللازمة للمشروع وذلك حسب القواعد التالية:

ب) عدد اللوحات على التوالي= $\frac{\text{الجهد اللازم للحمل}}{\text{جهد اللوحة الواحدة}}$

عدد اللوحات على التوالي = $\frac{24}{12} = 2$ لوحة

التيار المطلوب

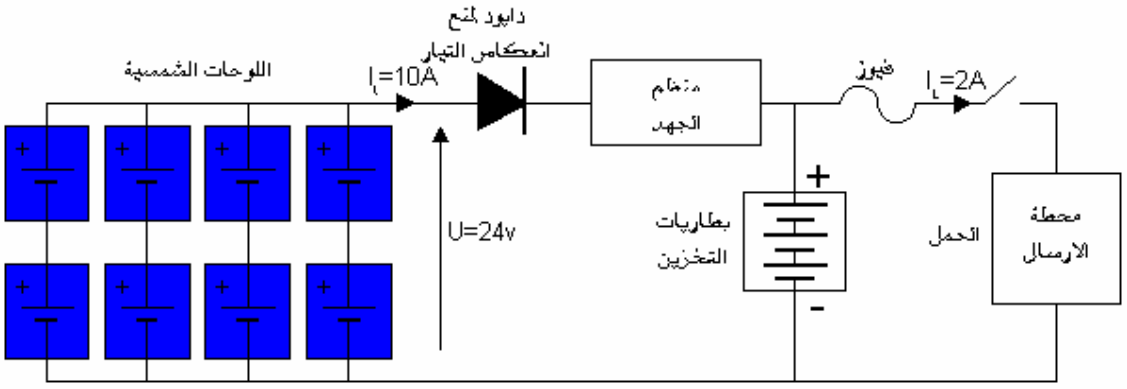
عدد اللوحات على التوازي = $\frac{\text{التيار المطلوب}}{\text{تيار اللوحة الواحدة}}$

عدد اللوحات على التوازي = $\frac{10}{2} = 5$ لوحات

عدد اللوحات اللازمة = عدد اللوحات على التوالي x عدد اللوحات على التوازي

عدد اللوحات اللازمة = $2 \times 5 = 10$ لوحات

٣ - الدائرة الكهربائية المكافئة للمحطة مع نظام الطاقة الشمسية المستخدم:



١,٢ - محطة لتقوية البث التلفزيوني تعمل بالطاقة الشمسية وتبث لمدة ١٦ ساعة في اليوم ثم تتوقف عن البث لبقية الساعات. تحتاج المحطة لتيار I=٤A تحت جهد ٤٨V عند الإرسال وتكتفي بتيار I=١A عند التوقف و ذلك لتغطية الحاجيات الأساسية للمحطة. تقع المحطة في منطقة جبلية حيث متوسط تساقط الأشعة الشمسية في حدود ٨ ساعات في اليوم.

إذا علمت أن معامل الأمان يساوي ١,٢ احسب:

- متوسط التيار المستهلك خلال ٢٤ ساعة
- التيار المطلوب لتشغيل المحطة

يستخدم في هذا المشروع لوحات شمسية ذات المواصفات التالية: تيار اللوحة= ٢,٧A وجهد اللوحة= ١٢V

- احسب عدد اللوحات الشمسية اللازمة لتوفير حاجيات المحطة من الطاقة الكهربائي
- ارسم الدائرة الكهربائية للمشروع مبينا كيفية توصيل اللوحات الشمسية.

المراجع

١. Katrina O'Mara and Mark Rayer, "The Australian renewable Energy", Mordoch University, June ١٩٩٩.
٢. Ontario Hydro, "Alternative Energy Review", September ٢٠٠
٣. Walter C. Patterson, " The Energy Alternative, Boxtree Ltd, London, ١٩٩٠
٤. Ruth Howes & Anthony Fainberg, "The energy Sourcebook: A guide to technology", Resources and Policy, American Institute of Physics, ١٩٩١.
٥. Ken Zweibel, "Harnessing Solar Power: The Photovoltaics Challenge, New York, Plernum Publishing, ١٩٩٠.

محطات التوليد ونقل القدرة

محطات التوليد الكهربائية

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الجدارة:

الإلمام بأنواع ومكونات محطات التوليد الكهربائية المختلفة وطريقة تشغيلها وكذلك بمميزات وعيوب كل منها.

الأهداف:

عندما تكمل هذا الفصل يكون لديك القدرة على معرفة:

١ - الأنواع المختلفة لمحطات التوليد الكهربائية

٢ - طريقة عمل تلك المحطات ومميزات وعيوب كل منها

مستوى الأداء المطلوب:

أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الجدارة بنسبة ١٠٠٪

الوقت المتوقع للتدريس : ٦ ساعات

الوسائل المساعدة:

التجربة العملية الثالثة

متطلبات الجدارة:

معرفة ما سبق دراسته في جميع المواد السابقة

المقدمة

تتنوع محطات التوليد الكهربائية بتنوع مصادر الطاقة المستخدمة في هذا المجال . و رغم اختلاف التقنيات المستخدمة من محطة إلى أخرى فإن الوحدات المكونة لهذه المحطات تعتمد على نظم متشابهة يرتكز عملها على مرحلتين أساسيتين. تتمثل المرحلة الأولى في تحويل الطاقة الطبيعية المتوفرة إلى طاقة ميكانيكية حركية وذلك باستخدام التوربينات المناسبة. أما المرحلة الثانية فهي تحويل القدرة الميكانيكية إلى قدرة كهربائية باستخدام المولدات الكهربائية.

لاعتماد المملكة على طاقة المحروقات في توليد الطاقة الكهربائية بنسبة تقارب المائة بالمائة فأننا سنركز دراستنا للمحطات الكهربائية على المحطات الحرارية بأنواعها الثلاث: محطات توربينات البخار ومحطات توربينات الغاز و محطات الاحتراق الداخلي أو الديزل.

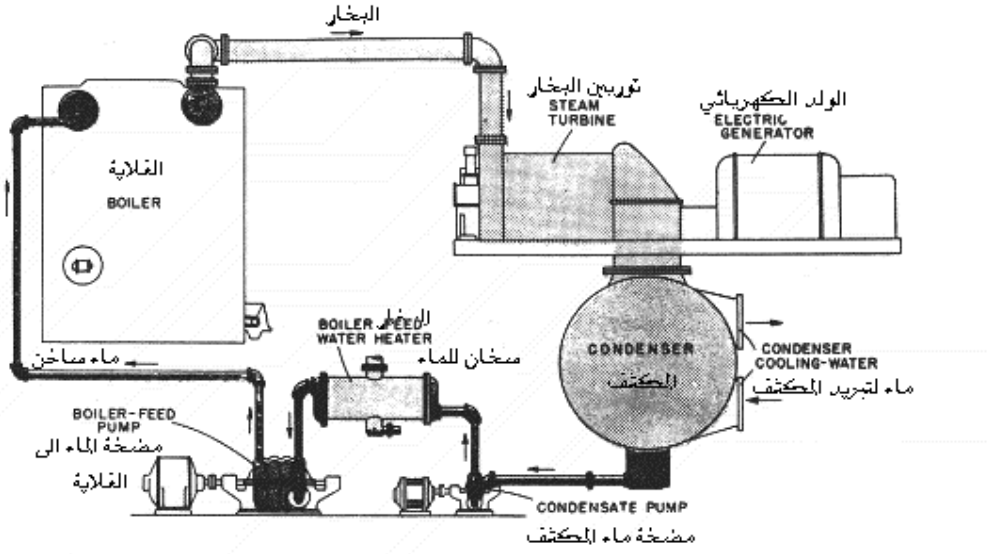
تعتمد هذه المحطات الثلاثة على الوقود بأنواعه المختلفة والذي يتحول إلى طاقة حرارية بعد احتراقه ومنها إلى طاقة حركية، سواء باستغلال غازات الاحتراق مباشرة كمحطات توربينات الغاز و محطات الديزل أو بتسخين الماء والاستفادة من ضغط البخار لتحريك التوربينات. تنقل هذه القدرة الميكانيكية إلى المولدات الكهربائية عبر عمود لنقل الحركة فتحول بدورها إلى قدرة كهربائية بمعايير محددة يتم ضبطها آليا بنظم التحكم المختلفة لهذه المحطات.

محطات توربينات البخار
Steam-turbine plants

طريقة عمل المحطة

تسمى بمحطات توربينات البخار لاعتمادها على ضغط البخار لتحريك التوربينات وتحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة ميكانيكية. يتم تولد البخار داخل مولد البخار أو ما يعرف بالفرن (Furnace)، الذي يستخدم أنواع مختلفة من الوقود كالفحم الحجري و الزيت الثقيل والديزل لتسخين الماء و إنتاج البخار تحت ضغط عالٍ.

ينقل الوقود عبر وسائل مختلفة كالناقلات البحرية أو القطارات أو خطوط أنابيب مخصصة من مواقع الإنتاج إلى جوار المحطة، ويوضع داخل خزانات عملاقة حسب مواصفات معينة. يتم ضخ احتياجات المحطة من الوقود مباشرة من هذه الخزانات عبر مضخات مخصصة لذلك وتتم معالجته وتجهيزه للاستخدام قبل أن ينقل إلى داخل الفرن. تتمثل معالجة الوقود و تجهيزه في تصفيته وتسخينه لتسهيل عملية الإشعال داخل الفرن نظرا لرداءة هذا النوع من الوقود الذي يستخدم لرخص ثمنه وقلة تكلفته.
كما يتبين من الشكل رقم ٢,١ ، تحول الطاقة الحرارية داخل الغلاية الماء إلى كميات كبيرة من البخار تحت ضغط عالٍ. ينقل هذا البخار إلى التوربينات عبر أنابيب مخصصة لذلك فيدفعها في حركة دائرية لينتقل بعدها إلى المكثفات، حيث يتم خفض درجة حرارته ليصبح ماء ويعاد ضخه من جديد إلى داخل الغلاية. يتم التحكم في سرعة وقدرة هذه التوربينات بتنظيم كمية البخار المتدفق عبر صمامات مثبتة في مداخل البخار. غالبا ما تكون توربينة البخار ذات محور أفقي ويوصل عبره المولد الكهربائي التزامني الذي يدور بنفس السرعة ونفس العزم. يحول المولد بدوره هذه القدرة الميكانيكية إلى قدرة كهربائية بنسبة كفاءة متوسطة، حيث تضيع كمية كبيرة من الطاقة على شكل مفاقيد لتضاف إلى المفاقيد الحرارية والميكانيكية على مستوى الفرن والتوربين. لا تتجاوز كفاءة محطات البخار ٣٠٪، وذلك نتيجة لمفاقيد الطاقة المتعددة في المراحل المختلفة من دورة البخار والنظم الميكانيكية والدوائر الكهربائية، ، أي أن أقل من ثلث طاقة المحروقات فقط تحول إلى طاقة كهربائية.



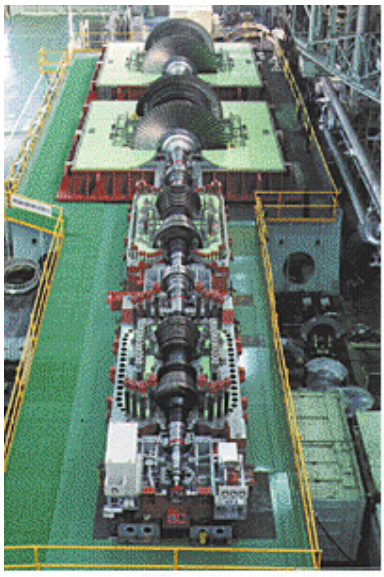
الشكل ٣.١ : محطة توليد كهربائية ذات توربين بخارية

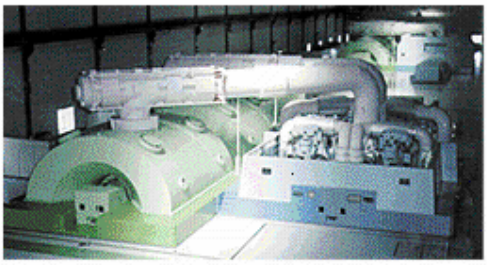
الفرن Furnace أو الغلاية Boiler

الفرن هو عبارة عن غلاية كبيرة للماء تسمى بمولدات البخار، وتعمل على إنتاج البخار تحت ضغط عالٍ وذلك بحرق كميات كبيرة من الوقود. تختلف الأفران باختلاف الوقود المستخدم خاصة بالنسبة للفحم الحجري والزيت الثقيل. تنتج هذه الأفران كميات كبيرة من العادم الشديد التلوث نظرا لرداءة الوقود المستخدم. يمر هذا العادم عبر مرشح كهر مغناطيسي لتخليصه من كميات كبيرة من الجزيئات السامة قبل أن يطلق في الهواء، ولكن غالبا ما يقذف بهذا العادم مباشرة في الجو دون أي معالجة مما يتسبب في أضرار كبيرة بالبيئة.

توربين البخار Steam Turbine

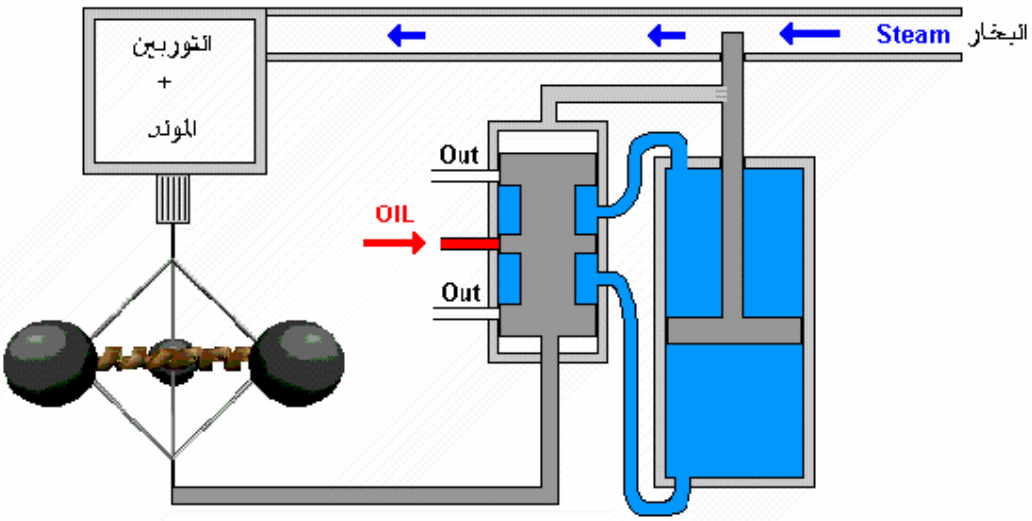
يتكون التوربين من عدد كبير من الريش صممت بشكل انسيابي يسمح لها بالحركة دائريا حول محورها عند تعرضها لضغط البخار، كما يتضح من الشكل ٢,٣. غالبا ما تكون توربينات البخار ذات محور أفقي وموصلة بالمولد عبر عمود لنقل الحركة مما يجعله يدور بنفس السرعة وبنفس العزم. تتكون بعض التوربينات الحديثة من ثلاث وحدات، الأولى للضغط العالي والثانية للضغط المتوسط و ثالثة للضغط المنخفض.





الشكل ٢,٣: توربين البخار

يمكننا التحكم بسرعة دوران التوربين والمولد بالتحكم في ضغط البخار الداخل للتوربين وذلك عبر صمام يعمل بنظام ميكانيكي هيدروليكي بسيط كما يبينه الشكل٢,٤. يعتمد هذا النظام على ثقلين يدوران بنفس سرعة المولد ويتحكمان في صمام البخار بنظام هيدروليكي يمكنها من زيادة الفتحة عند انخفاض السرعة أو التقليل منها إذا زادت السرعة، مما يجعل السرعة ثابتة في المستوى المحدد لها مهما تغير العزم.



الشكل ٢,٤: نظام ميكانيكي للتحكم في سرعة التوربين

المكثف Condenser

بعد أن يمر البخار عبر التوربينات ينتقل إلى المكثف حيث يتم خفض حرارته ليصبح ماء، ثم يضخ من جديد إلى داخل الفرن لتأمين دورة البخار. يعتمد المكثف على مصدر للماء البارد لخفض درجة حرارة البخار. ولذلك فإن هذا النظام يحتاج إلى كميات كبيرة من الماء يتم ضخها من البحر كما هو الحال في المحطات الساحلية، أو خزانات كبيرة للماء تعتمد على التبريد الطبيعي عند ضخها من خزان إلى آخر. عند استخدام ماء البحر للتبريد يتم تصفيته و معالجته من المكونات العضوية قبل أن يضخ إلى داخل المكثف وذلك لحمايته من الشوائب والرواسب المحتملة. غالبا ما يتم إرجاع هذه المياه إلى البحر بعد استخدامها دون الاستفادة من الحرارة التي اكتسبتها عند مرورها بالمكثف. ولذلك تقوم بعض المحطات الأخرى بالاستفادة من البخار الناتج عن المياه الحارة وتكثيفه باستخدام التقنيات اللازمة لإنتاج كميات كبيرة من الماء العذب الذي يتم تجميعه داخل خزانات، كما هو الحال في محطات التحلية بجدة أو غيرها من محطات التحلية بالمملكة.

المولد الكهربائي Electrical Generator

تستخدم المولدات الكهربائية التزامنية في محطات التوليد لتحويل القدرة الميكانيكية إلى قدرة كهربائية. يوصل كل مولد كهربائي بتوربين بخار عبر عمود لنقل الحركة ليدور بنفس السرعة. تكون هذه السرعة ثابتة ولا تتغير مع تغير الأحمال نتيجة لوجود نظام التحكم في السرعة الذي وصفه سابقا. يتناسب التردد تناسباً طردياً مع سرعة دوران المولد (أو التربين) ولذلك يتم تحديد السرعة مسبقا وتثبيتها للحصول على تردد ثابت للطاقة الكهربائية الناتجة، كما أن لذلك علاقة بعدد أقطاب المولد، والقانون التالي يوضح تلك العلاقة:

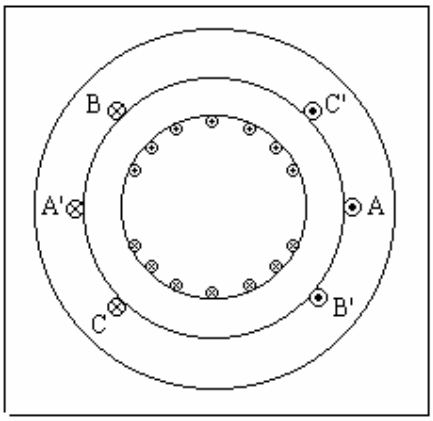
$$\omega_m = \frac{120}{p} f \qquad (٢,١)$$

حيث ω_m(rpm) : سرعة دوران المولد بالدورة في الدقيقة

p(poles) : عدد أقطاب المولد التزامني

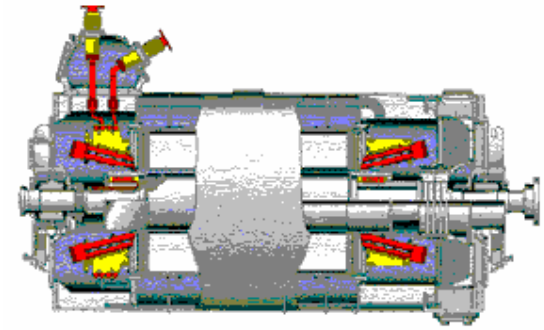
f(Hz) : تردد التيار الكهربائي بالهرتز

إذا كان التردد المطلوب ٦٠Hz كما هو الحال عندنا بالمملكة وعدد الأقطاب في المولد p=٢ كما هو الحال في أغلب المحطات الحرارية فمن الضروري أن تكون سرعة المولدات في هذه المحطات ٣٦٠٠ دورة في الدقيقة أما إذا كان عدد الأقطاب أربعة فالسرعة تكون النصف أي ١٨٠٠ دورة في الدقيقة (الشكل ٢,٥).

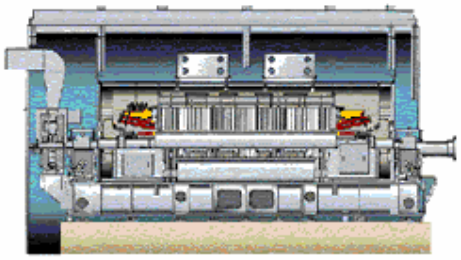


الشكل ٢,٥: توزيع اللفائف في دوار المولد التزامني ذات القطبين

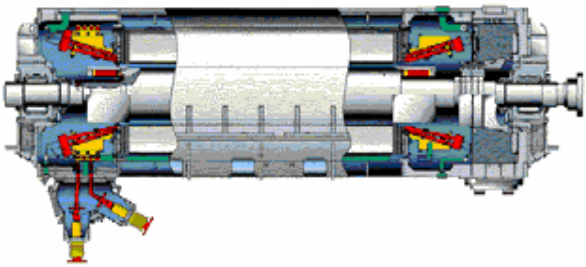
ترتفع حرارة المولد عند التشغيل إلى درجة كبيرة مما يستدعي استخدام نظام للتبريد ذي كفاءة عالية. يختلف نظام التبريد من مولد إلى آخر حسب حجم وقدرة المولد. تعتمد المولدات ذات القدرة المنخفضة والمتوسطة على نظام التبريد بالهواء فيما يستخدم الهيدروجين السائل في المولدات الكبيرة ذات القدرة العالية. بعض هذه المولدات تستخدم نظام مزدوج للتبريد يعتمد على الهواء والهيدروجين في نفس الوقت (الشكل ٢,٦).



أ-مولد مبرد بالهيدروجين



ب- مولد مبرد بالهواء

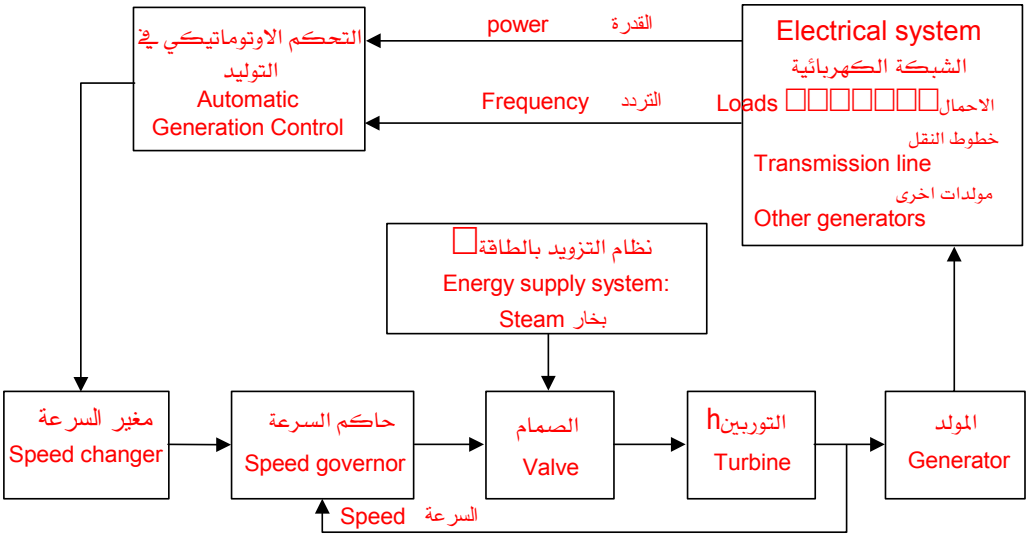


ج- مولد مبرد بالهواء والهيدروجين

الشكل ٢,٦ : مختلف انواع نظم التبريد للمولدات الكهربائية

نظام التحكم في التردد والقدرة للمولد التزامني

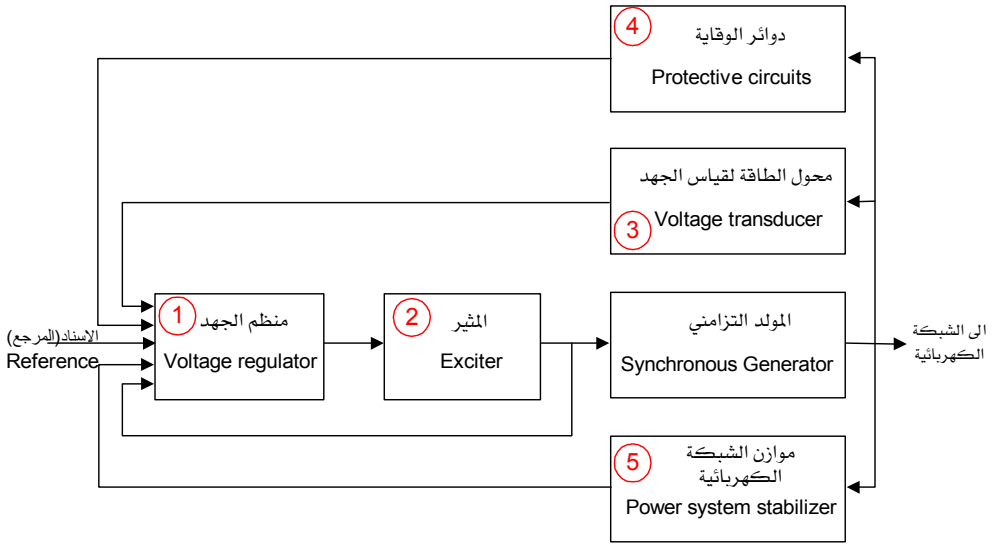
يوضح الشكل رقم ٢,٨ نظام للتحكم الأوتوماتيكي في التردد في محطات البخار وذلك بالتحكم في سرعة التوربين. يتم التحكم في هذه السرعة عن طريق ضغط البخار عبر الصمام المخصص لذلك. يتلقى هذا الصمام الإشارة بالفتح أو بالغلق حسب الحاجة من وحدة التحكم الأوتوماتيكي للمحطة. تحدد هذه الوحدة إشاراتها من خلال القياسات الآنية للتردد عند خرج المولد وما تم تحديده مسبقا كمعطيات ثابتة للمحطة. كما يؤمن هذا النظام التحكم في القدرة الفعالة المتبادلة مع الشبكة بعد الربط.



الشكل٢,٨ : الرسم التخطيطي لنظام التحكم في التردد والقدرة في محطات التوليد الحرارية

نظام التحكم في الجهد و معامل القدرة للمولد التزامني

يحتاج المولد إلى مصدر للتيار المستمر لتأمين المجال المغناطيسي وتحويل الطاقة الحركية إلى طاقة كهربائية حسب نظرية لينز، و يسمى هذا المصدر بنظام الإثارة أو المثير Exciter . يؤمن هذا النظام عملية التحكم في قيمة الجهد الكهربائي عند خرج المولد وذلك بالتحكم في قيمة تيار المجال كما يتضح من الشكل ٢,٩. يمكننا تثبيت جهد المولد عبر هذا النظام عند المستوى المطلوب لربطه بالشبكة كما يمكننا المحافظة على معامل القدرة عند قيمة واحد بعد الربط.



الشكل ٢,٩ : الرسم التخطيطي لنظام التحكم في الاثارة للمولد التزامني

(١) المثير Exciter : هو عبارة عن مصدر للتيار المستمر يغذي ملفات المجال للمولد التزامني و يسمى تيار المجال، حيث يتحكم في كمية الفيض المغناطيسي الناتج وبالتالي في الجهد.

(٢) المنظم Regulator : يقارن تيار المجال المطلوب مع تيار الإثارة الموجود ويضخم إشارة التحكم لإعطائها القدرة الكافية على التحكم في المثير.

(٣) محول الطاقة Transducer : يعمل على تخفيض الجهد عند خرج المولد وتحويله إلى جهد مستمر ليتسنى مقارنته مع الإسناد (المرجع) الذي يمثل الجهد المطلوب إنتاجه وذلك عبر المنظم.

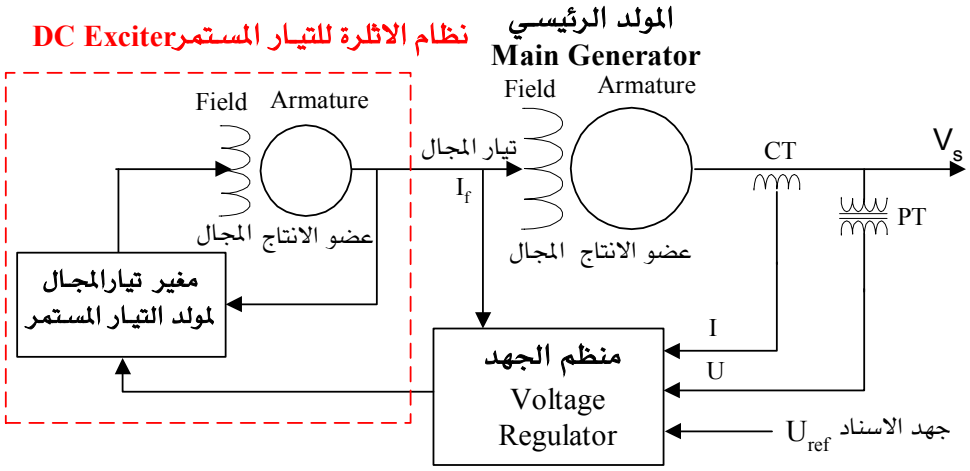
(٤) موازن الشبكة Power system Stabilizer: يعطي إشارات تحكم إضافية للمنظم لمضاءلة الهزات الحاصلة في الشبكة عند الحالات العابرة وتثبيت الجهد عند قيمة معينة.

(٥) دوائر الوقاية Protective circuits : دورها يتمثل في حماية المولد ودوائر الإثارة بحيث يراعي القدرة القصوى لكل منهما ولا يتجاوزها.

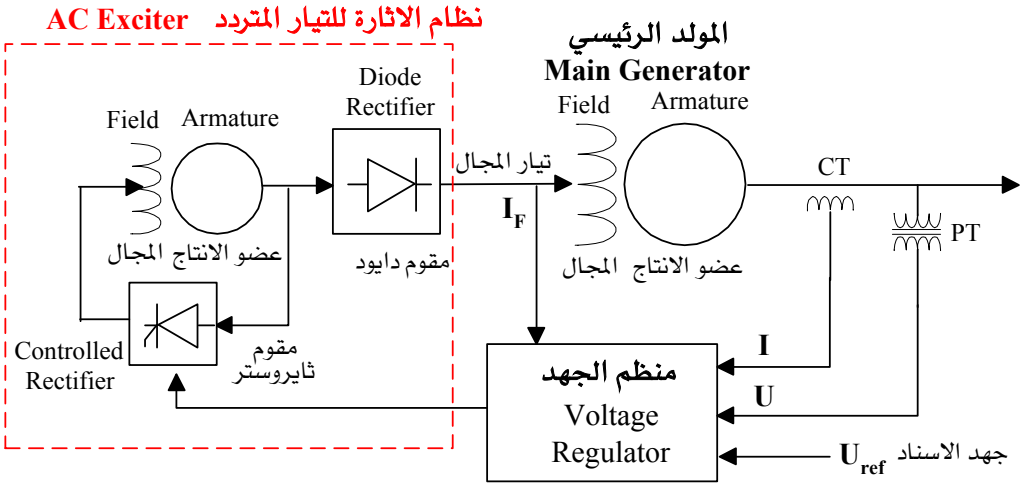
نظم الإثارة للمولدات التزامنية :

نظام الإثارة أو المستثير هو عبارة عن مصدر متغير للتيار المستمر يوفر للمولد تيار المجال ويمكن تصنيفه إلى ثلاث أنواع:

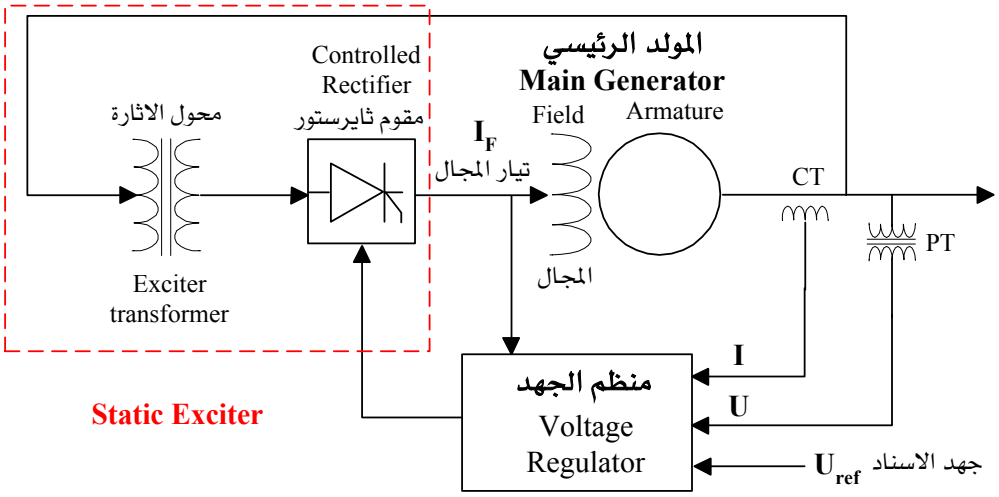
- نظام الإثارة للتيار المستمر DC Exciter (الشكل –(أ)٢,١٠)
- نظام الإثارة للتيار المتردد AC Exciter (الشكل –(ب)٢,١٠)
- نظام الإثارة الساكن Static Exciter (الشكل –(ج)٢,١٠)



الشكل(أ) ٢,١٠ : نظام الإثارة للتيار المستمر DC Exciter



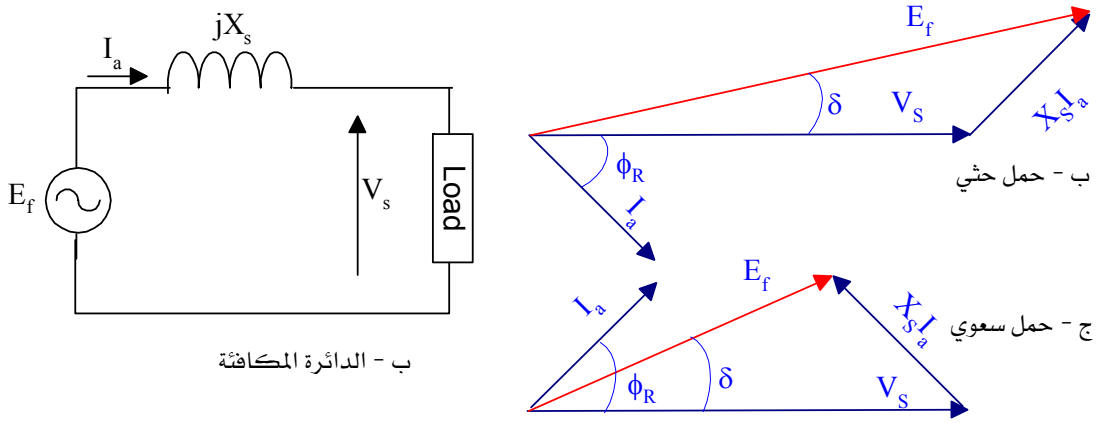
الشكل (ب) ٢,١٠ : نظام الإثارة للتيار المتردد AC Exciter



الشكل (ج) ٢,١٠ : نظام الإثارة الساكن Static Exciter

الدائرة المكافئة للمولد التزامني مع الحمل

اذا اعتبرنا أن الاطوار الثلاثة في حالة توازن فيمكننا تمثيل المولد بدائرة كهربائية بسيطة كما هو مبين في الشكل التالي ٢,١١.



الشكل ٢,١١ الدائرة المكافئة للمولد التزامني مع
المخطط الاتجاهي لهذه الدائرة حسب نوعية الحمل

ويمكننا حساب جهد الطور عند خرج المولد V_s والقدرة الفعالة الناتجة P_{out} وكذلك القدرة المفاعلة Q_{out} من المعادلات التالية:

جهد الطور عند خرج المولد: $V_S = E_f - jI_a X_S$

القدرة الفعالة: $P_{out} = 3V_S I_a \cos\Phi_R = \frac{3V_S E_f \sin\delta}{X_S}$ ، القدرة المفاعلة: $Q_{out} = 3V_S I_a \sin\Phi_R = \frac{3V_S E_f \cos\delta}{X_S} - \frac{3V_S^2}{X_S}$

حيث إن E_f :جهد الاثارة Excitation Voltage X_S : المفاعلة التزامنية للمولد Synchronous reactance

I_a : تيار الحمل Load current

اختيار موقع المحطة

يتم اختيار موقع المحطات الحرارية بعد الأخذ في الاعتبار المعطيات الفنية والاقتصادية والبيئية. غالبا ما تشيد هذه المحطات في المواقع التي تتوفر فيها الشروط التالية:

أ - توفر كميات وافرة من المياه الباردة لتبريد البخار داخل المكثف وتأمين دورة البخار لذا فإن أغلب المحطات الحرارية تنشأ على ضفاف الشواطئ والأنهار.

ب - توفر وسائل نقل منخفضة التكلفة لجلب الوقود إلى المحطة، مثل البوآخر أو القطارات أو خطوط الأنابيب. ويستحسن أن تشيد هذه المحطات بالقرب من حقول النفط أو مناجم الفحم وذلك لخفض نقل الوقود وضمان استمراريته. ثم ترسل الطاقة الكهربائية المتولدة بعد رفعها عن طريق محولات القدرة إلى جهود مرتفعة عبر خطوط النقل الكهربائية لتغذي بقية المناطق.

ج - توفر مساحات شاسعة من الأراضي تلبي حاجة المحطة حسب الخطة الآنية والمستقبلية، بحيث تتسع لإنشاء مباني المحطة والمرافق التابعة لها وأن تسمح بتوسعها مستقبلا.

د - يكون الموقع بعيدا عن المدن لتجنيب هذه المناطق التلوث الذي يصيب البيئة نتيجة الغازات المختلفة التي تنتج عن الاحتراق كظاهرة الانحباس الحراري.

المميزات والعيوب

لمحطات البخار عدة مزايا أبرزها:

- قدرتها العالية مقارنة مع المحطات الحرارية الأخرى كالمحطات الغازية ومحطات الديزل .

-إمكانية تشغيلها لفترات طويلة دون توقف

-إمكانية إنشائها قرب المستهلك في مكان تتوفر فيه المياه اللازمة ويسهل جلب الوقود إليه دون أي ارتباط بمصدر الطاقة.

-إمكانية استخدام المحطة لأغراض أخرى كتحلية المياه.

لهذه المحطات عيوب أيضا أبرزها:

التأثيرات المباشرة وغير المباشرة على البيئة، وذلك لما تنتجه المحروقات من ثاني أكسيد الكربون CO_2 عند احتراقها وما يسببه هذا الغاز من انحباس حراري، إضافة إلى الغازات السامة الأخرى كثاني أكسيد الكبريت (Sulfur dioxide SO_2..) و أكسيد النيتروس (Nitrous oxides NO_x).

محطات توربينات الغاز
Gas-turbine plants

طريقة عمل المحطة

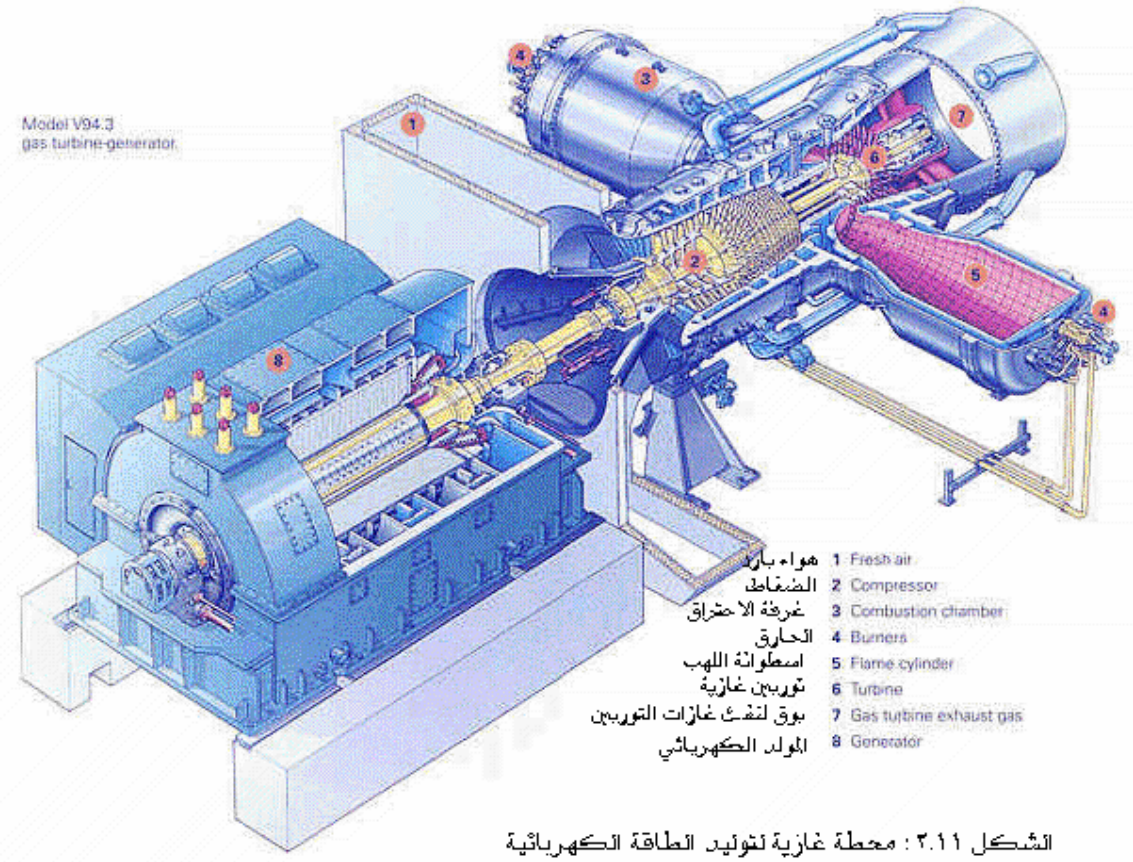
تعمل المحطة على توليد القدرة الكهربائية من الطاقة الحركية لتوربينة غازية تدفعها غازات الاحتراق المضغوطة. تتكون المحطة في أبسط صورها، كما يبينها الشكل رقم ٢,١١، من وحدة تغذية وقودية وضغاط لهواء الاحتراق وغرفة احتراق نفاثة، وتوربين غازية ومولد كهربائي متصل بعمود إدارة التوربين.

وحدة التوربين والضغاط Turbine compressor unit:

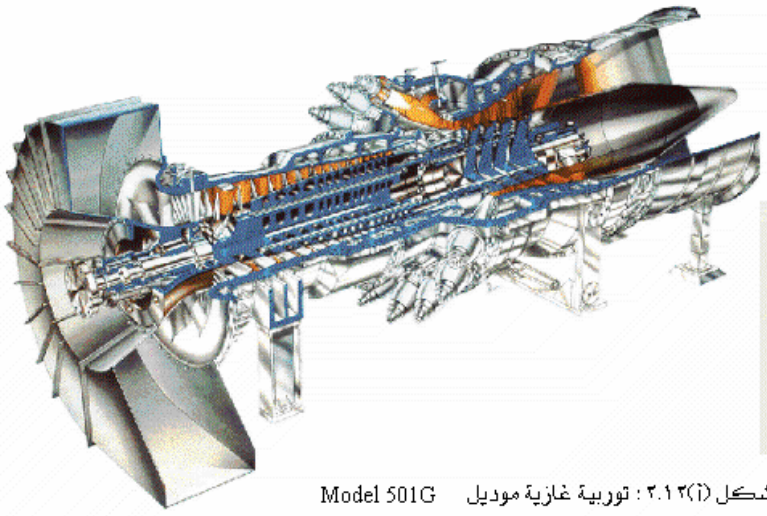
تشكل التوربينة و الضغاط وحدة مشتركة لتوليد القدرة الميكانيكية من الطاقة الحرارية للوقود. يستمد الضغاط طاقته الميكانيكية من دوران التوربين وذلك لوجود عمود إدارة مشترك بنهما، كما يغذيها في نفس الوقت بالهواء المضغوط اللازم لاحتراق الوقود أو نفث الغازات. يتم حرق الوقود داخل غرفة الاحتراق التي يختلف تصميمها حسب نوع الوقود المستخدم ومقدار الحمل الحراري ونوع جهاز الاحتراق أو طبيعة عملية الحرق التي تجري في داخلها (الشكل (أ)٢,١٢).

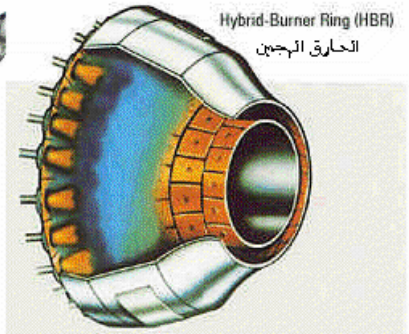
الحارق Burner:

هو جهاز لتوليد اللهب، ويتكون من مسار خاص بالوقود و آخر خاص بالهواء أو المادة المؤكسدة. يتم التحكم في عملية الاحتراق عن طريق تنظيم ضخ الوقود داخل الحارق، حيث يتوقف مستوى اللهب والغازات المنبعثة على خلط الهواء بالوقود داخل غرفة الاحتراق. وفي جميع الأحوال يجب إمداد الحارق بالمعدل المناسب من الهواء أو المادة المؤكسدة ليضمن إشعال الوقود واستقرار اللهب. توجد تصميمات كثيرة للحارق تختلف باختلاف نوع الوقود المحترق وطبيعة تغيير الحمل ونظام التحكم المستخدم (الشكل(ب) ٢,١٢).



الشكل ٣.١١ : محطة غازية لتوليد الطاقة الكهربائية





الشكل(ب)٣.١٢ الحارق الهجين الشكل (أ)٣.١٢ : توربية غازية موديل Model 501G

المولد الكهربائي Electrical generator :

تستخدم المولدات الكهربائية التزامنية في المحطات الغازية لتحويل القدرة الميكانيكية إلى قدرة كهربائية. يوصل المولد الكهربائي مع التوربين والضغاط بنفس عمود الدوران ليدوران بنفس السرعة. تكون هذه السرعة ثابتة ولا تتغير مع تغير الأحمال و يؤمن ذلك نظام التحكم في السرعة الذي يعتمد على نظام ضخ الوقود داخل الحارق. ويعتبر تثبيت السرعة ضروريا لتثبيت تردد التيار الكهربائي حيث يتم تحديد السرعة مسبقا حسب قيمة التردد للجهد الخارج وعدد أقطاب المولد مثلما تم شرحه مسبقاً في المحطات الحرارية. أما بالنسبة للمولدات التزامنية المستخدمة في المحطات الغازية فلا تختلف عن تلك التي تستخدم في محطات البخار والتي سبق شرحها في الجزء الأول لذا يمكن الرجوع إليها لمزيد من المعلومات.

مميزات وعيوب المحطات الغازية

تمتاز محطات الغاز بسرعة تشغيلها، حيث لا تتجاوز عملية التشغيل بعض دقائق مقارنة بمحطات البخار التي تحتاج إلى ساعات عديدة للبدء بالإنتاج. تسمى هذه المحطات بمحطات البدء السريع أو محطات الدعم، حيث تستخدم لدعم الشبكة الكهربائية في أوقات ذروة الأحمال، فهي تعرف أيضا بمحطات حمولة الذروة.

من مميزات هذه المحطات تكلفتها الإنشائية المنخفضة وسرعة إنشائها مقارنة مع محطة بخار بنفس القدرة، حيث لا تتجاوز الثلث في أغلب الحالات. يميز هذه المحطات أيضا الحيز القليل الذي تشغله بالمقارنة مع محطات البخار لذا يمكن إنشائها قرب محور الحمولة.

لهذه المحطات عيوب أيضا، فهي ذات تكلفة تشغيل عالية مقارنة مع محطات البخار مما يجعل كفاءتها منخفضة جدا ولا تتجاوز ٣٠٪. كما يصعب تشغيل بعض المحطات التي تفتقد لنظام تبريد فعال لفترات طويلة بسبب الحرارة.

تسبب المحطات الغازية كنظيراتها من المحطات الحرارية أضرار جسيمة بالبيئة وذلك لما ينتجه الوقود من ثاني أكسيد الكربون CO_2 عند احتراقها وما يسببه هذا الغاز من انحباس حراري إضافة إلى الغازات السامة الأخرى كثاني أكسيد الكبريت (SO_2 Sulfur dioxide..) و أكسيد النيتروجين NO_x (Nitrous) oxides.

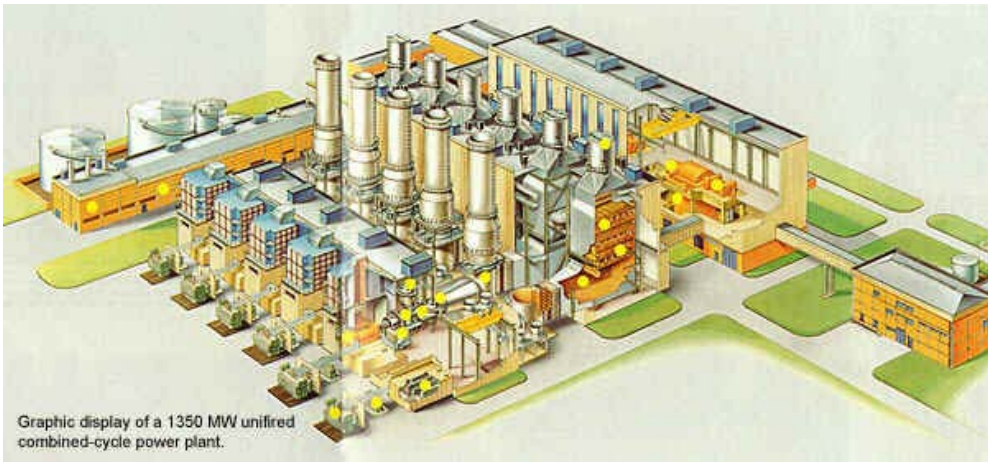
محطات الدورة المؤتلفة للبخار و الغاز Combined cycle steam-gas power plant

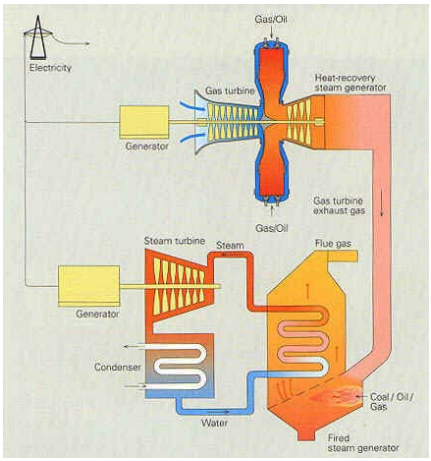
تضم هذه المحطات وحدات توليد أساسية بتوربينات غازية لإنتاج الطاقة الكهربائية، ويتم الاستفادة من غازات الاحتراق المهدرة لتسخين الماء في الغلاية وتوليد البخار الذي يستخدم بدوره لتشغيل وحدات توليد أخرى تدار بتوربينات البخار كما سبق توضيحه في محطات البخار. تعتبر هذه المحطات ائتلاف بين المحطات الغازية و محطات البخار حيث يتم الاستفادة من حرارة العادم لتوليد البخار مما يزيد في كفاءة المحطة لتتجاوز ٥٠٪.

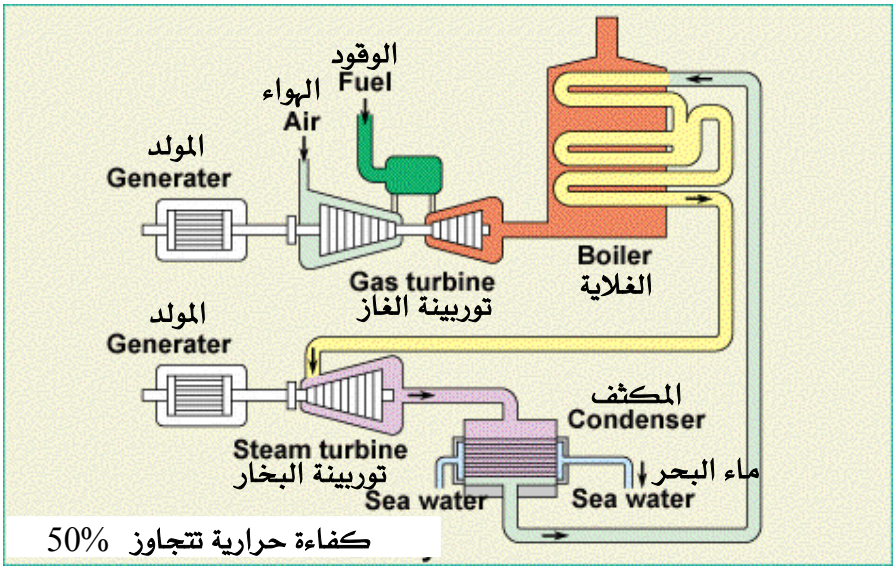
يميز محطات الدورة المؤتلفة عن المحطات الحرارية الأخرى كفاءتها العالية وتكلفة تشغيلها المنخفضة حيث تستهلك الوقود اللازم لوحدات التوليد الغازية فقط ويتم تجميع غازات التوربينات لتشغيل وحدات البخار. من أكبر محطات الدورة المؤتلفة في المملكة محطة رابغ بالمنطقة الغربية حيث تحتوي على ثمانية وحدات توليد بالغاز تشغل كل أربعة منها وحدة توليد بالبخار لتنتج ما يقارب ١٧٠٠MW.

من المميزات التي تجعل محطات الدورة المؤتلفة أفضل محطات التوليد الحرارية الحديثة هي:

- كفاءتها العالية حيث تصل إلى ٤٠٪ بتوربينات البخار لوحدها و٣٥٪ لتوربينات الغاز لوحدها وتتجاوز ٥٠٪ للدورة المؤتلفة.
- النسبة المنخفضة لثاني أكسيد الكربون المنبعث في الجو.
- النسبة المنخفضة لأكسيد النيتروجين وثاني أكسيد السلفر المنبعثة في الجو.
- كمية التلوث الحراري للبحر أقل من نظيراتها.
- استهلاك كمية أقل من الوقود و المحافظة على الموارد الطبيعية.







الشكل ٢,١٣ : محطة حرارية ذات دورة مؤتلفة غاز -بخار

محطات الديزل.
Diesel power plants

طريقة عمل المحطة

تعتمد محطات الديزل على آلات الاحتراق الداخلي لتحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة حركية دوارة يحولها المولد بدوره إلى قدرة كهربائية. تتكون كل وحدة من محرك ميكانيكي يشتغل حسب دورة الاحتراق الداخلي المعروفة بدورة الديزل ومولد كهربائي موصل بنفس العمود الأفقي (الشكل٢,١٤). تشتغل هذه المحركات بوقود الديزل أو الزيت الثقيل مما يجعلها ذات قدرة عالية تصل إلى ١٠MW للوحدة و تحل مكان وحدة البخار في عديد من المجالات.

تشغل محطات الديزل عادة حيز أكبر من الذي تشغله نظيراتها من المحطات الحرارية بنفس المواصفات. كما تحتاج هذه المحطات إلى صيانة دورية مكثفة نظرا لكثرة أجزائها المتحركة ونظام تشغيلها المعقد (الشكل ٢,١٥). يتم التحكم في سرعة المحرك عن طريق نظام ضخ الوقود الذي يؤمن السرعة الثابتة للمولد رغم تغير الحمولة.

مجالات استخدام محطات الديزل

أ - استخدام محطات الديزل كمحطة مركزية:

تستخدم محطات الديزل كمحطات مركزية عندما تكون سعة المشروع غير كبيرة حيث لا تتجاوز ١٠MW.

ب - استخدام محطات الديزل كمحطة احتياطية (محطة طوارئ):

تستخدم محطات الديزل لتغذية جزء من الحمل المطلوب في الشبكة الكهربائية وذلك لتعويض أي نقص في الطاقة ينتج عن خطأ أو زيادة فجائية في الحمل. فمن مميزات محطات الديزل إمكانية بدء عملها وإيقافها بسرعة.

ج – استخدام محطات الديزل كمحطات ذروة الحمل:

تستخدم محطات الديزل لدعم الشبكة الكهربائية في أوقات ذروة الحمل عندما تكون قاعدة الحمل مغذاة من محطات حرارية أو كهر ومائية. ويؤمن ذلك احتياجات الطاقة إضافة إلى تحسين معامل الحمل القاعدي وتقليل تكاليف إنتاج الكيلوات ساعة.

عناصر محطات الديزل

أ - نظام دخول الهواء والمرشحات:

يؤمن هذا النظام الهواء اللازم لأغراض الضغوط العالية في كل دورة بعد تنقيته عبر المرشحات لإزالة ما يعلق به من شوائب.

ب – نظام الوقود:

يضخ الوقود إلى الخزان بمضخات خاصة عبر الصفايات لعزل الشوائب، ثم يضخ من الخزان إلى الوحدة عبر الفلتر (المصفي) عن طريق مضخة الحقن إلى داخل غرفة الاحتراق.

ج –نظام العادم وكاتم الصوت:

يخرج العادم الناتج عن احتراق الوقود عبر أنبوب خاص يوضع في طرفه كاتم للصوت لخفض صوت المحرك. كما يمكن الاستفادة من حرارة العادم قبل طرده وذلك بإدخاله في مبادل حراري.

د – نظام التبريد :

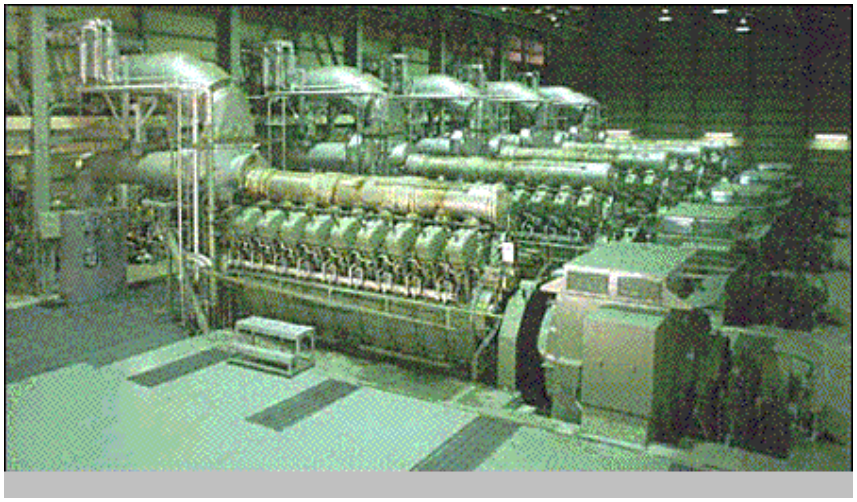
يتم استعمال المياه لتبريد محرك الديزل بعد ترشيحه ومعالجته كيميائيا لتجنب المشاكل التي يمكن أن تنشأ في دورة التبريد.

ح - دورة الزيت:

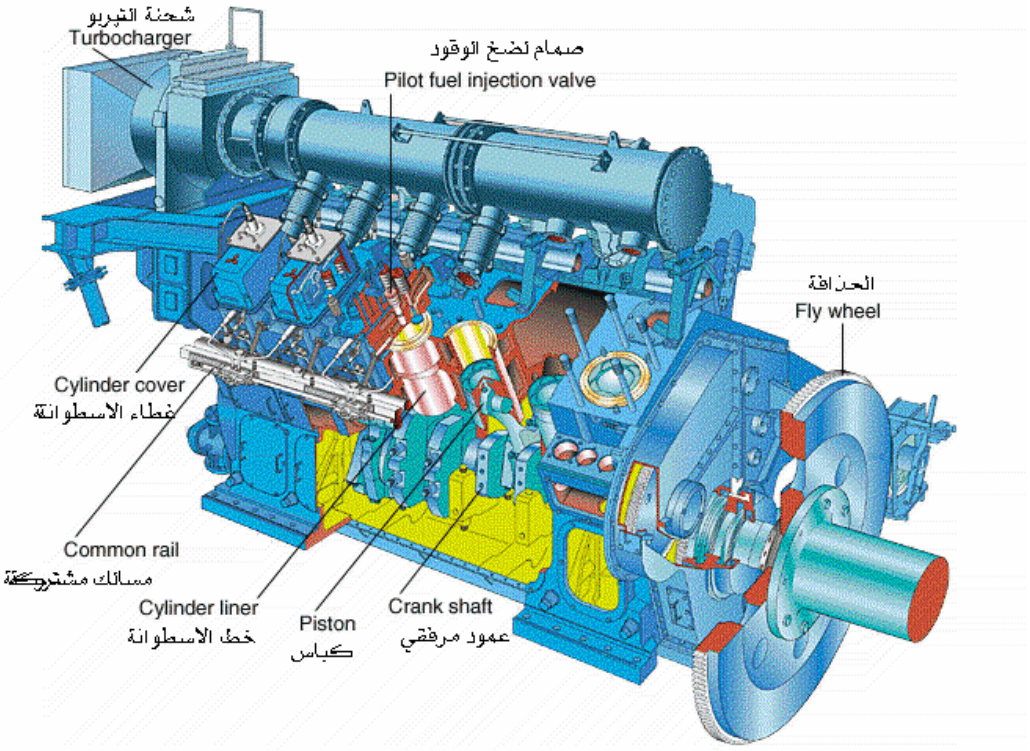
يتم سحب الزيت بواسطة مضخات عبر مرشحات لتنقيته، كما يتم تبريده إن لزم الأمر قبل إعادته إلى داخل الآلة. عند بداية التشغيل يتم تسخين الزيت لتقل لزوجته ويسهل ضخه.

خ – نظام بدء الحركة:

يشمل البطاريات و بادي الحركة Self و مصدر الهواء المضغوط ودوائر التحكم، حيث توفر إمكانية بدء تشغيل محطات الطوارئ أوتوماتيكيا عند الحاجة.



الشكل ٢,١٤: محطة ديزل لتوليد القدرة مكونة من خمسة وحدات



الشكل ٣.١٥ : رسم مقطعي لمحرك الاحتراق الداخلي لمحطة الديزل

مميزات وعيوب محطات الديزل

تتميز محطات الديزل بسرعة التشغيل، حيث تستخدم كمحطات طوارئ أو لدعم محطات البخار والمحطات الكهرومائية. كما تتميز هذه المحطات بإمكانية نقلها من مكان إلى آخر، حيث تصنع وحدات ذات قدرة توليد عالية محمولة على عربات نقل. هذه الميزة الأخيرة تجعل من هذه المحطات الحل الأمثل لتوفير الطاقة الكهربائية في المناطق النائية والأرياف أو المناطق المعزولة.

من أهم مميزات محطات الديزل:

- سهولة التصميم والإنشاء.
- تعطي كفاءة مقبولة عند التحميل الجزئي على عكس المحطات الحرارية الأخرى.
- انخفاض تكلفة الإنشاء والأعمال المدنية.
- انخفاض كمية الماء المطلوبة للتبريد.
- تكفي مساحة أرض صغيرة من الأرض لإنشائها وذلك لعدم وجود أجهزة مساعدة كبيرة.
- نسبة الفقد أقل من المحطات الحرارية الأخرى.

كنظيراتها من المحطات الحرارية تنتج هذه المحطات كميات كبيرة من الغازات الملوثة مثل ثاني أكسيد الكربون وأكسيد النيتروجين وغيرها من الغازات السامة. كذلك بالنسبة للكفاءة الحرارية فهي لا تتجاوز ٣٥٪ في أفضل الحالات.

ومن أهم عيوب محطات الديزل:

- تكلفة التشغيل العالية خاصة بعد زيادة أسعار الوقود بما فيه الديزل.
- تكلفة الصيانة والتشحيم عالية مقارنة بالمحطات الأخرى .
- تعمل جزئيا فقط ولفترة قصيرة مقارنة بالمحطات الأخرى.

تمارين

٢,١ - مولد كهربائي تزامني ثلاثي الطور له المواصفات التالية:

-القدرة (سعته الظاهرية)= ١٠MVA

- موصل على شكل نجمة Y

- عدد الأقطاب ٢ وتردد الجهد المطلوب إنتاجه : f=٦٠Hz

- الجهد المنتج (الخط إلى الخط) = U_S=١٣,٨ kV

- المفاعلة التزامنية لكل طور : X_S= ٢٠Ω

أوجد جهد الإثارة E_f والقدرة الفعالة P_{out} والمفاعلة Q_{out} للمولد:

- إذا كان المولد يغذي حملاً حثياً بتيار Ia= ٢٠٠A متأخر بزاوية 30^o تحت جهد ١٣,٨kV

- إذا كان المولد يغذي حملاً سعوياُ بتيار Ia= ٢٠٠A متقدم بزاوية 30^o تحت جهد ١٣,٨kV

٢,٢ – مولد ثلاثي الطور ذو توصيلة على شكل نجمة Y وسعته الظاهرية (القدرة الظاهرية المقننة) تساوي ٢٠٠٠kVA وجهده الخارج ١١kV و المفاعلة الحثية لكل طور هي X_S=٥Ω .

ويكون معامل القدرة له P.F.=٠,٨ (متأخر) Lag إذا أنتج هذا المولد تيار الحمولة القصوى عند الجهد الاسمي U=١١kV.

أوجد الجهد الخارج من المولد بنفس الإثارة ونفس تيار الحمولة ولكن عندما يكون معامل القدرة P.F.=٠,٨ متقدم Lead.

المراجع

١. P. Kundur , "Power system stability and control", McGraw-Hill, New York,١٩٩٤.
٢. Takasago Machinery Works, Mitsubitshi Heavy Industries, (http:/www.mhi.co.jp/tmw/products/).
٣. B.L. Theraja, A.K. Theraja, "A textbook of ELECTRICAL TECHNOLOGY" S.CHAND ٢٢ Ed ١٩٩٧.
٤. Siemens Power Generation: Product line Features (http:/www.siemens.com).

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

محطات التوليد ونقل القدرة

الأحمال الكهربائية

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الجدارة:

الإلمام بالأنواع المختلفة للأحمال الكهربائية وكذلك بالمعاملات المختلفة الخاصة بها.

الأهداف:

عندما تكمل هذا الفصل يكون لديك القدرة على معرفة:

١ - الأنواع المختلفة للأحمال الكهربائية

٢ - المعاملات المختلفة للأحمال الكهربائية

٣ -معاملات محطات القوى الكهربائية

مستوى الأداء المطلوب:

أن يصل الطالب إلى إتقان هذه الجدارة بنسبة ١٠٠٪

الوقت المتوقع للتدريس : ٦ ساعات

الوسائل المساعدة:

متطلبات الجدارة:

معرفة ما سبق دراسته في جميع الحقائب السابقة

المقدمة

تتكون منظومة القوى الكهربائية من ثلاث أجزاء رئيسية : محطات التوليد ، منظومة النقل، ومنظومة التوزيع. وتمثل تكاليف منظومة التوزيع ما يقارب ٤٠٪ من التكاليف الكلية لمنظومة القوى، وهي نسبة مرتفعة وربما تكون غير متوقعة لدى الكثير من العاملين في ميدان القوى الكهربائية، لذا يجب إعطائها مزيداً من الأهمية والعناية عند تصميمها و إنشائها. يعتمد تصميم منظومة التوزيع على دراسة الأحمال الكهربائية المراد تزويدها بالطاقة، لذا فقد تم تخصيص هذه الوحدة لدراسة مختلف الأحمال الكهربائية و المعاملات الخاصة بها، كما سنتطرق إلى معاملات المحطات التوليد الكهربائية.

الأنواع المختلفة للأحمال الكهربائية

يمكن تقسيم الأحمال التي تغذيها شبكات التوزيع إلى ثلاث أنواع :

- **الأحمال السكنية:** وتشمل المدن وضواحيها والمناطق الريفية
- **الأحمال التجارية:** وتشمل المطارات والموانى والمستشفيات والفنادق والمباني الحكومية والمسارح والملاعب والعمارائروالعمائر التجارية.
- **الأحمال الصناعية:** وتشمل الورش والمصانع الصغيرة والمصانع الكبيرة.

ويمكن لشبكة التوزيع أن تغذي أحمالا سكنية بحتة مثل ضواحي المدن أو خليط من الأحمال التجارية والسكنية مثل مراكز المدن. أما المناطق الصناعية فعادة ما يكون لها شبكة توزيع داخلية خاصة بها.

القيم النموذجية لمختلف الأحمال:

الأحمال الصناعية:

يبين الجدول ٣,١ الطاقة المطلوب لإنتاج بعض الأصناف الصناعية. بينما يوضح الجدول ٣,٢ القيم التقديرية لكثافة الأحمال الخاصة ببعض الصناعات. أما القيم النموذجية للأحمال الخاصة بتكييف الهواء فقد تم تلخيصها في الجدول ٣,٣.

جدول ٣,١ : الطاقة اللازمة لبعض المنتجات الصناعية:

المنتج	الطاقة الكهربائية لكل وحدة منتجة (KWh)	المنتج	الطاقة الكهربائية لكل وحدة منتجة (KWh)
أسمنت (طن)	١١٢	سكر خام (طن)	٢٢٠
البنزين (طن)	٣,٥	الصوديوم (كيلوجرام)	١١
ورق (طن)	٥٠٠	الألمنيوم (كيلوجرام)	٢٠
فوسفات الأمونيوم (طن)	١٦	حامض الكبريت (طن)	٣٦
صلب (طن)	٢٣٠	الأمونيا والكلور (طن)	١٦٨٠
حديد خام (طن)	٢٥	سجاد (١٠٠٠ متر مربع)	١٧٧٠

جدول ٣,٢ : قيم تقديرية لكثافة الأحمال (إضاءة وقوى) في صناعات مختلفة:

نوع المصنع	كثافة الحمل VA/m^2
غزل ونسيج	١٢٠
كيماويات وأجهزة إلكترونية	١٠٠
ورق	١٤٠
لمبات	٥٠
ورش تصليح المكائن	٧٥
ورش صغيرة	٣٥

جدول ٣,٣ : القيم النموذجية للأحمال الخاصة بتكييف الهواء:

نوع المبنى	الحمل على المساحة المكيفة VA/m^2
مركز تجاري	٧٠
بنك	٣٠ -٥٠
فندق	٦٠
مبنى مكاتب	٦٠
مطعم	٨٠

المعاملات المختلفة للأحمال الكهربائية

متوسط الحمل (الطلب) **Average Load (Demand) D_{av}**

يحسب متوسط الحمل خلال فترة زمنية محددة ويعرف أيضا بالطلب . وقد تكون وحدة متوسط الحمل الكيلو فولت أمبير أو كيلو وات أو أمبير أو أي وحدة أخرى مناسبة. ويفضل استخدام الكيلو فولت أمبير، وهي القدرة الظاهرية، حيث إنها تتضمن التيار الفعلي بصرف النظر عن قيمة معامل القدرة. والفترة الزمنية التي تحسب خلالها القيمة المتوسطة للحمل تعرف بالفصل الزمني للطلب. وعند تحديد متوسط الحمل يجب أيضا تحديد الفترة الزمنية لهذا الحمل حيث إن ذكر متوسط الحمل وحده ليس له أي معنى. يمكننا تحديد متوسط الحمل اليومي أو الشهري أو السنوي أو خلال أي فترة زمنية كانت وذلك حسب الحاجة.

متوسط الحمل اليومي = مجموع الأحمال خلال ٢٤ ساعة / ٢٤ ساعة

$$D_{av} = \frac{\sum D_i}{T}$$

متوسط الحمل السنوي = مجموع الأحمال خلال ١٢ شهر / ١٢ شهر

الطلب الأقصى **Maximum Demand (D_{max})**

يعرف الطلب الأقصى بأنه متوسط الطلب لفاصل زمني يتراوح بين ١٥ و٣٠ دقيقة حول اللحظة التي يبلغ عندها الحمل ذروته خلال الفترة الزمنية المحددة للطلب نفسه.

معامل الطلب Demand Factor (DF)

وهو النسبة بين الطلب الأقصى للمنظومة على مجموع الأحمال الموصلة للمنظومة. كما يمكننا أن نحسب معامل الطلب لجزء من المنظومة كالأحمال الصناعية أو الأحمال التجارية بمفردها. تكون قيمة معامل الطلب غالبا أقل من واحد أو يساوي الواحد في الحالة التي تشتغل فيها جميع الأجهزة في نفس الوقت خلال الفترة الزمنية المحددة للطلب. ويعتبر هذا المعامل مؤشراً على مجموع الأحمال التي تشغل في نفس الوقت.

$$\text{معامل الطلب} = \frac{\text{الطلب الأقصى للمنظومة}}{\text{مجموع الأحمال الموصلة للمنظومة}}$$

$$DF = \frac{D_{\max}}{\sum_{i=1}^{n} L_i}$$

معامل الحمل Load Factor (F_{Ld})

وهو نسبة بين متوسط الحمل خلال فترة زمنية محددة والقيمة القصوى للحمل خلال نفس الفترة. ولذلك فإن معامل الحمل دائما أقل من الواحد أو مساوية لواحد في الحالة التي يكون فيها الحمل ثابت خلال الفترة المحددة . فعلى سبيل المثال إذا كان متوسط الحمل خلال ٢٤ ساعة هو ٨٠ kW وكانت القيمة القصوى للحمل خلال هذه الفترة ١٠٠kW فإن معامل الحمل هو ٠,٨.

$$\text{معامل الحمل} = \frac{\text{متوسط الحمل خلال فترة زمنية محددة}}{\text{القيمة القصوى للحمل خلال نفس الفترة}}$$

$$F_{Ld} = \frac{D_{av}}{D_{\max}}$$

حيث إن: - D_{av} متوسط الطلب (متوسط الحمل)

- D_{max} الطلب الأقصى (ذروة الحمل)

معامل التباين (التشتت) Diversity Factor (F_{Div})

وهو النسبة بين مجموع الطلب الأقصى لكل حمل من الأحمال و الطلب الأقصى لجميع الأحمال. يكون معامل التباين أكبر من واحد أو يساوي الواحد عندما تكون جميع الطلبات القصوى للأحمال متزامنة.

$$\text{معامل التباين} = \frac{\text{مجموع الطلب الأقصى لكل حمل}}{\text{الطلب الأقصى لمجموع الأحمال}}$$

$$F_{Div} = \frac{\sum_{i=1}^{n} D_{i\max}}{D_{t\max}}$$

حيث: - D_{imax} الطلب الأقصى للحمل D_i

- D_{tmax} الطلب الأقصى لمجموع الأحمال D_t

- مجموع الأحمال: $D_t=D_1+D_2+.....+D_i$

معامل التوافق Coincidence Factor (F_c)

وهو عكس معامل التباين:

$$F_c = \frac{1}{F_{Div}}$$

معامل الاستخدام Utilization factor (F_u)

وهو النسبة بين الطلب الأقصى للمنظومة والسعة المقدرة للمنظومة. ويمكننا إيجاد معامل الاستخدام لجزء من المنظومة فقط. يتم تحديد السعة المقننة للمنظومة حسب هبوط الجهد المسموح به والحدود الحرارية.

$$F_u = \frac{D_{\max}}{D_{rated}}$$

حيث: D_{max} الطلب الأقصى للمنظومة

D_{rated} السعة المقننة للمنظومة

تباين (تشتت) الأحمال Load diversity (LD)

وهو الفرق بين مجموع أحمال الذروة وحمل الذروة لمجموع الأحمال، حيث :

$$LD = (\sum_{i=1}^{n} D_{i\max}) - D_{t\max}$$

الطاقة المستهلكة

يتم حساب الطاقة المستهلكة خلال فترة زمنية محددة بضرب متوسط الحمل خلال هذه الفترة بعدد الساعات خلال هذه الفترة. أما عن الوحدة المستخدمة لحساب الطاقة المستهلكة فهي kWh.

الطاقة المستهلكة شهريا (kWh) = متوسط الحمل خلال الشهر (kW) X عدد ساعات الشهر (h)

استخدام الأحمال في تصميم شبكة التوزيع

عند تصميم شبكة التوزيع يجب معرفة عامل الطلب وعامل التباين للأحمال المختلفة ولمجموعات الأحمال.. وجدير بالذكر أن قيمة الطلب وعامل التباين هي قيم تقديرية ويتم تحديدها بناء على خبرات سابقة. يتضح مما سبق أن عامل التباين يزداد كلما زاد عدد الأحمال المماثلة. يتراوح معامل التباين في المصانع بين ١,١٥ و١,٥ . وعمليا يتم حساب الطلب الأقصى للمصنع باعتبار أن قيمة عامل التباين ثابت في جميع المراحل، بحيث يصبح في وسع الشبكة تحمل الزيادة في الأحمال.

عند تصميم شبكة توزيع، أيا كان نوعها، صناعية أو تجارية أو سكنية فهناك عدة خطوات يجب اتباعها. ومن أهم هذه الخطوات بالنسبة للشبكة الصناعية مايلي:

١ - تحديد أماكن الأحمال الكبيرة على الرسم التخطيطي للمصنع وحساب إجمالي الحمل بالتقريب (kW أو KVA).

٢ - تقدير حمل الإضاءة وحمل التكيف والأحمال الأخرى وذلك عن طريق البيانات المتوفرة أو من التقديرات المحددة في الجداول الفنية للإضاءة.

٣ - تحديد الحمل الموصل الكلي وحساب أقصى طلب باستخدام معامل الطلب ومعامل التباين المناسب.

٤ - التحقق من الأحمال غير العادية مثل بدء المحركات الكبيرة وتشغيل الأفران الصناعية (مثل أفران الصلب) والأحمال التي يجب تشغيلها أيا كانت الظروف والأحمال ذات دورات التشغيل الخاصة.

٥ - دراسة نظم التوزيع المختلفة واختيار أنسب نظام يتفق واحتياجات المصنع مع الأخذ في الاعتبار التكاليف.

٦ - تجهيز رسم تخطيطي مبدئي مفرد للنظام.

معاملات محطات القوى الكهربائية

معامل سعة المحطة Plant Capacity Factor

وهو النسبة بين الطاقة المنتجة خلال فترة زمنية محددة والطاقة التي يمكن إنتاجها خلال نفس الفترة إذا اشتغلت المحطة بدون توقف بقدرتها القصوى.

$$\text{معامل سعة المحطة السنوي} = \frac{\text{الطاقة المنتجة سنويا (KWh)}}{\text{سعة المحطة (KW) X عدد ساعات السنة}}$$

معامل الاحتياط Reserve Factor

وهو يمثل النسبة بين القدرة الرسمية للمحطة أو سعة المحطة وبين أقصى حمل متصل بها ويكون هذا المعامل دائما أكبر من أو يساوي الواحد.

$$\text{معامل الاحتياط} = \frac{\text{القدرة الرسمية للمحطة (KW)}}{\text{قدرة الحمل الأقصى (KW)}}$$

معامل الاستفادة Utilization Factor

وهو يمثل النسبة بين الأحمال الموصلة على المحطة وأقصى قدرة يمكن إنتاجها.

$$\text{معامل الاستفادة} = \frac{\text{القدرة المحملة على المحطة (KW)}}{\text{القدرة القصوى للمحطة (KW)}}$$

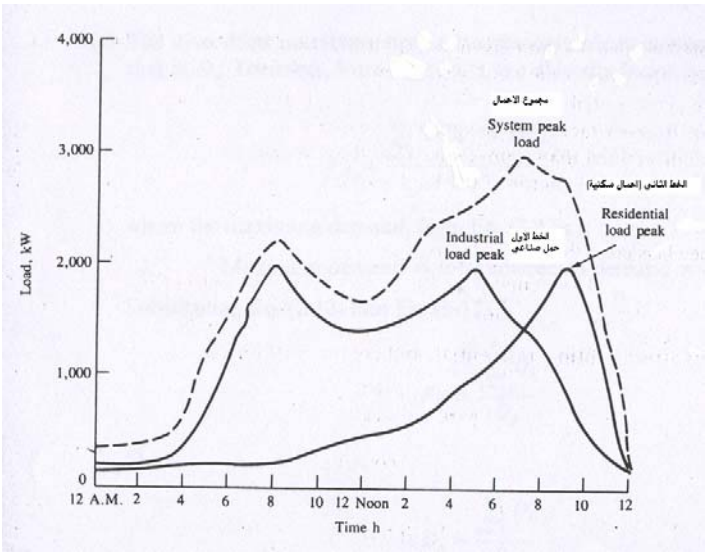
تمارين

٣,١ يبين الشكل ٣,١ جزء من منحني التحميل لمحطة توزيع رئيسية متمثلا في خطين يغذيهما محول رئيسي. يغذي الخط الأول أحمالا صناعية بقيمة متفاوتة بين الساعة ٨ صباحا والساعة ١١ مساء ويبلغ الحمل ذروته عند الساعة الخامسة مساء بقيمة ٢٠٠٠ kW. أما الخط الثاني فهو يغذي أحمالا سكنية تحدث أساسا بين الساعة ٦ صباحا والساعة ١٢ مساء ويكون حمل الذروة عند الساعة ٩ مساء بقيمة ٢٠٠٠kW . أوجد ما يلي:

أ) معامل التباين للأحمال الموصلة بالمحول.

ب) تباين الأحمال الموصلة بالمحول.

ج) معامل التوافق للأحمال الموصلة بالمحول.



الشكل ٣,١: منحني التحميل لخطوط التوزيع الاول والثاني

الحل:

مجموع الطلب الأقصى لكل حمل

أ) $F_{Div} = \dfrac{2000 + 2000}{3000}$ $F_{Div} = 1.33$

ب) تباين الأحمال هو الفرق بين مجموع أحمال الذروة وحمل الذروة لمجموع الأحمال.

$$LD = (\sum_{i=1}^{2} D_{i\max}) - D_{t\max} = (٢٠٠٠+٢٠٠٠) - ٣٠٠٠ = ١٠٠٠\text{kW}$$

ج) معامل التوافق : وهو عكس معامل التشتت ويساوي مقلوبه.

$$F_c = \frac{1}{F_{Div}} \qquad F_c = \frac{1}{1.33} = 0.752$$

٣,٢ بناء على جدول الأحمال التالي لخط التغذية الرئيسي، أوجد ما يلي:

- أ) معامل التباين لخط التغذية الرئيسي
- ب) معامل التوافق للأحمال الثلاثة
- ج) تباين الأحمال الثلاثة

الزمن (الساعة)	الأحمال (kW)		
	إضاءة الطرقات	أحمال سكنية	أحمال صناعية
A.M١٢	١٠٠	٢٠٠	٢٠٠
١	١٠٠	٢٠٠	٢٠٠
٢	١٠٠	٢٠٠	٢٠٠
٣	١٠٠	٢٠٠	٢٠٠
٤	١٠٠	٢٠٠	٢٠٠
٥	١٠٠	٢٠٠	٢٠٠
٦	١٠٠	٢٠٠	٢٠٠
٧	١٠٠	٣٠٠	٢٠٠
٨	٠	٤٠٠	٣٠٠
٩	٠	٥٠٠	٥٠٠
١٠	٠	٥٠٠	١٠٠٠
١١	٠	٥٠٠	١٠٠٠
Noon١٢	٠	٥٠٠	١٠٠٠
١	٠	٥٠٠	١٠٠٠
٢	٠	٥٠٠	١٢٠٠
٣	٠	٥٠٠	١٢٠٠
٤	٠	٥٠٠	١٢٠٠
٥	١٠٠	٦٠٠	١٢٠٠
٦	١٠٠	٧٠٠	٨٠٠
٧	١٠٠	٨٠٠	٤٠٠
٨	١٠٠	١٠٠٠	٤٠٠
٩	١٠٠	١٠٠٠	٤٠٠
١٠	١٠٠	٨٠٠	٢٠٠
١١	١٠٠	٦٠٠	٢٠٠
P.M.١٢	١٠٠	٣٠٠	٢٠٠

جدول٣,٤ : الأحمال اليومية على أحد خطوط التغذية الرئيسية

٣,٣ بناء على المعطيات المسجلة في الجدول ٣,٤ احسب لكل من الأحمال السكنية والأحمال الصناعية ما يلي:

- متوسط الحمل اليومي.
- معامل الحمل اليومي.
- الطاقة المستهلكة يوميا لكل نوع من الأحمال السكنية و الصناعية.

المراجع

Toran Gonen," Electric Power Distribution System Engineering", Mc Graw-Hill ١٩٨٦

P. Kundur , "Power system stability and control", McGraw-Hill, New York,١٩٩٤.

P.L. Theraja, A.K. Theraja, " Text book Electrical Technology ", S. Chand & Company, New Delhi,١٩٩٧

د.اسر على زكي ، د. احمد حلمي راشد ، "" نظم التوزيع وتنظيم الجهد"" ، المعارف ، الاسكندرية ، ١٩٨٤

محطات التوليد ونقل القدرة

تعريفة استهلاك القدرة الكهربائية

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الجدارة:

التعرف على الطرق المختلفة المستخدمة في حسابات تكلفة الطاقة الكهربائية المستهلكة .

الأهداف:

عندما تكمل هذا الفصل يكون لديك القدرة على معرفة:

١ - معنى التعريفة الكهربائية

٢ - كيفية حساب التعريفة الكهربائية بطرقها المختلفة ومميزات كل طريقة.

مستوى الأداء المطلوب:

أن يصل المتدرب إلى إتقان المهارات الأساسية لحساب تكلفة الطاقة الكهربائية المستهلكة بمختلف تعريفاتها.

الوقت المتوقع للتدريس : ٤ ساعات

الوسائل المساعدة:

متطلبات الجدارة:

معرفة ما سبق دراسته عن الأحمال الكهربائية في الفصل الثالث.

المقدمة

إن حجم وتكلفة إنشاء محطة توليد كهربائية تحددها القيمة القصوى لطلب الطاقة من مختلف المستهلكين الموصلين لهذه المحطة. ويرجع ذلك إلى عدم إمكانية تخزين الطاقة الكهربائية كما يحدث لمصادر الطاقة الأخرى كالغاز والنفط. لذلك وجد أنه من الضروري توليد وتوفير حاجيات المستهلكين للطاقة الكهربائية حين طلبها مما يجعل الأمر بالغ الصعوبة إذا تزامنت الطلبات القصوى للطاقة للعديد من المستهلكين. هذا الأمر جعل شركات الكهرباء تعتمد تعريفات مختلفة للطاقة الكهربائية المستهلكة وذلك حسب نوع المستهلك وكمية وكيفية استهلاكه لهذه الطاقة. فمن الطبيعي أن نفرق بين المستهلك العادي و الصناعي أو الزراعي وذلك لاختلاف طبيعة حاجاتهم للطاقة.

فعادةً ما يوضع للمستهلك الصناعي تعريفة مسطحة وثابتة مهما كانت كمية الطاقة المستهلكة وذلك لتشجيع هذا القطاع على الإنتاج والتصنيع، لكن تتم محاسبة هذه المصانع على كيفية الاستهلاك، كالمحاسبة على معامل القدرة والقدرة القصوى للطلب.

أما بالنسبة للمستهلك العادي كالتجارية والسكني فعادةً ما يتم تشجيعه على الترشيد في استهلاك الطاقة والتقليل منها وذلك عبر تعريفة تصاعدية تزيد بزيادة الاستهلاك لتضاعف عدة مرات.

التعريفة المسطحة

تعتمد التعريفة المسطحة للمستهلك الصناعي وذلك لتشجيعه على التصنيع والزيادة في الإنتاج. وهي عبارة عن تعريفة ثابتة أي سعر ثابت لكل وحدة طاقة KWh مهما كانت كمية الطاقة المستهلكة. لحساب تكلفة الاستهلاك الشهري لأحد المصانع يجب حساب عدد الوحدات KWh المستهلكة خلال الشهر وضربها في التعريفة المحدده من قبل الشركة.

الجدول التالي يلخص التعريفات المعتمدة من قبل شركات الكهرباء بالمملكة وذلك حسب نوع المستهلك وكمية الطاقة المستهلكة.

(KWh)	(هللة لكل KWh)	التجاري (هللة لكل KWh)	الحكومي (هللة لكل KWh)	الصناعي (هللة لكل KWh)	الزراعي (هللة لكل KWh)
٠ -١٠٠٠	٥	٥	٥	١٢	٥
١٠٠١ -٢٠٠٠	٥	٥	٥	١٢	٥
٢٠٠١ -٣٠٠٠	١٠	١٠	١٠	١٢	١٠
٣٠٠١ -٤٠٠٠	١٠	١٠	١٠	١٢	١٠
٤٠٠١ -٥٠٠٠	١٢	١٢	١٢	١٢	١٠
٥٠٠١ -٦٠٠٠	١٢	١٢	١٢	١٢	١٢
٦٠٠١ -٧٠٠٠	١٥	١٥	١٥	١٢	١٢
٧٠٠١ -٨٠٠٠	٢٠	٢٠	٢٠	١٢	١٢
٨٠٠١ -٩٠٠٠	٢٢	٢٢	٢٢	١٢	١٢
٩٠٠١ -١٠٠٠	٢٤	٢٤	٢٤	١٢	١٢
أكثر من ١٠٠٠٠	٢٦	٢٦	٢٦	١٢	١٢

الجدول ٤,١ : التعريفات الكهربائية المعتمدة من طرف الشركة السعودية للكهرباء حسب شرائح الاستهلاك ونوع المستهلك.

كيفية حساب تكلفة الاستهلاك عن طريق التعريفة المسطحة :

لحساب تكلفة الاستهلاك الشهرية للطاقة الكهربائية عن طريق التعريفة المسطحة يكفي أن نحدد كمية الطاقة المستهلكة خلال الشهر ونضربها بالتسعيرة المبينه بالجدول ٤,١ . عمليا يقوم العداد الكهربائي بتعداد الوحدات المستهلكة (KWh) مما يمكننا من تحديد الطاقة المستهلكة خلال هذه الفترة وذلك بطرح القراءة السابقة للعداد من القراءة الحالية. أما نظريا فيمكننا حساب الطاقة المستهلكة إذا عرفنا الأحمال المستخدمة من قبل المستهلك وفترات التشغيل.

مثال ٤,١ :

مستهلك صناعي يستخدم حملا ثابتا مقداره ١٥٠٠ kW لمدة ٨ ساعات في اليوم لمدة ٢٠ يوم في الشهر. ولباقي ساعات الشهر الذي يتكون من ٣٠ يوم يستخدم حملا مقداره ١٠٠kW.

احسب تكلفة الطاقة الشهرية بناء على التعريفة المسطحة للشركة السعودية للكهرباء المبينة بالجدول ٤,١.

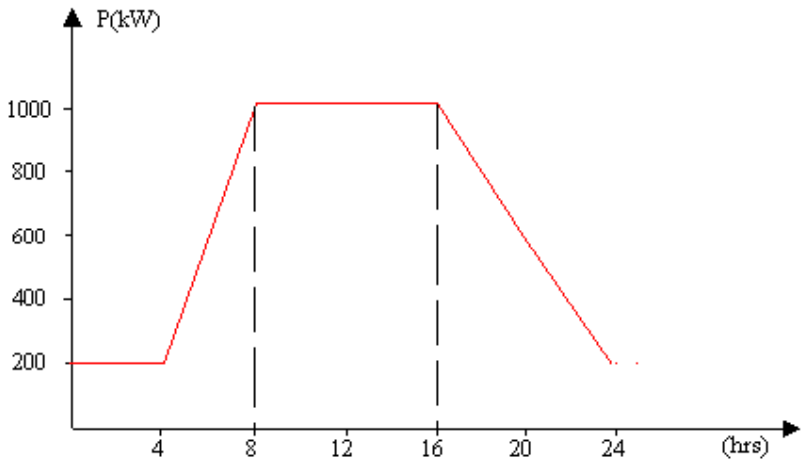
الحل:

الطاقة المستهلكة خلال الشهر= $١٥٠٠^{kW} \times ٢٠^{days} \times ٨^{hrs} + ١٠٠^{kW} \times (٢٠^{days} \times ١٦^{hrs} + ١٠^{days} \times ٢٤^{hrs}) = ٢٩٦٠٠٠kWh$

تكلفة الطاقة الكهربائية المستهلكة خلال الشهر= (ريال سعودي SR) $٢٩٦٠٠٠^{kWh} \times ٠,١٢^{SR/kWh} = ٣٥٥٢٠$

تمرين ٤,٢ :

– احسب تكلفة الطاقة الشهرية للمستهلك الصناعي حسب التعريفة المسطحة للشركة السعودية للكهرباء إذا كان منحني التحميل اليومي لهذا المستهلك مبيناً بالشكل ٤,١.



الشكل ٤,١ : منحني التحميل اليومي لمستهلك صناعي

التعريفة ذات الشقين

تتمثل هذه التعريفة في محاسبة المستهلك على القدرة القصوى للطاقة المطلوبة خلال الشهر بالإضافة إلى تكلفة الطاقة المستهلكة بالتعريفة المسطحة. ويتم تحديد القيمة القصوى للطلب بعداد كهربائي خاص مجهز بمؤشر لتسجيل هذه القيمة ومراجعتها كل نصف ساعة لرفعها إذا تجاوزت القيمة السابقة.

إن القيمة القصوى لطلب الطاقة تحدد حجم وقدرة المولدات المستخدمة في المحطة. إذا كان الطلب الأقصى للقدرة عاليا مقارنة مع متوسط الحمولة. وبمعنى آخر، إذا كان معامل الحمولة منخفضا فإن تكلفة الوحدة تكون عالية. تستخدم التعريفة ذات الشقين لتشجيع المستهلك على توزيع طلباته للطاقة وعدم تركيزها خلال فترة واحدة لخفض معامل الحمولة والتقليل من تكلفة وحدة الطاقة kWh المنتجة.

كيفية حساب تكلفة الاستهلاك عن طريق التعريفة ذات الشقين:

لحساب تكلفة الاستهلاك الشهرية للطاقة الكهربائية عن طريق التعريفة ذات الشقين يجب أن نحدد القدرة القصوى للطلب و كمية الطاقة المستهلكة خلال الشهر ونضرب كل منهما بالتسعيرة المحددة من قبل شركة الكهرباء .

مثال:

٤,٣ - مستهلك صناعي يستخدم حملا ثابتا مقداره ١٠٠٠kW بمعامل قدرة = ٠,٨ لمدة ١٠ ساعات في اليوم ولمدة ٢٠ يوم في الشهر. ولباقي ساعات الشهر الذي يتكون من ٣٠ يوم يستخدم حملا مقداره ٢٠٠kW بمعامل قدرة تساوي واحداً.

احسب تكلفة الطاقة الشهرية بناء على التعريفة ذات الشقين:

- تكلفة وحدة الطاقة = ١٢ هللة لكل kWh
- تكلفة القدرة القصوى للطلب= ٤ ريال لكل kVA

الحل:

الطاقة المستهلكة خلال الشهر= $١٠٠٠^{kW}x٢٠^{days}$ x ١٠^{hrs} + ٢٠٠^{kW} x ($٢٠^{days}x١٤^{hrs}+١٠^{days}x٢٤^{hrs}$) = ٣٠٤٠٠٠kWh

تكلفة الوحدات الكهربائية المستهلكة خلال الشهر= (ريال سعودي SR) = ١٥٢٠٠ $^{SR/kWh}$ = ٣٠٤٠٠٠^{kWh} x ٠,١٢

القدرة القصوى للطلب (kVA): $S(KVA) = \frac{P(kW)}{p.f.} = \frac{1000}{0.8} = 1250KVA$

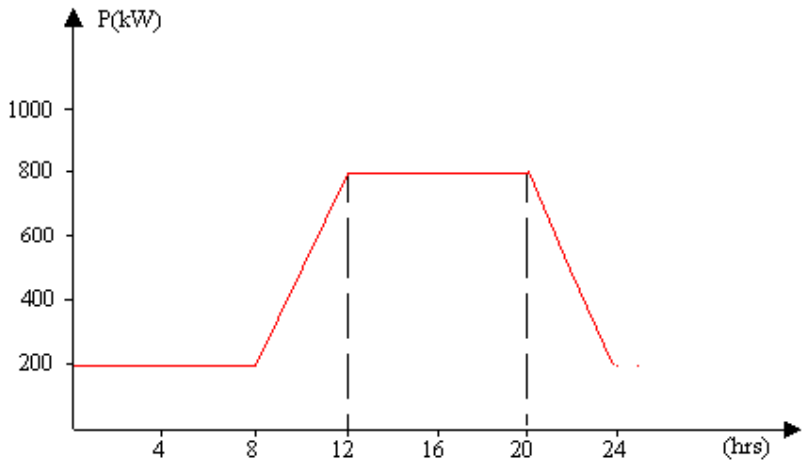
تكلفة القدرة القصوى للطلب = (ريال SR) ٥٠٠٠= ٤ x ١٢٥٠

تكلفة الطاقة الشهرية بالتعريفة ذات الشقين = تكلفة الوحدات المستهلكة + تكلفة القدرة القصوى.

تكلفة الطاقة الشهرية بالتعريفة ذات الشقين = ١٥٢٠٠+ ٥٠٠٠ = ٢٠٢٠٠ ريال.

مثال ٤,٤ :

- احسب تكلفة الطاقة الشهرية للمستهلك الصناعي حسب منحنى التحميل المبين على الشكل٤,٢ حسب التعريفة التالية:
  - تكلفة وحدة الطاقة = ١٢ هللة لكل kWh
  - تكلفة القدرة القصوى للطلب= ٤ ريال لكل kVA



الشكل ٤,٢ : منحني التحميل اليومي لمستهلك صناعي وذلك لمدة ٢٠ يوم في الشهر المتكون من ٣٠ يوم (معامل القدرة =٠,٩)

التعريفة التصاعدية

تعتمد التعريفة التصاعدية للمستهلك السكني والتجاري والحكومي وذلك لتشجيعه على الترشيد والتقليل من استهلاك الطاقة. وهي عبارة عن تعريفة غير ثابتة تتغير مع شرائح الاستهلاك كما هو مبين بالجدول رقم ٤,٢. لحساب تكلفة الاستهلاك الشهري يجب حساب عدد الوحدات (KWh) المستهلكة خلال الشهر وتقسيمها إلى الشرائح المبينة بالجدول. بعد حساب تكلفة كل شريحة من خلال التسعيرة الخاصة بها تجمع كلها لتشكل التكلفة الكاملة للطاقة المستهلكة خلال الشهر.

(KWh)	(هللة لكل KWh)	التجاري (هللة لكل KWh)	الحكومي (هللة لكل KWh)	الصناعي (هللة لكل KWh)	الزراعي (هللة لكل KWh)
٠ -١٠٠٠	٥	٥	٥	١٢	٥
١٠٠١ -٢٠٠٠	٥	٥	٥	١٢	٥
٢٠٠١ -٣٠٠٠	١٠	١٠	١٠	١٢	١٠
٣٠٠١ -٤٠٠٠	١٠	١٠	١٠	١٢	١٠
٤٠٠١ -٥٠٠٠	١٢	١٢	١٢	١٢	١٠
٥٠٠١ -٦٠٠٠	١٢	١٢	١٢	١٢	١٢
٦٠٠١ -٧٠٠٠	١٥	١٥	١٥	١٢	١٢
٧٠٠١ -٨٠٠٠	٢٠	٢٠	٢٠	١٢	١٢
٨٠٠١ -٩٠٠٠	٢٢	٢٢	٢٢	١٢	١٢
٩٠٠١ -١٠٠٠	٢٤	٢٤	٢٤	١٢	١٢
أكثر من ١٠٠٠٠	٢٦	٢٦	٢٦	١٢	١٢

الجدول ٤,٢ : التعريفات الكهربائية التصاعدية المعتمدة من طرف الشركة السعودية للكهرباء

كيفية حساب تكلفة الاستهلاك عن طريق التعريفة التصاعدية :

لحساب تكلفة الاستهلاك الشهرية للطاقة الكهربائية عن طريق التعريفة التصاعدية يكفي أن نحدد كمية الطاقة المستهلكة خلال الشهر عن طريق العداد الكهربائي أو حسابها من خلال الأحمال المستخدمة من قبل المستهلك وفترات التشغيل.

ومن خلال التعريفات المبينة بالجدول ٤,٢ يتم حساب التكلفة بعد تقسيم الطاقة المستهلكة حسب الشرائح الخاصة بكل مستهلك.

مثال :

٤,٥ - مستهلك تجاري يستخدم حملا ثابتا مقداره ٥٠kW لمدة ١٢ ساعات في اليوم ولباقي ساعات اليوم حملا مقداره ٥kW لمدة ٢٥ يوم في الشهر ويتوقف عن الاستهلاك لباقي أيام الشهر المتكون من ٣٠ يوم .
احسب تكلفة الطاقة الشهرية بناء على التعريفة التصاعدية للشركة السعودية للكهرباء المبينة بالجدول ٤,٢.

الحل:

الطاقة المستهلكة خلال الشهر= $٥٠^{kW} \times ٢٥^{days} \times ١٢^{hrs} + ٥^{kW} \times ٢٥^{days} \times ١٢^{hrs} = ١٦٥٠٠kWh$

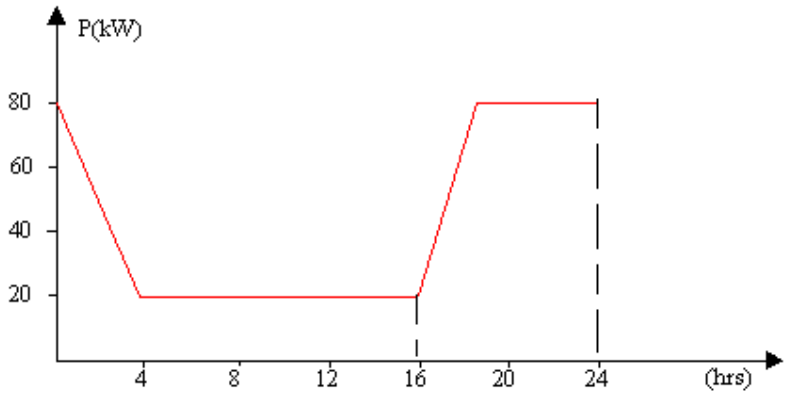
تكلفة الطاقة الشهرية حسب التعرفة التصاعدية=

$= ٠,٠٥^{SR} \times ٢٠٠٠^{kWh} + ٠,١٠^{SR} \times ٢٠٠٠^{kWh} + ٠,١٢^{SR} \times ٢٠٠٠^{kWh} + ٠,١٥^{SR} \times ١٠٠٠^{kWh} + ٠,٢٠^{SR} \times ١٠٠٠^{kWh} + ٠,٢٢^{SR} \times ١٠٠٠^{kWh}$

$٠,٢٤^{SR} \times ١٠٠٠^{kWh} + ٠,٢٦^{SR} \times ٦٥٠٠^{kWh} =$ ٣٠٤٠ ريال

تمرين ٤,٦ :

– احسب تكلفة الطاقة الشهرية للمستهلك التجاري حسب التعريفة التصاعدية للشركة السعودية للكهرباء إذا كان منحني التحميل اليومي لهذا المستهلك مبيناً بالشكل٤,٣ وذلك لمدة ٣٠ يوم في الشهر.



الشكل ٤,٣ : منحني التحميل اليومي لمستهلك تجاري

التعريفة التصاعدية لمعامل القدرة

تستخدم هذه التعريفة لتشجيع المستهلك على تحسين معامل القدرة أو المحافظة على القيمة المسموح بها. ويتم ذلك من خلال الربط المباشر لتكلفة الاستهلاك بمعامل القدرة. بعد حساب تكلفة الاستهلاك عن طريق التعريفة المسطحة أو التعريفة التصاعدية يتم إضافة نسبة مئوية إلى الفاتورة تحدد من خلال الفرق بين معامل القدرة للمستهلك والقيمة المحددة من قبل الشركة. كما تخفض الفاتورة إذا نجح المستهلك في رفع معامل القدرة فوق هذه القيمة.

مثال:

٤,٧ - مستهلك صناعي يستخدم حملا ثابتا مقداره ١٠٠٠kW بمعامل قدرة = ٠,٦ لمدة ١٠ ساعات في اليوم لمدة ٢٠ يوم في الشهر. ولباقي ساعات الشهر الذي يتكون من ٣٠ يوم يستخدم حملا مقداره ٢٠٠kW بمعامل قدرة تساوي ٠,٦ علما بأن معامل القدرة المحددة من طرف الشركة تساوي ٠,٩.

احسب تكلفة الطاقة الشهرية بناء على التعريفة التصاعدية لمعامل القدرة:

- تكلفة وحدة الطاقة = ١٢ هللة لكل kWh
- تزيد الفاتورة بنسبة ٥٪ على كل ٠,١ فرق في معامل القدرة

الحل:

الطاقة المستهلكة خلال الشهر= $١٠٠٠^{kW}x٢٠^{days}x\ ١٠^{hrs} + ٢٠٠^{kW}\ x\ (٢٠^{days}x١٤^{hrs}+١٠^{days}x٢٤^{hrs}) = ٣٠٤٠٠٠kWh$

تكلفة الوحدات الكهربائية المستهلكة خلال الشهر= (ريال سعودي SR) $٣٠٤٠٠٠^{kWh}\ x\ ٠,١٢^{\ SR/kWh} = ١٥٢٠٠$

الفرق بين معامل القدر ة للمستهلك والقيمة المسموح بها= ٠,٩ -٠,٦=٠,٣

التكلفة الشهرية للطاقة حسب التعريفة التصاعدية لمعامل القدرة = (١٥٢٠٠x(١+٠,٠٥x٣)= ١٧٤٨٠ ريال

محطات التوليد ونقل القدرة

خطوط النقل الهوائية

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الجدارة:

الإلمام بأنواع خطوط النقل الكهربائية الهوائية و معرفة مميزات رفع جهد القدرة المنقولة وكيفية تمثيل دائرة الخط لدراسته.

الأهداف:

عندما تكمل هذا الفصل يكون لديك القدرة على معرفة:

١ - الأنواع المختلفة لخطوط النقل الهوائية.

٢ - مميزات رفع الجهد لنقل القدرة.

٣ - كيفية تمثيل دائرة الخط وحساب كفاءته وحساب الجهد عند جهة الإرسال.

٤ - رسم المخطط الاتجاهي للدائرة.

مستوى الأداء المطلوب:

أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الجدارة بنسبة ١٠٠٪

الوقت المتوقع للتدريس : ٨ ساعات

الوسائل المساعدة:

التجارب العملية من ٤ إلى ١٢

متطلبات الجدارة:

معرفة ما سبق دراسته في جميع المواد السابقة

المقدمة

تعتبر خطوط النقل شرايين نظام الطاقة الكهربائية. كما أن ظهور خطوط النقل المتطورة ذات السعات العالية جعل من الممكن فنيا واقتصاديا نقل الطاقة الكهربائية عبر مسافات طويلة. يتم نقل القدرة الكهربائية إما بالتيار المتردد أو بالتيار المستمر، مع تصميم الخط باستخدام أحد الأنواع التالية:

- خطوط هوائية
- كابلات أرضية
- خطوط معزولة بغاز مضغوط.

تصمم معظم خطوط نقل القدرة لتعمل في النظام الثلاثي الطور Phase System ٣، ويستخدم في الخطوط الهوائية موصلات غير معزولة (عارية) مع الاستفادة من الهواء المحيط كوسط عازل.

يحيط بالخطوط الهوائية عند نقل القدرة مجالات كهرومغناطيسية. وتثير هذه المجالات قلقا من حيث وجود بعض الدراسات التي تشير إلى وجود تأثيرات صحية وبيئية على الكائنات المجاورة لها. بالإضافة إلى التداخل مع موجات الاتصالات Interference عند الجهود الفائقة وعند وجود تفريغ هالي Corona، نتيجة لعوامل عديدة منها تلوث العوازل الكهربائية الحاملة لخطوط النقل. ففي المناطق السكنية التي لا يمكن استخدام الخطوط الهوائية لأغراض أمنية أو لأسباب أخرى، فإن القدرة تنقل بواسطة كابلات أرضية . في هذا الفصل سنركز على الخطوط الهوائية القصيرة منها والمتوسطة وذلك بسبب انتشارها وكثرة استخدامها لسهولة تركيبها واحتياجات تشغيلها مقارنة بالكابلات الأرضية.

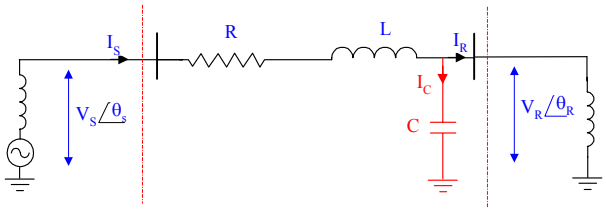
تعتمد دراسة خطوط النقل بالدرجة الأولى على خواص الأداء الكهربائي لخط النقل. وهذه الخواص يمكن التعبير عنها بخواص الخط الأربعة مرتبة حسب أهميتها:

- محاثة الخط X_L.
- سعة الخط C.
- مقاومة الخط R.
- مواصلة التوازي للخط G .

تصنف خطوط النقل إلى قصيرة ومتوسطة و طويلة وذلك حسب طول الخط. يتمثل الاختلاف بين هذه الأنواع في الدائرة المكافئة للخط حيث تظهر في الخطوط المتوسطة و الطويلة سعة التوازي للخط على عكس الخطوط القصيرة.

خواص خط النقل

تمثل هذه الخواص الأداء الكهربائي للخط . فإذا اعتبرنا خط نقل ثلاثي الطور (الوجه) فإن كل موصل يمثل مقاومة مادية R بالتوالي مع محاثة L بالتوازي مع سعة C و مواصلة G (عادة تهمل لصغرها) لكل متر طول، كما في الشكل ٥,١.



الشكل٥,١: تمثيل خط نقل مفرد (دائرة مفردة) من خط نقل ثلاثي الأوجه بمقاومة ومحاثة وسعة.

المقاومة ومواصلة التوازي للخط

السبب الذي يجعل المقاومة المادية R ومواصلة التوازي G تصنفان على أنهما أقل أهمية هو تأثيرهما الضئيل على المعاوقة المكافئة للخط وبالتالي على سعة خط النقل.

يمكن الحصول على قيمة المقاومة من القانون التالي:

$$R(\Omega) = \frac{\rho}{A}$$ أوم لكل متر لكل طور .....(٥,١)

حيث $\rho(\Omega.m)$: المقاومة النوعية لمادة الموصل

$A(m^2)$: المساحة المؤثرة للموصل

في حالة الموصلات من نوع الألمنيوم المقوى بالصلب ACSR فإن المعلومات الدقيقة عن المقاومة يمكن الحصول عليها من جداول المصنعين (الجدول ٥,١).

يؤدي الفقد الناتج عن المقاومة إلى رفع درجة حرارة الموصلات والتي قد تضع حدا حراريا على التحميل القائم. كما تؤثر درجات الحرارة العالية على ارتخاء الخطوط بين الأبراج وكذلك تتسبب في نقص قوة الشد للموصل.

أما بالنسبة لمواصلة التوازي G فإنه لا يوجد قانون لحساب قيمتها. تمثل مواصلة التوازي تيار التسرب بين الأطوار والأرض. وهذا التيار الذي يسري أساسا بين طبقات العازل، تتغير قيمته بدرجة عالية حسب المناخ ورطوبة الجو والتلوث ونسبة الأملاح. وعادة ما يهمل وجود هذا التيار في ظروف التشغيل العادية وذلك لضعفه من ناحية و العجز عن تحديد قيمته من ناحية اخرى.

الرمز	مساحة الألمنيوم cmil	الإلتفاف Stranding Al/St	عدد طبقات الألمنيوم	القطر الخارجي in	المقاومة			GMR D_s, ft	المعاوقة لكل قدم فاصل عند تردد ٦٠Hz	
					مستمر Dc ٢٠°C Ω/١٠٠٠ft	Ac متردد ٦٠Hz ٢٠°C Ω/mi	Ac متردد ٦٠Hz ٥٠°C Ω/mi		المعاوقة الحثية X_a Ω.mi	المعاوقة السعوية (MΩ.mi)
Waxwing	٢٦٦,٨٠٠	١٨/١	٢	٠,٦٠٩	٠,٠٦٤٦	٠,٣٤٨٨	٠,٣٨٣١	٠,٠١٩٨	٠,٤٧٦	٠,١٠٩٠
Partridge	٢٦٦,٨٠٠	٢٦/٧	٢	٠,٦٤٢	٠,٠٦٤٠	٠,٣٤٥٢	٠,٣٧٩٢	٠,٠٢١٧	٠,٤٦٥	٠,١٠٧٤
Ostrich	٣٠٠,٠٠٠	٢٦/٧	٢	٠,٦٨٠	٠,٠٥٦٩	٠,٣٠٧٠	٠,٣٣٧٢	٠,٠٢٢٩	٠,٤٥٨	٠,١٠٥٧
Merlin	٣٣٦,٤٠٠	١٨/١	٢	٠,٦٨٤	٠,٠٥١٢	٠,٢٧٦٧	٠,٣٠٣٧	٠,٠٢٢٢	٠,٤٦٢	٠,١٠٥٥
Linnet	٣٣٦,٤٠٠	٢٦/٧	٢	٠٧٢١	٠,٠٥٠٧	٠,٢٧٣٧	٠,٣٠٠٦	٠,٠٢٤٣	٠,٤٥١	٠,١٠٤٠
Oriole	٣٣٦,٤٠٠	٣٠/٧	٢	٠,٧٤١	٠,٠٥٠٤	٠,٢٧١٩	٠,٢٩٨٧	٠,٠٢٥٥	٠,٤٤٥	٠,١٠٣٢
Chickadee	٣٩٧,٥٠٠	١٨/١	٢	٠,٧٤٣	٠,٠٤٣٣	٠,٢٣٤٢	٠,٢٥٧٢	٠,٠٢٤١	٠,٤٥٢	٠,١٠٣١
Ibis	٣٩٧,٥٠٠	٢٦/٧	٢	٠,٧٨٣	٠,٠٤٣٠	٠,٢٣٢٣	٠,٢٥٥١	٠,٠٢٦٤	٠,٤٤١	٠,١٠١٥
Pelican	٤٧٧,٠٠٠	١٨/١	٢	٠,٨١٤	٠,٠٣٦١	٠,١٩٥٧	٠,٢١٤٨	٠,٠٢٦٤	٠,٤٤١	٠,١٠٠٤
Flicker	٤٧٧,٠٠٠	٢٤/٧	٢	٠,٨٤٦	٠,٠٣٥٩	٠,١٩٤٣	٠,٢١٣٤	٠,٠٢٨٤	٠,٤٣٢	٠,٠٩٩٢
Hawk	٤٧٧,٠٠٠	٢٦/٧	٢	٠,٨٥٨	٠,٠٣٥٧	٠,١٩٣١	٠,٢١٢٠	٠,٠٢٨٩	٠,٤٣٠	٠,٩٨٨
Hen	٤٧٧,٠٠٠	٣٠/٧	٢	٠,٨٨٣	٠,٠٣٥٥	٠,١٩١٩	٠,٢١٠٧	٠,٠٣٠٤	٠,٤٢٤	٠,٩٨٠
Osprey	٥٥٦,٥٠٠	١٨/١	٢	٠,٨٧٩	٠,٠٣٠٩	٠,١٦٧٩	٠,١٨٤٣	٠,٠٢٨٤	٠,٤٣٢	٠,٠٩٨١
Parakeet	٥٥٦,٥٠٠	٢٤/٧	٢	٠,٩١٤	٠,٠٣٠٨	٠,١٦٦٩	٠,١٨٣٢	٠,٠٣٠٦	٠,٤٢٣	٠,٠٩٦٩
Dove	٥٥٦,٥٠٠	٢٦/٧	٢	٠,٩٢٧	٠,٠٣٠٧	٠,١٦٦٣	٠,١٨٢٦	٠,٠٣١٤	٠,٤٢٠	٠,٠٩٦٥
Rook	٦٣٦,٠٠٠	٢٤/٧	٢	٠,٩٧٧	٠,٠٢٦٩	٠,١٤٦١	٠,١٦٠٣	٠,٠٣٢٧	٠,٤١٥	٠,٠٩٥٠
Grosbeak	٦٣٦,٠٠٠	٢٦/٧	٢	٠,٩٩٠	٠,٠٢٦٨	٠,١٤٥٤	٠,١٥٩٦	٠,٠٣٣٥	٠,٤١٢	٠,٠٩٤٦
Drake	٧٩٥,٠٠٠	٢٦/٧	٢	١,١٠٨	٠,٠٢١٥	٠,١١٧٢	٠,١٢٨٤	٠,٠٣٧٣	٠,٣٩٩	٠,٠٩١٢
Tern	٧٩٥,٠٠٠	٤٥/٧	٣	١,٠٦٣	٠,٠٢١٧	٠,١١٨٨	٠,١٣٠٢	٠,٠٣٥٢	٠,٤٠٦	٠,٠٩٢٥
Rail	٩٥٤,٠٠٠	٤٥/٧	٣	١,١٦٥	٠,٠١٨١	٠,٠٩٩٧	٠,١٠٩٢	٠,٠٣٨٦	٠,٣٩٥	٠,٠٨٩٧
Cardinal	٩٥٤,٠٠٠	٥٤/٧	٣	١,١٩٦	٠,٠١٨٠	٠,٠٩٨٨	٠,١٠٨٢	٠,٠٤٠٢	٠,٣٩٠	٠,٠٨٩٠
Ortolan	١,٠٣٣,٥٠٠	٤٥/٧	٣	١,٢١٣	٠,٠١٦٧	٠,٠٩٢٤	٠,١٠١١	٠,٠٤٠٢	٠,٣٩٠	٠,٠٨٨٥
Bluejay	١,١١٣,٠٠٠	٤٥/٧	٣	١,٢٥٩	٠,٠١٥٥	٠,٠٨٦١	٠,٠٩٤١	٠,٠٤١٥	٠,٣٨٦	٠,٠٨٧٤
Finch	١,١١٣,٠٠٠	٥٤/١٩	٣	١,٢٩٣	٠,٠١٥٥	٠,٠٨٥٦	٠,٠٩٣٧	٠,٠٤٣٦	٠,٣٨٠	٠,٠٨٦٦
Bittern	١,٢٧٢,٠٠٠	٤٥/٧	٣	١,٣٤٥	٠,٠١٣٦	٠,٠٧٦٢	٠,٠٨٣٢	٠,٠٤٤٤	٠,٣٧٨	٠,٠٨٥٥
Pheasan	١,٢٧٢,٠٠٠	٥٤/١٩	٣	١,٣٨٢	٠,٠١٣٥	٠,٠٧٥١	٠,٠٨٢١	٠,٠٤٦٦	٠,٣٧٢	٠,٠٨٤٧

t										
Bobolink	١,٤٣١,٠٠٠	٤٥/٧	٣	١,٤٢٧	٠,٠١٢١	٠,٠٦٨٤	٠,٠٧٤٦	٠,٠٤٧٠	٠,٣٧١	٠,٠٨٣٧
Plover	١,٤٣١,٠٠٠	٥٤/١٩	٣	١,٤٦٥	٠,٠١٢٠	٠,٠٦٧٣	٠,٠٧٣٥	٠,٠٤٩٤	٣٦٥	٠,٠٨٢٩
Lapwing	١,٥٩٠,٠٠٠	٤٥/٧	٣	١,٥٠٢	٠,٠١٠٩	٠,٠٦٢٣	٠,٠٦٧٨	٠,٠٤٩٨	٠,٣٦٤	٠,٠٨٢٢
Falcon	١,٥٩٠,٠٠٠	٥٤/١٩	٣	١,٥٤٥	٠,٠١٠٨	٠,٠٦١٢	٠,٠٦٦٧	٠,٠٥٢٣	٠,٣٥٨	٠,٠٨١٤
Bluebird	٢,١٥٦,٠٠٠	٨٤/١٩	٤	١,٧٦٢	٠,٠٠٨٠	٠,٠٤٧٦	٠,٠٥١٥	٠,٠٥٨٦	٠,٣٤٤	٠,٠٧٧٦

الجدول ٥,١ : المواصفات الكهربائية لموصل ألمنيوم غير معزول ومقوى بالصلب (ACSR).

محاثة الخط Line Reactance (XL)

تعتبر محاثة الخط أكثر الخواص أهمية، فبالنسبة لتصميمات الخطوط العادية تكون المفاعلة الحثية Inductive Reactance $X_L=\omega L$ هي العنصر السائد للمعاوقة نتيجة لتأثيرها على سعة التوصيل وانخفاض الجهد.

حساب المحاثة للخطوط ثلاثية الطور (الوجه) أحادية الموصل:

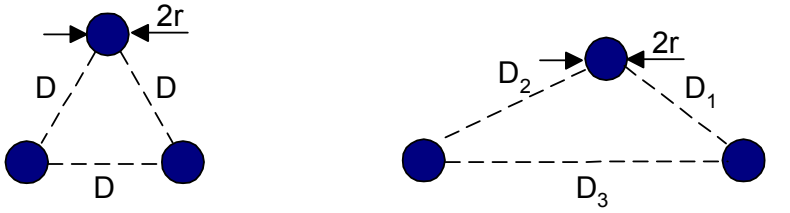
المحاثة لكل طور تساوي

$L = \frac{\mu_o}{2\pi}(\frac{1}{4} + \ln\frac{D}{r})$ H/m هنري لكل متر .....(٥,٢)

حيث إن $\mu_o=2\pi \times 10^{-7}$ قابلية النفاذ المغناطيسي في الفراغ

D : المسافة بين الموصلات

r: نصف قطر الموصل



مسافات متماثلة بين الموصلات — مسافات غير متماثلة بين الموصلات

الشكل ٥,٢: المسافة بين الموصلات

إذا كانت المسافات بين الموصلات غير متماثلة (الشكل ٥,٢) وتختلف الواحدة عن الأخرى فإن التغير الوحيد في القانون يكون في المسافة : $D = \sqrt[3]{D_1 D_2 D_3}$ .....(٥,٣)

مثال : المسافة بين الموصلات: D = ٥m

نصف قطر الموصل: r =١,٥cm

التردد : f = ٦٠Hz

المحاثة لكل طور: $L = \frac{4\pi \times 10^{-7}}{2\pi}(\frac{1}{4} + \ln\frac{500}{1.5}) = 12.12x10^{-7}\, H/m$

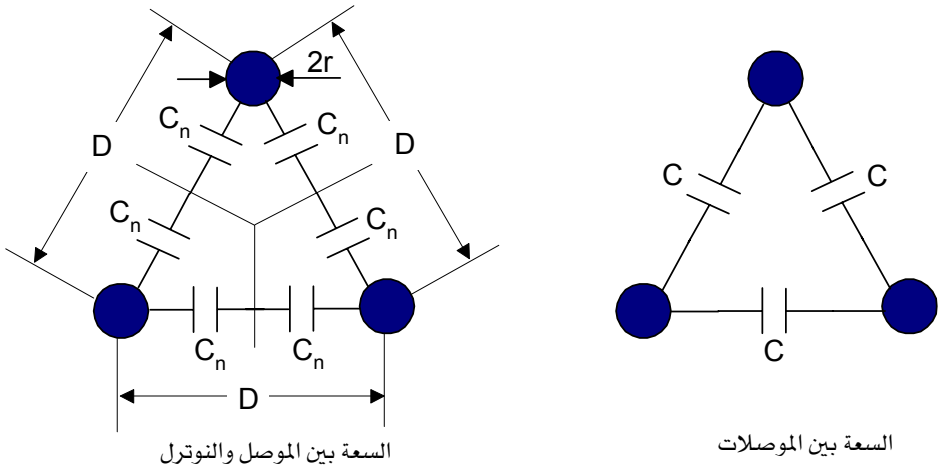
وعليه فإن مفاعلة الخط الحثية تكون: $X_L = \omega L$=٣٧٧x ١٢,١٢x١٠$^{-٧}$=٠,٤٥٧ Ω/km

من الجداول نجد أن المقاومة المادية لهذا الموصل تساوي R=٠,٠٧٤ Ω/km. ومن ثم فإن مفاعلة الخط تكون ستة أضعاف المقاومة مما يؤكد ما ذكر سابقا عن تناسب قيم R و X_L و إمكانية إهمال المقاومة المادية.

سعة الخط

عندما يكون فرق الجهد بين الموصلات عاليا جدا يتسرب تيار كهربائي عبر العازل الذي يمثله الهواء في الخطوط الهوائية. يكون هذا التيار متقدما عند انعدام الحمل ويعرف بتيار الشحن. ويحدد قيمة هذا التيار سعة الخط و جهد النقل والتردد.

تمثل السعة مصدرا للقدرة المفاعلة. وتتناسب هذه القدرة تناسبا طرديا مع مربع جهد النقل. بالنسبة لخط نقل يزيد طوله عن ١٠٠km و يتجاوز جهده ٣٠٠kV فإن تأثير سعة التوازي يصبح جزءاً أساسيا في حسابات المنظومة الكهربائية.



السعة بين الموصل والنوترل — السعة بين الموصلات

الشكل ٥,٣: السعة كل موصل مع المحايد لخط ثلاثي الطور.

سعة الخطوط أحادية الموصل ثلاثية الطور:

تمثل المعادلة التالية السعة بين الخط المحايد وكل متر من الموصل لخط نقل ثلاثي الطور (الشكل ٥,٣):

$$C_n = 2C = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ln\frac{D}{r}}(F/m)$$ فراد لكل متر من كل طور.....(٥,٤)

حيث إن $\varepsilon_o = 8.854 \times 10^{-12}$: ثابت العازل للفراغ، ويسمى بسماحية العازل Permittivity

D : المسافة بين الموصلات

r: نصف قطر الموصل

C: السعة بين الموصل والموصل

إذا كانت المسافات بين الموصلات غير متماثلة (الشكل ٥,٢) وتختلف الواحدة عن الأخرى فإن التغير الوحيد في القانون يكون في المسافة : $D = \sqrt[3]{D_1 D_2 D_3}$

المفاعلة السعوية Capacitive Reactance (مفاعلة التوازي) لكل متر من الموصل لخط نقل ثلاثي الطور هي:

$X_c = \frac{1}{\varpi C_n}$ أوم لكل متر من الموصل.....(٥,٥)

حيث إن f (Hz) : تردد التيار . والتردد الزاوي هو $w = 2\pi f$.

وتسمى عكس المفاعلة السعوية بالمسامحة السعوية Capacitive admittance (Y) ، ويكون لكل متر من الموصل لخط نقل ثلاثي الطور مسامحة سعوية تعطى من القانون التالي:

$Y = j\frac{1}{X_c} = j\varpi C_n$ (Siemens) سيمنس لكل متر من الموصل.....(٥,٦)

مثال: احسب المسامحة السعوية لخط نقل ثلاثي الطور طوله ٢٠٠km يستخدم موصلات قطرها ٣cm معلقة على مسافات متماثلة في حدود ٥m.

السعة بين كل موصل و الخط المحايد لكل متر من طول الخط تحسب كالتالي :

$$C_n = \frac{2\pi \times 8.854 \times 10^{-12}}{\ln \frac{500}{1.5}} = 9.577 \times 10^{-12} F/m$$

∴ السعة بين كل موصل و المحايد لكامل الخط :

$$C_n = 9.577 \times 10^{-12} \times 200 \times 10^3 = 1.915 \times 10^{-6} F$$

المفاعلة السعوية Capacitive Reactance لكل موصل في الخط الثلاثي الطور:

$$X_c = \frac{1}{\varpi C_n} = \frac{1}{377 x 1.954 x 10^{-6}} = 1385\Omega$$

المسامحة السعوية Capacitive Admittance لكل موصل في الخط الثلاثي الطور:

$Y = j\varpi C_n = 722 x 10^{-6} \angle 90^0$ (Siemens) لكل طور.

خطوط النقل القصيرة

تم تحديد خواص الخط الثلاثي الطور التي استعرضت في الجزء الأول من هذا الفصل لكل متر طولي من كل طور. ومن ثم فإنه لإيجاد خواص خط معين طوله L(m) يتم ضرب هذه القيم في الطول الحقيقي للخط. وهذا في الواقع يمكن إجراؤه للخطوط القصيرة حيث يمكننا إهمال معاملات التوازي نظرا لضعف قيمتها والاكتفاء بالمقاومة والمفاعلة الحثية للخط. في حالة الخطوط المتوسطة والطويلة حيث لا يمكن إهمال معاملات التوازي فإن دقة هذه الطريقة تقل بسبب إهمال تأثير توزيع هذه الخواص على طول الخط.

من هذا المنطلق يمكننا اختصار خط النقل القصير الثلاثي الطور في مقاومة ومفاعلة حثية على التوالي لكل طور. يربط هذا الخط بين المولد والحمل كما هو مبين على الشكل ٥،٤.

حيث إن V_S يمثل جهد الطور عند الإرسال Sending end voltage per phase

V_R جهد الطور عند الاستقبال Receiving end voltage per phase

I_L تيار الخط Line current

R مقاومة الخط لكل طور Line resistance per phase

X_L المفاعلة الحثية للخط لكل طور Line reactance per phase

ΔV هبوط الجهد على الخط لكل طور Line voltage drop per phase

$P_R(w)$ القدرة الفعالة عند الاستقبال Active power at receiving end

$S_R(VA)$ القدرة الظاهرية عند الاستقبال Apparent power at receiving end

$Q_R(VAR)$ القدرة المفاعلة عند الاستقبال Reactive power at receiving end

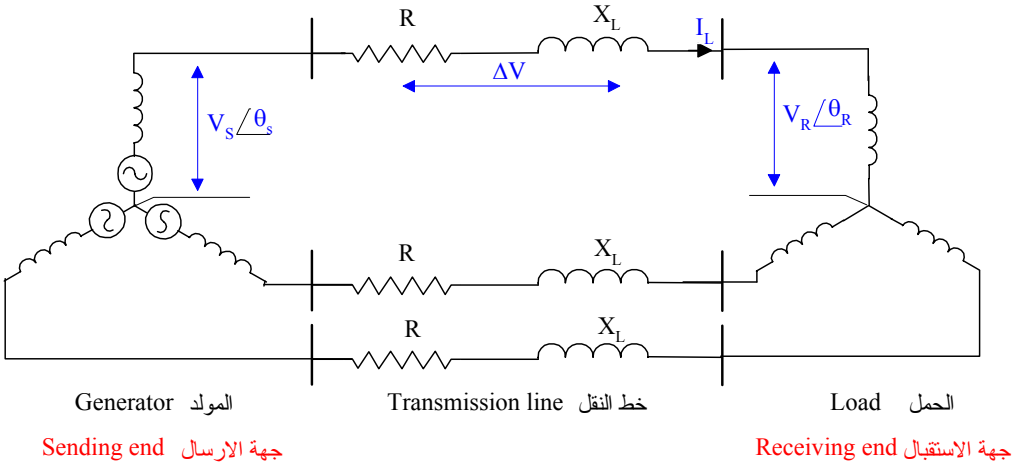
$Cos\phi_R$ معامل القدرة عند الاستقبال power factor at receiving end

$P_S(w)$ القدرة الفعالة عند الإرسال Active power at sending end

$S_S(VA)$ القدرة الظاهرية عند الإرسال Apparent power at sending end

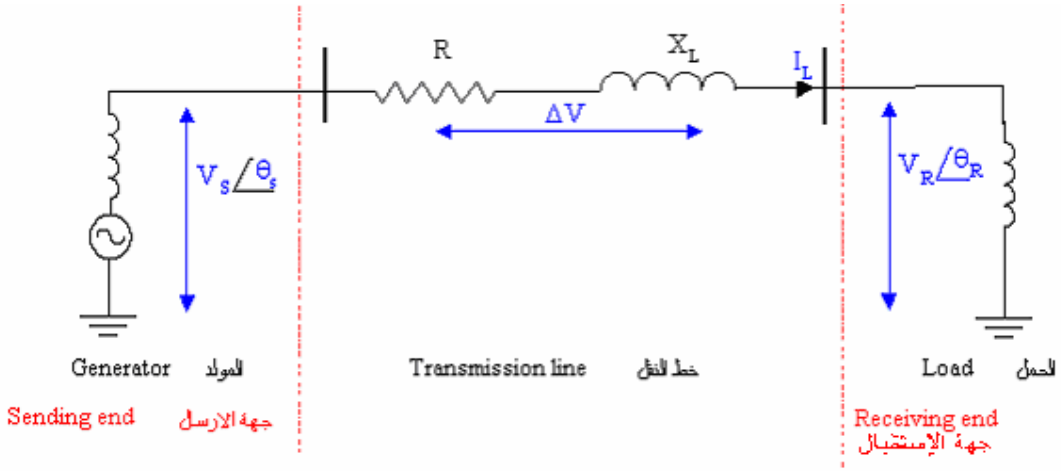
$Q_S(VAR)$ القدرة المفاعلة عند الإرسال Reactive power at sending end

$Cos\phi_S$ معامل القدرة عند الإرسال power factor at sending end



الشكل٥,٤ : خط نقل قصير ثلاثي الطور يربط بين محطة التوليد والحمل.

بحكم تماثل الحمل على الأطوار الثلاثة لخط النقل فإنه يمكن اختصار الدائرة الموضحة في الشكل السابق (٥,٤) إلى دائرة مفردة أحادية الطور (خط نقل مفرد) كما هو مبين في الشكل ٥,٥.



الشكل٥,٥ : الدائرة المفردة المكافئة لخط نقل ثلاثي الطور متماثل.

وبناء على الدائرة المكافئة للخط يمكننا تحديد ما يلي:

جهد الطور عند الإرسال: $V_S = V_R + \Delta V$ .....(٥,٨)

جهد الطور V_R عند الاستقبال يعطى بالعلاقة $V_R = \frac{U_R}{\sqrt{3}}$ .....(٥,٩)

ويمكن حساب هبوط الجهد كالتالي $\Delta V = Z_L I_L = I_L R + jI_L X_L$ .....(٥,١٠)

حيث إن: U_R هو جهد الخط عند الاستقبال Line voltage at receiving end.

$Z_L=R+jX_L$: معاوقة الخط Line impedance.

RI_L: هبوط الجهد عبر المقاومة وهو متطابق مع تيار الخط Resistive drop in phase with I_L .

X_LI_L: هبوط الجهد المفاعل ويكون تعامدياً مع تيار الخط Reactive drop in quadrature with I_L .

رسم المخطط الاتجاهي للدائرة المكافئة للخط

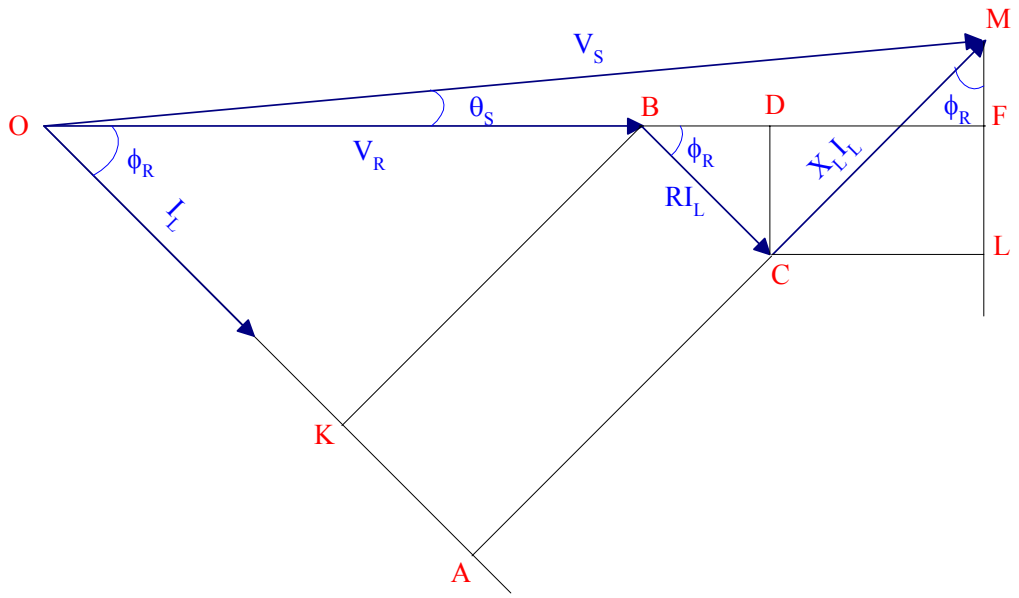
يبين الشكل ٥,٦ رسم المتجهات المكافئ لدائرة خط النقل القصير. وانطلاقا من المثلث قائم الزاوية OMA نستخلص ما يلي:

$$OM^2 = OA^2 + AM^2 = (OK + KA)^2 + (AC + CM)^2 \quad (٥,١١)$$

$$OM = \sqrt{(OK + KA)^2 + (AC + CM)^2} \quad (٥,١٢)$$

بحيث

$$V_S = \sqrt{(V_R \cos\phi_R + RI_L)^2 + (V_R \sin\phi_R + X_L I_L)^2} \quad (٥,١٣)$$



الشكل٥,٦: رسم المتجهات لهبوط الجهد بين الإرسال والاستقبال

الجهد عند الإرسال

القيمة التقريبية لهبوط الجهد وجهد الإرسال:

بحكم أن الزاوية θ_S بين OM و OF صغيرة نسبيا يمكننا اعتبار المسافة OM=OF (تقريبيا). وهذا يعني أن:

$$OM = OD + DF = OB + BD + DF$$

$$V_S = V_R + BD + DF = V_R + RI_L\cos\phi_R + X_L I_L \sin\phi_R \quad \text{.....(٥,١٤)}$$

$$V_S - V_R = RI_L\cos\phi_R + X_L I_L \sin\phi_R$$

فتكون القيمة التقريبية لهبوط الجهد : $\Delta V = RI_L\cos\phi_R + X_L I_L \sin\phi_R$ .....(٥,١٥)

ويكون جهد الطور عند الإرسال: $V_S = V_R + \Delta V$ .....(٥,١٦)

القيمة الفعلية لهبوط الجهد وجهد الإرسال باستخدام الأعداد المركبة Solution in Complex Notation

نستخدم الجهد عند الاستقبال V_R كمتجه مرجعي Reference vector لحساب الزوايا للكميات الأخرى كما هو مبين في الشكل ٥,٦ ، حيث يمكننا تحويل كل معطيات الخط لقيم المركبة:

$$V_R = |V_R| + j0 = |V_R|\angle 0^o \quad \text{.....(٥,١٧)}$$

$$I_L = |I_L|(\cos\phi_R - j\sin\phi_R) = |I_L|\angle -\phi_R \quad \text{.....(٥,١٨)}$$

يكون التيار متأخرا Lagging إذا كان الحمل حثي كما هو في الدائرة السابقة، لذا تكون الزاوية سالبة. أما إذا كان الحمل سعوياً فإن الزاوية تكون موجبة لأن التيار سيكون متقدماً Leading في هذه الحالة.

$$Z_L = R + jX_L = |Z|\angle\theta \quad \text{.....(٥,١٩)}$$

$$\Delta V = Z_L I_L \angle\theta - \phi_L \quad \text{.....(٥,٢٠)}$$

ويكون جهد الطور عند الإرسال : $V_S = V_R + \Delta V$ .....(٥,٢١)

$$V_S = V_R + Z_L I_L \angle(\theta - \phi_R) \quad \text{.....(٥,٢٢)}$$

$$V_S = V_R + I_L(\cos\phi_R - j\sin\phi_R)(R + jX_L) \quad \text{.....(٥,٢٣)}$$

$$V_S = V_R + (RI_L\cos\phi_R + X_L I_L \sin\phi_R) + j(X_L I_L\cos\phi_R - RI_L\sin\phi_R) \quad \text{.....(٥,٢٤)}$$

$$V_S = \sqrt{(V_R + RI_L\cos\phi_R + X_L I_L\sin\phi_R)^2 + (X_L I_L\cos\phi_R - RI_L\sin\phi_R)^2} \quad \text{.....(٥,٢٥)}$$

إذا كان معامل القدرة متقدما Leading (أي أن الحمل سعوي) فإن زاوية التيار تصبح موجبة وبالتالي فإن:

$$I_L = |I_L|(\cos\phi_R + j\sin\phi_R) = |I_L|\angle\phi_R \quad \text{.....(٥,٢٦)}$$

ويكون الجهد عند الإرسال:

$$V_S = V_R + I_L(\cos\phi_R + j\sin\phi_R)(R + jX_L) \quad \text{.....(٥,٢٧)}$$

$$V_S = V_R + (RI_L\cos\phi_R - X_L I_L\sin\phi_R) + j(X_L I_L\cos\phi_R + RI_L\sin\phi_R) \quad \text{.....(٥,٢٨)}$$

$$V_S = \sqrt{(V_R + RI_L\cos\phi_R - X_L I_L\sin\phi_R)^2 + (X_L I_L\cos\phi_R + RI_L\sin\phi_R)^2} \quad \text{.....(٥,٢٩)}$$

و تكون زاوية معامل القدرة عند الإرسال:

$$\phi_S = \phi_R + \theta_s \quad \text{.....(٥,٣٠)}$$

معامل التنظيم لجهد الخط: Voltage Regulation of line

وهو النسبة المئوية بين فرق الجهد عند الإرسال والاستقبال، وجهد الاستقبال:

$$\Delta V(\%) = \frac{V_S - V_R}{V_R} \times 100 \quad \text{.....(٥,٣١)}$$

القدرة المفقودة على الخط: Power losses of the line

تتسبب كل من المقاومة R و المفاعلة للخط X_L في فقدان كمية كبيرة من القدرة الفعالة (P) Active Power والمفاعلة (Q) Reactive Power خاصة عندما يكون جهد النقل منخفضا. وذلك نظراً للتناسب الطردي بين القدرة المفقودة ومربع التيار ($P=I^2R$ أو $P\propto I^2$).

يمكننا تقسيم هذه المفقودات إلى قدرة فعالة P_{Loss} وأخرى مفاعلة Q_{Loss}. حيث تكون مقاومة الموصل مصدر القدرة الفعالة المفقودة على الخط و تكون مفاعلة الموصل مصدراً للقدرة المفاعلة المفقودة على الخط.

وتحسب القدرة الفعالة المفقودة على الخط $P_{loss}(W)$ من المعادلات التالية:

$$P_{Loss} = 3RI_L^2 \quad \text{.....(٥,٣٢)}$$

$$P_{Loss} = P_S - P_R \quad \text{.....(٥,٣٣)}$$

كما يمكن حساب القدرة المفعالة المفقودة على الخط $Q_{loss}(VAR)$ مما يلي:

$$Q_{Loss} = 3X_L I_L^2 \quad \text{.....(٥,٣٤)}$$

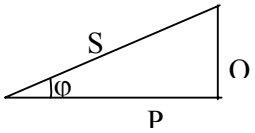
$$Q_{Loss} = Q_S - Q_R \quad \text{.....(٥,٣٥)}$$

وللتقليل من القدرة المفقودة، فإنه يتم رفع الجهد على خطوط النقل كلما زاد طول الخط وذلك لخفض التيار في حدود الإمكانات الاقتصادية لتكلفة النقل. بالإضافة إلى ذلك فإن التكلفة الإجمالية ستقل، لأنه كلما قل التيار فإن مساحة مقطع الموصل المستخدم تقل وبالتالي فإن حجم أبراج النقل ستقل مما ينعكس على التكلفة الإجمالية. ولكن هذه المزايا يقابلها في الجهة الأخرى مشاكل تتعلق بضرورة زيادة مستوى العزل الكهربائي للأجهزة والمعدات والعوازل الكهربائية المرتبطة بخط النقل.

القدرة عند الإرسال وعند الاستقبال:

إذا كان الحمل متوازنا بين الأطوار الثلاثة تكون القدرة الظاهرية عند الإرسال $S_S(VA)$ تعادل ثلاثة مرات قيمتها لكل طور: $S_S = 3V_S I_L^*$ .....(٥,٣٦)

كما يمكننا استخلاص القدرة الفعالة $P_S(W)$ والمفاعلة $Q_S(VAR)$ عند الإرسال مباشرة من القدرة الظاهرية: $S_S = P_S + jQ_S$ .....(٥,٣٧)



فيما يمكن أن تمثل هذه العلاقة فيما يسمى بمثلث القدرة.

كذلك بالنسبة للقدرة الظاهرية $S_R(VA)$ و القدرة الفعالة $P_R(W)$ والمفاعلة $Q_R(VAR)$ عند الاستقبال :

$S_R = 3V_R I_L^*$ .....(٥,٣٨)

$S_R = P_R + jQ_R$ .....(٥,٣٩)

كما يمكننا حساب القدرة الفعالة والمفاعلة عن طريق معامل القدرة:

القدرة الفعالة والمفاعلة عند الإرسال : $P_S = 3V_S I_L \cos\phi_S$ .....(٥,٤٠)

$Q_S = 3V_S I_L \sin\phi_S$ .....(٥,٤١)

$S_S = 3V_S I_L = \sqrt{3}U_S I_L = \frac{P_S}{\cos\phi_S} = \frac{Q_S}{\sin\phi_S}$ .....(٥,٤٢)

القدرة الفعالة والمفاعلة عند الاستقبال : $P_R = 3V_R I_L \cos\phi_R$ .....(٥,٤٣)

$Q_R = 3V_R I_L \sin\phi_R$ .....(٥,٤٤)

$S_R = 3V_R I_L = \sqrt{3}U_R I_L = \frac{P_R}{\cos\phi_R} = \frac{Q_R}{\sin\phi_R}$ .....(٥,٤٥)

كفاءة خط النقل Efficiency of transmission line

تمثل كفاءة خط النقل نسبة بين القدرة الفعالة المنقولة على الخط والتي تصل للمستهلك، و القدرة الفعالة المولدة عند الإرسال:

$\eta(\%) = \frac{P_R}{P_S} \times 100$ .....(٥,٤٦)

مثال :

معامل التنظيم والكفاءة لخط نقل قصير.

خط نقل كهربائي قصير ثلاثي الطور، تردده f=٦٠Hz له مقاومة R=٥Ω ومحاثة L=٣٠mH يغذي حملاً متوازنا ثلاثي الطور P=١٠٠٠kW بمعامل قدرة ٠.٨ متأخر تحت جهد ١١kV بين الخط والخط. أوجد:

أ - الجهد عند الإرسال ومعامل القدرة.

ب - كفاءة خط النقل.

ج - معامل التنظيم.

د – ارسم المخطط الاتجاهي.

الحل:

جهد الطور عند الاستقبال:

$$V_R = \frac{U_R}{\sqrt{3}} = \frac{11000}{\sqrt{3}} = 6350V$$

تيار الخط:

$$I_L = \frac{P_R}{3V_R \cos\phi_R} = \frac{1000 \times 10^3}{3 \times 6350 \times 0.8} = 65.6A$$

$\phi_R = \cos^{-1}(0.8) = 36.87^o$ متأخر

$$I_L = 65.6A\angle -36.87^o$$

معاوقة الخط لكل طور:

$$Z_L = R + j2\pi fL = 5 + j2\pi 60 \times 0.025 = (5 + j9.4)\Omega$$

هبوط الجهد على كل الطور:

$$\Delta V = Z_L I_L = (10.65\angle 62^o)(65.6\angle -36.87^o) = 698.64V\angle 25.13^o = (632 + j296)V$$

أ - جهد الطور عند الإرسال :

$$V_S = V_R + \Delta V = 6350 + (632 + j296) = 6988V\angle 2.4^0$$

جهد الخط عند الإرسال :

$$U_S = \sqrt{3}V_S = \sqrt{3} \times 6988 = 12100V = 12.1kV$$

معامل القدرة عند الإرسال :

$$\Phi_S = \Phi_R + \theta_R = 36.9^o + 2.4^o = 39.3^o$$

$\cos\phi_S = 0.774$ متأخر

ب – القدرة الفعالة المفقودة على الخط

$$P_{Loss} = 3RI_L^2 = 3 \times 5 \times 65.6^2 = 64550W = 64.55kW$$

القدرة الفعالة عند الإرسال

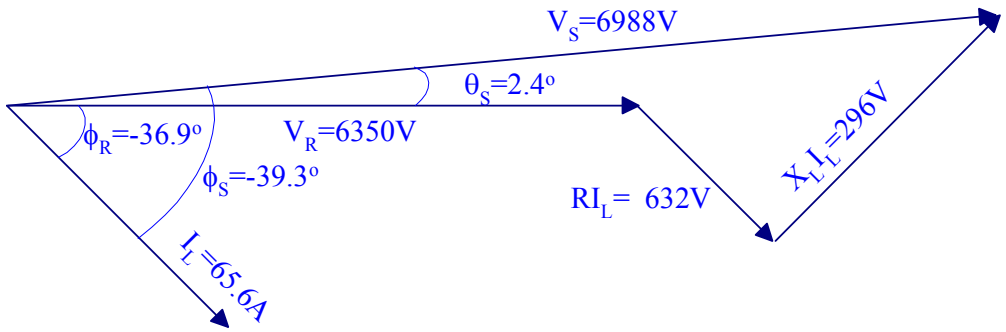
$$P_S = P_R + P_{Loss} = 1000 + 64.55 = 1064.55kW$$

كفاءة الخط:

$$\eta = \frac{P_R}{P_S} = \frac{1000}{1064.55} = 0.9394 = 93.94\%$$

ج – معامل تنظيم الجهد على الخط

$$\Delta V(\%) = \frac{U_S - U_R}{U_R} \times 100 = \frac{12.1 - 11}{11} \times 100 = 10\%$$



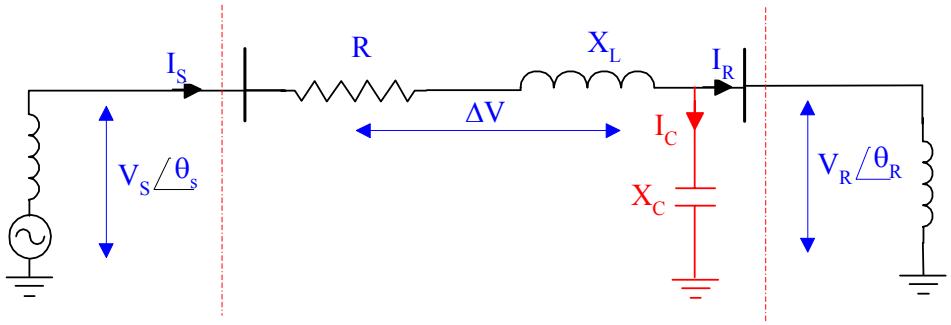
الشكل٥,٧: رسم المتجهات لهبوط الجهد بين الإرسال والاستقبال

خطوط النقل الهوائية المتوسطة

على عكس الخطوط القصيرة التي تم فيها إهمال المفاعلة السعوية للخط، نظرا لقيمتها الضعيفة، تزيد قيمة هذه المفاعلة السعوية والتسرب عبر العوازل بزيادة طول وجهد خط النقل ويصبح لها تأثير كبير على معامل التنظيم والكفاءة. يأخذ بعين الاعتبار المفاعلة السعوية والمفاعلة التسربية Leakage reactance للخط، لما لها من تأثير على التمثيل الدقيق لخط النقل وحساب الجهد عند الإرسال ومعامل التنظيم.

الدائرة المكافئة لخط نقل قصير أو قريب من المتوسط ذات مفاعلة سعوية

إذا توفرت قيمة المفاعلة السعوية لبعض الخطوط القصيرة نسبيا والقريبة من المتوسطة (أقل من ١٠٠km) فيمكننا زيادة تفعيل القيمة التقديرية بوضع مجموع هذه المفاعلات في آخر الخط عند الاستقبال كما يتبين من الشكل ٥,٨. في هذه الحالة يكون التيار عند الإرسال I_S هو مجموع المتجهات للتيار عند الاستقبال I_R وتيار الشحن لسعة الخط I_C كما يتضح من المعادلات التالية:



الشكل٥,٨: تمثيل سعة الخط المتوسط بمفاعلة سعوية عند الاستقبال

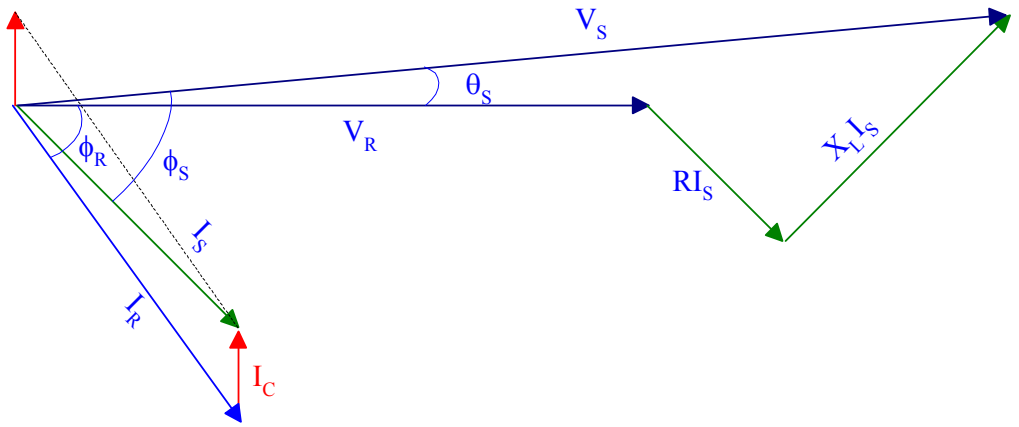
التيار عند الإرسال: $I_S = I_R + I_C$ .....(٥,٤٧)

حيث يعطى تيار الشحن من العلاقة التالية: $I_C = j\varpi C V_R$ .....(٥,٤٨)

ويمكن حساب هبوط الجهد كالتالي: $\Delta V = Z_L I_S = (R + jX_L) I_S$ .....(٥,٤٩)

ويصبح الجهد عند الإرسال كما يلي: $V_S = V_R + \Delta V = V_R + (R + jX_L) I_S$ .....(٥,٥٠)

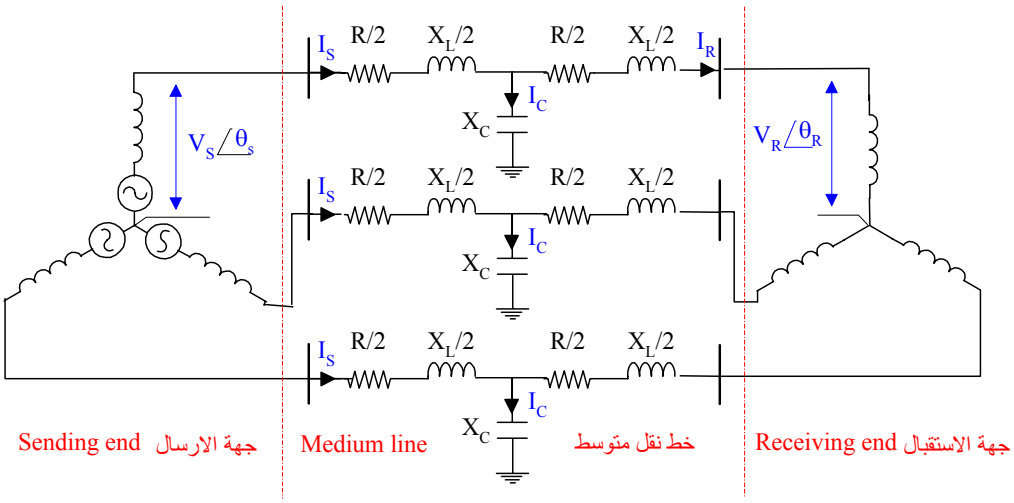
وتوضح العلاقات المتجهة للجهود والتيارات في الشكل ٥,٩.



الشكل٥,٩: رسم المتجهات لخط نقل متوسط مع اعتبار السعة كتلة واحدة في آخر الخط

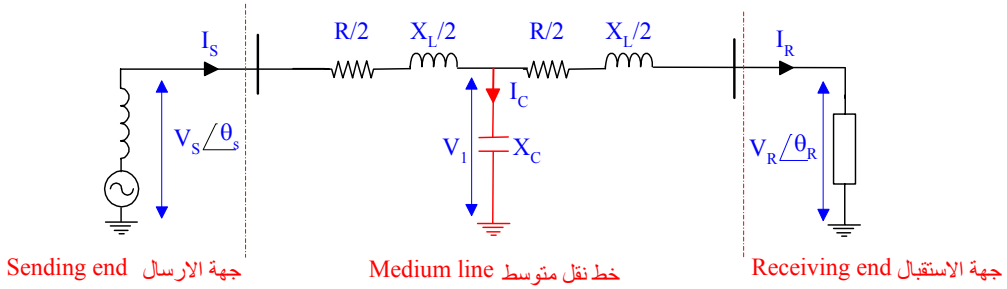
الدائرة المكافئة لخط نقل متوسط على طريقة T (T - Method)

تتمثل هذه الطريقة في اعتبار المفاعلة السعوية مركزة في وسط الخط بين نصفي المقاومة والمفاعلة الحثية للخط مما يعطي الدائرة المكافئة شكل T كما يتبين من الشكل ٥,١٠.



الشكل٥,١٠: خط نقل متوسط ثلاثي طور مجسم على طريقةT (T-Model)

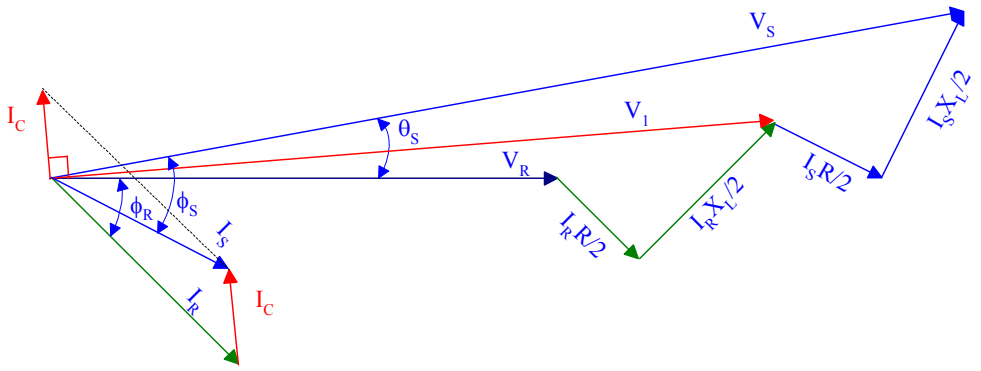
إذا اعتبرنا الحمل متوازنا على الخط الثلاثي الطور فإنه يمكننا اختصار منظومة الثلاثة أوجه المبينة في الشكل ٥,١٠ بالدائرة الكهربائية التي في الشكل ٥,١١ والتي تمثل وجهاً واحداً من تلك المنظومة.



الشكل ٥,١١ : تجسيم خط نقل ثلاثي الطور بدائرة كهربائية واحدة على شكل T (T-Model)

رسم المخطط الاتجاهي للدائرة المكافئة للخط

يبين الشكل ٥,١٢ رسم المتجهات لخط نقل متوسط ممثلاً بطريقة T .



الشكل٥,١٢ : رسم المتجهات لخط نقل متوسط مجسم على طريقةT

يتبين من الشكل ٥,١٢ أن الزوايا تقاس انطلاقا من الجهد عند الاستقبال حيث يعتبر V_R مرجع المتجهات. و من الواضح أن كل القيم المبينة في هذا الشكل هي للطور الواحد مع المحايد.

الجهد عند الإرسال

يكون التيار عند الإرسال مساوياً لمجموع تياري الاستقبال I_R والشحن I_c كما يلي: $I_S = I_R + I_C$ ...(٥,٥١)

حيث إن تيار الشحن يساوي: $I_C = YV_1 = j\varpi CV_1$ .....(٥,٥٢)

أما هبوط الجهد على النصف الأول من الخط فيمكن أن يحسب من العلاقة التالية:

$$\Delta V_1 = \frac{Z_L}{2} I_S = \frac{(R + jX_L)}{2} I_S \quad \text{.....(٥,٥٣)}$$

وكذلك فإن هبوط الجهد على النصف الثاني من الخط يمكن أن يمثل في العلاقة التالية:

$$\Delta V_R = \frac{Z_L}{2} I_R = \frac{(R + jX_L)}{2} I_R \quad \text{.....(٥,٥٤)}$$

وبالتالي فإنه يمكن حساب الجهد عند المكثف بجمع جهد الإرسال وهبوط الجهد (٥,٥٤) كما يلي:

$$V_1 = V_R + \Delta V_R = V_R + \frac{Z_L}{2} I_R \quad \text{.....(٥,٥٥)}$$

وبتعويض المعادلة (٥,٥٥) في المعادلة (٥,٥٢) ثم المعادلة (٥,٥١) فإن التيار عند الإرسال يصبح كالتالي:

$$I_S = YV_R + (1 + \frac{YZ_L}{2}) I_R \quad \text{.....(٥,٥٦)}$$

كما أن الجهد عند الإرسال هو مجموع الجهد عبر المكثف وهبوط الجهد في نصف جهة الإرسال (٥,٥٧)، أو مجموع الجهد في جهة الاستقبال والهبوط في الجهد على امتداد خط النقل (في نصفي الخط) (٥,٥٨):

$$V_S = V_1 + \Delta V_1 = V_1 + \frac{Z_L}{2} I_S \quad \text{.....(٥,٥٧)}$$

$$V_S = V_R + \Delta V_1 + \Delta V_2 = V_R + \frac{Z_L}{2} I_S + \frac{Z_L}{2} I_R \quad \text{.....(٥,٥٨)}$$

بعد تعويض I_S من المعادلة (٥,٥٦) بقيمتها في هذه المعادلة (٥,٥٨) يكون الجهد عند الإرسال:

$$V_S = (1 + \frac{Z_L Y}{2}) V_R + Z_L (1 + \frac{Z_L Y}{4}) I_R \quad \text{.....(٥,٥٩)}$$

معامل التنظيم لجهد الخط: Voltage Regulation of line

ويعرف معامل التنظيم لجهد الخط بأنه النسبة المئوية بين فرق الجهد عند الإرسال والاستقبال، وجهد الاستقبال:

$$\Delta V(\%) = \frac{V_S - V_R}{V_R} \times 100$$

.....(٥,٦٠)

القدرة المفقودة على الخط: Power losses of the line

تتسبب كل من مقاومة و مفاعلة الخط في فقدان كمية كبيرة من القدرة الفعالة خاصة عندما يكون جهد النقل منخفضا. وذلك للعلاقة الطردية بين القدرة المفقودة ومربع التيار. كما يتم تبادل كمية كبيرة من القدرة المفاعلة السعوية أو الحثية و ذلك حسب خصائص الخط.

تنقسم هذه القدرة المفاعلة إلى سعوية وحثية. حيث تكون المفاعلة الحثية X_L مصدر القدرة المفاعلة الحثية على الخط و تكون المفاعلة السعوية مصدراً للقدرة المفاعلة السعوية.

فالمعادلة التالية توضح كيفية حساب القدرة الفعالة المفقودة على الخط $P_{loss}(W)$:

$$P_{Loss} = 3\frac{R}{2}(I_R^2 + I_S^2) \quad \text{.....(٥,٦١)}$$

$$P_{Loss} = P_S - P_R$$

.....(٥,٦٢)

كذلك فإن القدرة المفعالة المتبادلة على الخط $Q_{loss}(VAR)$ هي: $Q_{Loss} = Q_S - Q_R$ .....(٥,٦٣)

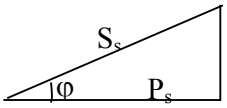
وللتقليل من القدرة المفقودة على الخط يتم رفع الجهد على خطوط النقل كلما زاد طول الخط وذلك لخفض التيار في حدود الإمكانات الاقتصادية لتكلفة النقل.

القدرة عند الإرسال وعند الاستقبال:

إذا كان الحمل متوازنا بين الأطوار الثلاثة تكون القدرة الظاهرية عند الإرسال $S_S(VA)$ تعادل ثلاثة مرات قيمتها لكل طور:

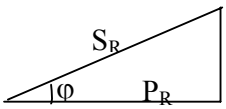
$$S_S = 3V_S I_S^* \quad \text{.....(٥,٦٤)}$$

كما يمكننا استخلاص القدرة الفعالة $P_S(W)$ والمفاعلة $Q_S(VAR)$ عند الإرسال مباشرة من القدرة الظاهرية: $S_S = P_S + jQ_S$ .....(٥,٦٥)



كذلك بالنسبة للقدرة الظاهرية $S_R(VA)$ و القدرة الفعالة $P_R(W)$ والمفاعلة $Q_R(VAR)$ عند الاستقبال :

$$S_R = 3V_R I_R^* \quad \text{.....(٥,٦٦)}$$



$$S_R = P_R + jQ_R \quad \text{.....(٥,٦٧)}$$

كما يمكننا حساب قيم القدرة الفعالة والمفاعلة عن طريق معامل القدرة بالاستعانة بمثلث القدرة أعلاه، فالقدرة الفعالة والمفاعلة والظاهرية عند الإرسال تعطى من العلاقات التالية:

$$P_S = 3V_S I_S \cos\phi_S \quad \text{.....(٥,٦٨)}$$

$$Q_S = 3V_S I_S \sin\phi_S$$

(٥,٦٩).....

$$S_S = 3V_S I_S = \sqrt{3}U_S I_S = \frac{P_S}{\cos\phi_S} = \frac{Q_S}{\sin\phi_S}$$

(٥,٧٠).....

والقدرة الفعالة والمفاعلة عند الاستقبال يمكن حسابها كالتالي: $P_R = 3V_R I_R \cos\phi_R$ .....(٥,٧١)

$$Q_R = 3V_R I_R \sin\phi_R$$

(٥,٧٢).....

$$S_R = 3V_R I_R = \sqrt{3}U_R I_R = \frac{P_R}{\cos\phi_R} = \frac{Q_R}{\sin\phi_R}$$ .....(٥,٧٣)

كفاءة خط النقل Efficiency of transmission line

تمثل كفاءة خط النقل نسبة بين القدرة الفعالة المنقولة على الخط والتي تصل للمستهلك،

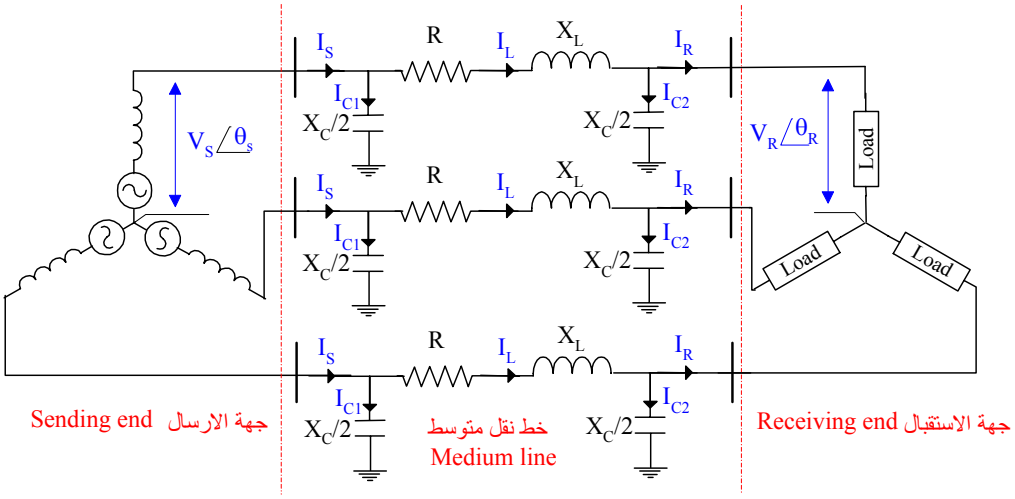
والقدر ة الفعالة المولدة عند الإرسال تساوي: $\eta(\%) = \frac{P_R}{P_S} \times 100$

(٥,٧٤).....

الدائرة المكافئة لخط نقل متوسط على طريقة Π (Π - Method)

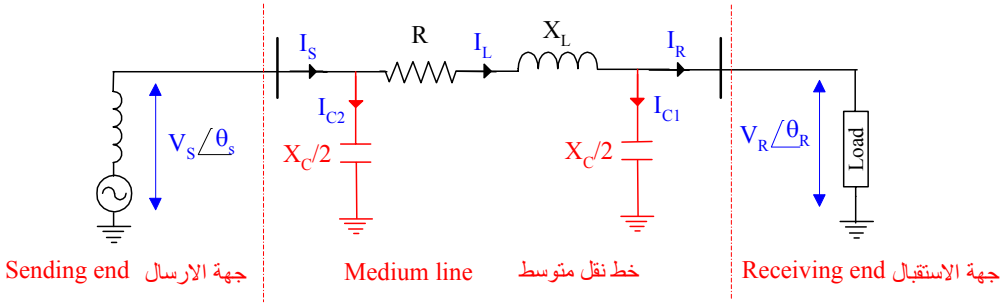
تتمثل هذه الطريقة لدراسة خطوط النقل المتوسطة في تقسيم المفاعلة السعوية إلى نصفين، حيث يوضع النصف الأول في بداية الخط عند الإرسال والنصف الثاني عند الاستقبال بينما تتركز المقاومة والمفاعلة الحثية في الوسط مما يعطي الدائرة المكافئة شكل Π كما يوضح الشكل ٥,١٣.

لن يكون للمفاعلة السعوية أي تأثير على هبوط الجهد عند الإرسال ولا على معامل التنظيم، غير أن تيار الشحن يضاف إلى تيار الخط لتحديد تيار الإرسال.



الشكل ٥,١٣ خط نقل متوسط ثلاثي الطور مجسم على طريقة Π (Π-Model)

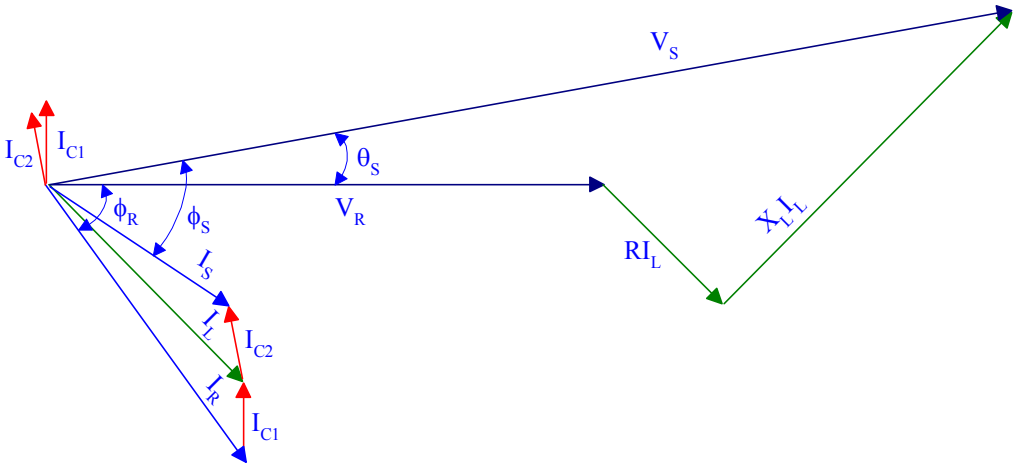
وإذا اعتبرنا الحمل متوازنا على الخط الثلاثي الطور فيمكننا اختصار هذه المنظومة بدائرة كهربائية مفردة كما يبينها الشكل ٥,١٤ .



الشكل٥,١٤: تمثيل خط النقل الثلاثي الطور بدائرة كهربائية مفردة على طريقة Π (Π-Model)

المخطط الاتجاهي للدائرة المكافئة للخط

يبين الشكل ٥,١٥ رسم المتجهات لخط نقل متوسط ممثلاً لطريقة Π .



الشكل ٥,١٥ : رسم المتجهات لخط نقل متوسط مجسم على طريقة Π (Π-Model)

كما هو مبين في الشكل ٥,١٥ ، تقاس الزوايا انطلاقا من الجهد عند الاستقبال حيث يعتبر هذا الأخير مرجع المتجهات. و من الواضح أن كل القيم المبينة في هذا الشكل هي للطور الواحد مع المحايد. ومن الشكلين ٥,١٤ و ٥,١٥ يمكن استنتاج معادلات الجهد والتيار عند الإرسال، كما يمكن حساب جهد الخط المحايد كما يتضح فيما يلي:

الجهد عند الإرسال

يكون تيار الخط مساوياً لمجموع تياري الاستقبال I_R والشحن عند طرف الاستقبال I_{c1} كما يلي:

$$I_L = I_R + I_{C1} \quad \text{.....(٥,٧٥)}$$

حيث إن تيار الشحن عند طرف الاستقبال يعطى من العلاقة التالية:

$$I_{C1} = \frac{Y}{2}V_R = \frac{j\varpi C}{2}V_R \quad \text{.....(٥,٧٦)}$$

أما تيار الشحن عند طرف الإرسال فيعطى من العلاقة:

$$I_{C2} = \frac{Y}{2}V_S = \frac{j\varpi C}{2}V_S \quad \text{.....(٥,٧٧)}$$

وحيث إن هبوط الجهد على الخط يساوي:

$$\Delta V = Z_L I_L = (R + jX_L) I_L \quad \text{.....(٥,٧٨)}$$

لذلك فإن الجهد عند الإرسال يحسب كالتالي:

بعد التعويض بالمعادلات (٥,٧٥ و ٥,٧٨)

$$V_S = V_R + \Delta V = V_R + Z_L I_L \quad \text{.....(٥,٧٩)}$$

$$V_S = V_R + Z_L (I_R + I_{C1}) \quad \text{.....(٥,٨٠)}$$

وبالتعويض عن I_{c1} من (٥,٧٦)

$$V_S = V_R + Z_L (I_R + \frac{Y}{2} V_R) \quad \text{.....(٥,٨١)}$$

يصبح جهد الإرسال

$$V_S = (1 + \frac{Z_L Y}{2}) V_R + Z_L I_R \quad \text{.....(٥,٨٢)}$$

أما التيار عند الإرسال فيحسب كالتالي:

$$I_S = I_L + I_{C2} = I_R + I_{C1} + I_{C2} \quad \text{.....(٥,٨٣)}$$

وبالتعويض عن المعادلات (٥,٧٥ و ٥,٧٦ و ٥,٧٧) يصبح كالتالي

$$I_S = I_R + \frac{Y}{2} V_R + \frac{Y}{2} V_S \quad \text{.....(٥,٨٤)}$$

وبعد تعويض V_S بقيمتها من المعادلة (٥,٨٢) يصبح التيار كما يلي:

$$I_S = I_R + \frac{Y}{2} V_R + \frac{Y}{2}\left[(1 + \frac{YZ_L}{2}) V_R + Z I_R \right] \quad \text{.....(٥,٨٥)}$$

وبعد ترتيب الحدود والاختصارات نحصل على تيار الإرسال في صيغته النهائية:

$$I_S = Y(1 + \frac{YZ_L}{4}) V_R + (1 + \frac{YZ_L}{2}) I_R \quad \text{.....(٥,٨٦)}$$

معامل التنظيم لجهد الخط: Voltage Regulation of line

وهو النسبة المئوية بين فرق الجهد عند الإرسال والاستقبال، وجهد الاستقبال:

$$\Delta V(\%) = \frac{V_S - V_R}{V_R} \times 100 \quad \text{.....(٥,٨٧)}$$

القدرة المفقودة على الخط: Power losses of the line

تتسبب كل من المقاومة و المفاعلة للخط في فقدان كمية كبيرة من القدرة الفعالة والمفاعلة، خاصة عندما يكون جهد النقل منخفضا. وذلك نظراً لوجود علاقة طردية بين القدرة المفقودة ومربع التيار. كما يتم تبادل كمية كبيرة من القدرة المفاعلة السعوية أو الحثية و ذلك حسب خصائص الخط. تنقسم هذه القدرة المفاعلة إلى حثية وسعوية. حيث تكون المفاعلة الحثية X_L مصدراً للقدرة المفاعلة الحثية على الخط و تكون المفاعلة السعوية مصدراً للقدرة المفاعلة السعوية. وتوضح المعادلات التالية كيفية حساب القدرة الفعالة P المفقودة في الخط وكذلك القدرة المفاعلة المتبادلة عبر خط النقل.

القدرة الفعالة المفقودة في الخط $P_{loss}(W)$:

$$P_{Loss} = 3RI_L^2 \quad \text{.....} \quad (٥,٨٨)$$

$$P_{Loss} = P_S - P_R \quad \text{.....} \quad (٥,٨٩)$$

القدرة المفعالة المتبادلة على الخط $Q_{loss}(VAR)$:

$$Q_{Loss} = Q_S - Q_R \quad \text{.....} \quad (٥,٩٠)$$

وللتقليل من القدرة المفقودة، يتم رفع الجهد على خطوط النقل كلما زاد طول الخط وذلك لخفض التيار في حدود الإمكانات الاقتصادية لتكلفة النقل.

القدرة عند الإرسال وعند الاستقبال:

إذا كان الحمل متوازنا بين الأطوار الثلاثة تكون القدرة الظاهرية عند الإرسال $S_S(VA)$ تعادل ثلاث مرات قيمتها لكل طور:

$$S_S = 3V_S I_S^* \quad \text{.....} \quad (٥,٩١)$$

كما يمكننا استخلاص القدرة الفعالة $P_S(W)$ والمفاعلة $Q_S(VAR)$ عند الإرسال مباشرة من القدرة الظاهرية:

$$S_S = P_S + jQ_S \quad \text{.....} \quad (٥,٩٢)$$

كذلك بالنسبة للقدرة الظاهرية $S_R(VA)$ و القدرة الفعالة $P_R(W)$ والمفاعلة $Q_R(VAR)$ عند الاستقبال :

$$S_R = 3V_R I_R^* \quad \text{.....} \quad (٥,٩٣)$$

$$S_R = P_R + jQ_R \quad \text{.....} \quad (٥,٩٤)$$

كما يمكننا حساب القدرة الفعالة $P_s(W)$ والمفاعلة $Q_s(VAR)$ عن طريق معامل القدرة وبالاستعانة بمثلث القدرة فإن القدرة الفعالة والمفاعلة عند الإرسال تصبح:

$$P_S = 3V_S I_S \cos\phi_S \quad \text{.....} \quad (٥,٩٥)$$

$$Q_S = 3V_S I_S \sin\phi_S \quad \text{.....} \quad (٥,٩٦)$$

وبالتالي فإن القدرة الظاهرية تصبح

$$S_S = 3V_S I_S = \sqrt{3}U_S I_S = \frac{P_S}{\cos\phi_S} = \frac{Q_S}{\sin\phi_S} \quad \text{.....} \quad (٥,٩٧)$$

وكذلك فإن القدرة الفعالة والمفاعلة عند الاستقبال فتحسب كالتالي:

$$P_R = 3V_R I_R \cos\phi_R \quad \text{.....} \quad (٥,٩٨)$$

$$Q_R = 3V_R I_R \sin\phi_R \quad \text{.....} \quad (٥,٩٩)$$

$$S_R = 3V_R I_R = \sqrt{3}U_R I_R = \frac{P_R}{\cos\phi_R} = \frac{Q_R}{\sin\phi_R} \quad \text{.....} \quad (٥,١٠٠)$$

كفاءة خط النقل Efficiency of transmission line

تمثل كفاءة خط النقل نسبة بين القدرة الفعالة المنقولة على الخط والتي تصل للمستهلك، على القدر ة الفعالة المولدة عند الإرسال وذلك كالتالي:

$$\eta(\%) = \frac{P_R}{P_S} \times 100 \quad \text{.....} \quad (٥,١٠١)$$

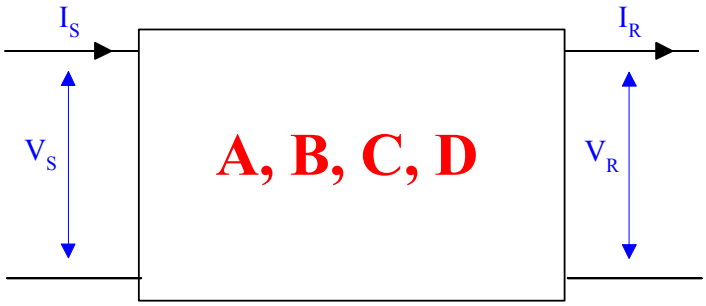
ثوابت الدائرة المكافئة لخط النقل Generalized Circuit Constants of Transmission Line

يمكننا اختصار الدائرة الكهربائية المكافئة لخط النقل بنظام ذي دخلين وهما الجهد والتيار عند الإرسال وخرجين وهما الجهد والتيار عند الاستقبال لكل طور، حيث تكون العلاقة بينهما كالتالي:

$$V_S = AV_R + BI_R \quad \text{.....} \quad (٥,١٠٢)$$

$$I_S = CV_R + DI_R \quad \text{.....} \quad (٥,١٠٣)$$

حيث A, B, C, D تعرف باسم الثوابت العامة لخط النقل. تتغير قيمة هذه الثوابت حسب طريقة التوصيلات المستخدمة في دراسة خط النقل. ويمكن الرجوع للمعادلات السابقة لكل نوع من أنواع خطوط النقل لتحديد هذه الثوابت من معادلات الجهد والتيار عند الاستقبال. ويبين الشكل ٥,١٦ الثوابت العامة لخط النقل و كيفية الربط بين الإرسال والاستقبال.



الشكل ٥,١٦ : الثوابت العامة لخط النقل

خط نقل متوسط ممثل على طريقة T

من جهد الإرسال (المعادلة ٥,٥٦) وتيار الإرسال (المعادلة ٥,٥٩) وبترتيب المعاملات على شكل المعادلتين السابقة (٥,١٠٢ و ٥,١٠٣)، نستطيع أن نحدد ثوابت الخط A و B وC و D كما يلي:

$$V_S = \left(1 + \frac{Z_L Y}{2}\right) V_R + Z_L \left(1 + \frac{Z_L Y}{4}\right) I_R \quad \text{.....} \quad (٥,٥٦)$$

$$I_S = YV_R + \left(1 + \frac{YZ_L}{2}\right) I_R \quad \text{.....}$$

(٥,٥٩)

$$A = D = 1 + \frac{Z_L Y}{2} \quad \text{.....} \quad (٥,١٠٤)$$

$$B = Z_L \left(1 + \frac{Z_L Y}{4}\right) \quad \text{.....}$$

(٥,١٠٥)

$$C = Y \quad \text{.....}$$

(٥,١٠٦)

ونلاحظ أن ضرب المعاملات AD و BC وطرح الناتج، نحصل على رقم ١ : $AD - BC = 1$ .....(٥,١٠٧)

خط نقل متوسط ممثل على طريقة Π

وبنفس الوضع السابق للخط T نستطيع أن نحصل على ثوابت الخط من المعادلتين ٥,٨٢ و٥,٨٦ :

$$V_S = \left(1 + \frac{Z_L Y}{2}\right) V_R + Z_L I_R \quad \text{.....} \quad (٥,٨٢)$$

$$I_S = Y\left(1 + \frac{YZ_L}{4}\right) V_R + \left(1 + \frac{YZ_L}{2}\right) I_R \quad \text{.....}$$

(٥,٨٦)

$$A = D = 1 + \frac{Z_L Y}{2} \quad \text{.....} \quad (٥,١٠٨)$$

$$B = Z_L \quad \text{.....}$$

(٥,١٠٩)

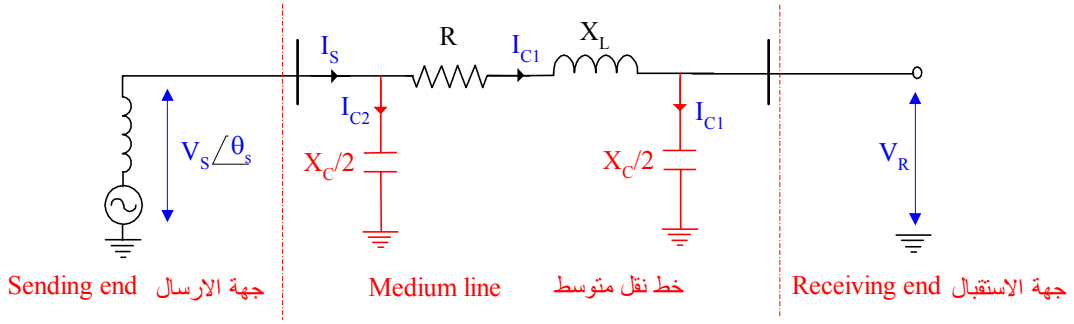
$$C = Y\left(1 + \frac{YZ_L}{2}\right) \quad \text{.....}$$

(٥,١١٠)

ومن الملاحظ مجددا أن : $AD - BC = 1$ .....(٥,١١١)

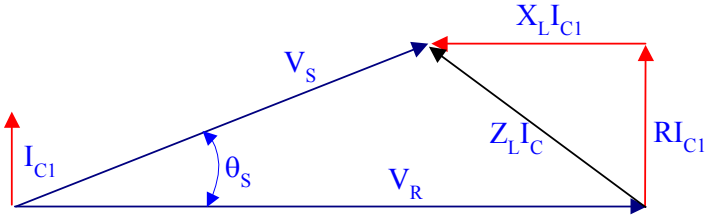
تيار الشحن والجهد عند الإرسال لخط نقل متوسط غير محمل

لخطوط النقل المتوسطة والطويلة مفاعلة سعوية عالية جدا تحدث تيار شحن متقدما عند جهة الإرسال وخاصة عندما تكون الدائرة غير محملة. وفي هذه الحالة يكون الجهد عند الاستقبال أكبر من جهد الإرسال. وهذه الظاهرة تعرف باسم ظاهرة فرانتي Ferranti Effect.



الشكل ٥,١٧: خط نقل متوسط غير محمل ممثل على طريقة Π (Π-Model)

ويمكن تمثيل ذلك بالرسم المتجه التالي:



الشكل ٥,١٨: الرسم المتجه لخط نقل متوسط غير محمل ممثل على طريقة Π (Π-Model)

فيكون حساب الجهد عند الإرسال كما يلي:

$$V_S = \sqrt{\left(V_R - X_L I_C\right)^2 + \left(RI_C\right)^2} \quad \text{.....(٥,١١٢)}$$

تمارين

٥,١ - خط نقل كهربائي قصير ثلاثي الطور، تردده f=٦٠Hz له مقاومة R=٥Ω ومحاثة L=٣٠mH يغذي حملاً متوازنا ثلاثي الطور P=١٠٠٠kW بمعامل قدرة ٠,٨ متأخر Lagging تحت جهد ١١kV بين الخط والخط عند الاستقبال. أوجد:

أ - الجهد عند الإرسال ومعامل القدرة.

ب - كفاءة خط النقل.

ج - معامل التنظيم.

د – ارسم المخطط الاتجاهي.

٥,٢ - خط نقل كهربائي هوائي ثلاثي الطور طوله ١٠٠Km والجهد بين الخطين عند الاستقبال U_R=١٣٢kV له الثوابت التالية:

- المقاومة لكل متر من كل طور = ٠,١٥ Ω = Resistance/km/phase
- المحاثة لكل متر من كل طور = ١,٢٠ mH = Inductance/km/phase
- السعة لكل متر من كل طور = ٠,٠١μF = Capacitance/km/phase

التردد Frequency f = ٦٠ Hz

أ - إذا مثلنا هذا الخط المتوسط بدائرة كهربائية على طريقة T (T-Method) وكان يغذي حملا ٧٢MW بمعامل قدرة p.f = ٠,٨ متأخر، أوجد ما يلي:

- الجهد عند الإرسال.
- التيار عند الإرسال.
- معامل القدر ة عند الإرسال.

ب - ارسم المخطط الاتجاهي لهذه الدائرة.

٥,٣ – خط نقل كهربائي هوائي ثلاثي الطور طوله ٢٠٠Km يغذي حملا P= ٤٠MW تحت جهد U_R=١٣٢kV بين الخطين وبمعامل قدرة ٠,٨ متأخر. وخواص الخط بين الطور و المحايد كالتالي:

- المقاومة = ١١ Ω = Resistance/phase
- المفاعلة الحثية = ٣٨ Ω = Inductive reactance/phase

-القبولية السعوية (المسامحة) = Capacitive susceptance/phase = ٣ x ١٠$^{-٤}$ siemens

التردد Frequency f = ٦٠ Hz

أ - إذا مثلنا هذا الخط المتوسط بدائرة كهربائية على طريقة Π (Π -Method) أوجد ما يلي:

- الجهد والتيار عند الإرسال
- معامل التنظيم
- معامل القدر ة عند الإرسال
- كفاءة خط النقل

ب - ارسم المخطط الاتجاهي لهذه الدائرة

ج – إذا فصل الحمل عن الخط أوجد الجهد والتيار عند الاستقبال مع اعتبار الجهد عند الإرسال ثابت.

المراجع

١. B.L.THERAJA, A.K. THERAJA " A Textbook of Electrical Technology", S. CHAND&COMPANY LTD.,New Delhi, ١٩٩٧.

٢. Olle I. Elgerd " Electric Energy Systems Theory" An Introduction , McGraw-Hill, New York, ١٩٨٢.

٣. Kundder, "Power system stability and control", McGraw-Hill, New York,١٩٩٤.

٤. Stevenson William D., "Elements of Power System Analysis", McGraw-Hill, ٤th ed., ١٩٨٩.

تمارين عامة للمنهج

١ - محطة للاتصالات اللاسلكية تعمل بالطاقة الشمسية لمدة ١٢ ساعة في اليوم ثم تتوقف عن العمل لبقية ساعات اليوم. تستهلك المحطة تياراً قدره I=٤A تحت جهد ٤٨V عند التشغيل. تقع المحطة في منطقة جبلية حيث متوسط تساقط الأشعة الشمسية في حدود ٨ ساعات في اليوم. ونظرا لأهمية الخدمة التي تؤديها هذه المحطة تم اعتماد معامل أمان بقيمة ١,٥ .

احسب:

أ - متوسط التيار المستهلك خلال ٢٤ ساعة

ب - التيار المطلوب لتشغيل المحطة

يستخدم في هذا المشروع لوحات شمسية ذات المواصفات التالية:

- ❖ تيار اللوحة= ١,٥A ❖ جهد اللوحة= ١٢V

ج - احسب عدد اللوحات الشمسية اللازمة لتوفير حاجيات المحطة من الطاقة الكهربائية.

د - ارسم الدائرة الكهربائية للمشروع مبينا كيفية توصيل اللوحات الشمسية.

(الحل:(أ) ٢A (ب) ٩A (ج) ٢٤ لوحة)

٢ - مولد كهربائي ثلاثي الطور موصل على شكل نجمة Y ، يغذي حملا P=١٠MW بمعامل قدرة P.F.=٠,٨٥ متأخر (Lag.) تحت جهد U=١١kV. المفاعلة التزامنية للمولد X_S=٠,٦٦Ω. أوجد جهد المولد في حالة اللاحمل دون تغير تيار الإثارة.

٣ - محطة توليد كهربائية تغذي مجموعة أحمال سنوية حسب المواصفات التالية:

- معامل الحمولة = ٣٠,٥٪
- الحمل الأقصى للمحطة خلال السنة = ١٨٠٠٠kW
- القيم القصوى للأحمال خلال السنة: ٢٨٠٠ kW, ٤٦٠٠kW, ٣٤٠٠kW, ٥٠٠٠kW, ٧٥٠٠kW

أ - أوجد الطاقة المنتجة سنويا في هذه المحطة

ب - أوجد معامل التباين لمجموع الأحمال. (الحل:(أ) ٤٨,٠٩x١٠^٦ kWh (ب) ١,٣)

٤ - محطة توليد تغذي أربعة مناطق حيث ذروة الحمولة لكل منطقة كالتالي: ١٠MW, ٥MW, ٨MW ٧MW. معامل التباين لهذه المحطة يساوي ١,٥ ومتوسط معامل الحمولة السنوي يساوي ٦٠٪. أوجد ما يلي:

أ - الطلب الأقصى للمحطة.

ب - القدرة المنتجة سنويا. (الحل:(أ) ٢٠MW (ب) ١٠٥,١٢x١٠^٦ kWh)

٥ - محطة توليد موصلة بمجموعة أحمال قيمتها الإجماليةkW٤٣٠٠٠ ، لكن الطلب الأقصى لا يتجاوز kW٢٠٠٠٠ والطاقة المنتجة سنويا في حدود kWh٦١٥٠٠٠٠٠. احسب مايلي:

أ) معامل الحمولة.

ب) معامل الطلب.

(الحل:(أ) ٤٦,٥٪ (ب) ٣٥,١٪)

٦ - إذا اعتبرنا جدول الاستهلاك التالي:

الفترة الزمنية خلال اليوم	القدرة المستهلكة
من ١٢ p.m. إلى ٦ a.m.	٢٠٠W
من ٦ a.m. إلى ١٢ noon	٣٠٠٠W
من ١٢ noon إلى ١ p.m.	١٠٠W
من ١ p.m. إلى ٤ p.m.	٤٠٠٠W
من ٤ p.m. إلى ٩ p.m.	٢٠٠٠W
من ٩ p.m. إلى ١٢ p.m.	١٠٠٠W

أ) أوجد معامل الحمولة

ب) احسب فاتورة الاستهلاك اليومية لهذا المستهلك حسب التعريفة ذات الشقين:

- تكلفة كل كيلو وات ساعة ٠,٠٥ ريال.
- تكلفة القدرة القصوى للطلب : ٠,٥ ريال لكل كيلووات.

(الحل: (أ) ٤٦,١٪)

الرموز Symbols

A : أمبير أو المساحة Ampere or area

C : السعة Capacitance

D : القطر ، المسافة Diameter, Distance

E : جهد الخلية الشمسية Voltage of cell

f : التردد Frequency

F : فراد Farad

G : المواصلة Conductance

H : الارتفاع ، الهنري، Head, Henry

I : التيار Current

j : القيمة التخيلية Vector operator

ε_o : سماحية الهواء Permittivity of air

ε_r : السماحية Relative permittivity

L : المحاثة Inductance

l : الطول Length

m : الكتلة Mass

N : السرعة Speed

P : القدرة الفعالة Active power

p : عدد الأقطاب في الآلات Number of poles

Q : القدرة المفاعلة ، Reactive power

R : المقاومة Resistance

r : الشعاع Radius

S : القدرة الظاهرية Apparent power

T : درجة الحرارة، الدورة Temperature, Cycle

V : جهد الطور Voltage per phase

U : جهد الخط Line to line Voltage

X : المفاعلة Reactance

Y : المسامحة Admittance

Z : المعاوقة Impedance

ω_m : سرعة الزاوية Angular Velocity

Ω : أوم Ohm

η : الكفاءة Efficiency

μ_o : قابلية النفاذ المغناطيسي Permeability

المحتويات

الفصل الأول: مصادر الطاقة الكهربائية ١

مقدمة ٢

الطاقات المتجددة ٣

الطاقة الشمسية ٣

الخلايا الفولت الضوئية ٣

كفاءة تحويل الطاقة عند الخلايا الشمسية ٥

توصيل الخلايا على التوالي وعلى التوازي ٦

كيفية استخدام الطاقة الشمسية ٦

طاقة الرياح ٩

طواحين الرياح (توربينات الهواء) ٩

الطاقة الكامنة في باطن الأرض (الطاقة الجوفية) ١١

طاقة المد والجزر ١٣

الطاقة المائية (الطاقة الكهرومائية) ١٤

الطاقات الغير متجددة ١٦

طاقة الوقود ١٦

تمارين تطبيقية ١٨

المراجع ٢١

الفصل الثاني: محطات التوليد الكهربائية ٢٢

المقدمة ٢٣

محطات توربينات البخار ٢٤

طريقة عمل المحطة ٢٤

الفرن ٢٥

توربين البخار ٢٥

المكثف ٢٧

المولد الكهربائي ٢٧

نظام التحكم في التردد والقدرة للمولد التزامني ٢٩
نظام التحكم في الجهد و معامل القدرة للمولد التزامني ٣٠
نظم الإثارة للمولدات التزامنية : ٣٢
اختيار موقع المحطة ٣٤
المميزات والعيوب ٣٤
محطات توربينات الغاز ٣٥
طريقة عمل المحطة ٣٥
وحدة التوربين والضغاط ٣٥
الحارق ٣٥
المولد الكهربائي ٣٧
مميزات وعيوب المحطات الغازية ٣٧
محطات الدورة المؤتلفة للبخار و الغاز ٣٨
محطات الديزل ٤٠
طريقة عمل المحطة ٤٠
مجالات استخدام محطات الديزل ٤٠
عناصر محطات الديزل ٤١
مميزات وعيوب محطات الديزل ٤٣
تمارين ٤٤
المراجع ٤٥
الفصل الثالث : الأحمال الكهربائية ٤٦
المقدمة ٤٧
الأنواع المختلفة للأحمال الكهربائية ٤٨
القيم النموذجية لمختلف الأحمال ٤٨
المعاملات المختلفة للأحمال الكهربائية ٥٠
متوسط الحمل (الطلب) ٥٠
الطلب الأقصى ٥٠
معامل الطلب ٥١

معامل الحمل ٥١
معامل التباين ٥٢
معامل التوافق ٥٢
معامل الاستخدام ٥٢
تباين الأحمال ٥٣
الطاقة المستهلكة ٥٣
استخدام الأحمال في تصميم شبكة التوزيع ٥٣
معاملات محطات القوى الكهربائية ٥٤
معامل سعة المحطة ٥٤
معامل الاحتياط ٥٤
معامل الاستفادة ٥٤
تمارين ٥٥
المراجع ٥٨
الفصل الرابع: تعريفة استهلاك القدرة الكهربائية ٥٩
المقدمة ٦٠
التعريفة المسطحة ٦١
كيفية حساب تكلفة الاستهلاك عن طريق التعريفة المسطحة ٦٢
التعريفة ذات الشقين ٦٣
كيفية حساب تكلفة الاستهلاك عن طريق التعريفة ذات الشقين ٦٣
التعريفة التصاعدية ٦٥
كيفية حساب تكلفة الاستهلاك عن طريق التعريفة التصاعدية ٦٥
التعريفة التصاعدية لمعامل القدرة ٦٧
الفصل الخامس: خطوط النقل الهوائية ٦٨
المقدمة ٦٩
خواص خط النقل ٧٠
المقاومة ومواصلة التوازي للخط ٧٠
محاثة الخط ٧٢

سعة الخط ٧٤
سعة الخطوط أحادية الموصل ثلاثية الطور ٧٤
خطوط النقل القصيرة ٧٦
رسم المخطط الاتجاهي للدائرة المكافئة للخط ٧٨
الجهد عند الإرسال ٧٩
القيمة التقريبية لهبوط الجهد وجهد الإرسال ٧٩
القيمة الفعلية لهبوط الجهد وجهد الإرسال باستخدام الأعداد المركبة ٧٩
معامل التنظيم لجهد الخط ٨٠
القدرة المفقودة على الخط ٨٠
القدرة عند الإرسال وعند الاستقبال ٨١
كفاءة خط النقل ٨١
خطوط النقل الهوائية المتوسطة ٨٤
الدائرة المكافئة لخط نقل قصير أو قريب من المتوسط ذات مفاعلة سعوية ٨٤
الدائرة المكافئة لخط نقل متوسط على طريقة **T (T - Method)** ٨٥
رسم المخطط الاتجاهي للدائرة المكافئة للخط ٨٦
الجهد عند الإرسال ٨٧
معامل التنظيم لجهد الخط ٨٧
القدرة المفقودة على الخط ٨٨
القدرة عند الإرسال وعند الاستقبال ٨٩
كفاءة خط النقل ٨٩
الدائرة المكافئة لخط نقل متوسط على طريقة **Π (Π - Method)** ٨٩
المخطط الاتجاهي للدائرة المكافئة للخط ٩١
الجهد عند الإرسال ٩١
معامل التنظيم لجهد الخط ٩٢
القدرة المفقودة على الخط ٩٢
القدرة عند الإرسال وعند الاستقبال ٩٣
كفاءة خط النقل ٩٤

ثوابت الدائرة المكافئة لخط النقل ٩٤
خط نقل متوسط ممثل على طريقة T ٩٤
خط نقل متوسط ممثل على طريقة Π ٩٥
تيار الشحن والجهد عند الإرسال لخط نقل متوسط غير محمل ٩٥
تمارين ٩٥
المراجع ٩٧
تمارين عامة للمنهج ٩٩
الرموز ١٠٤

تقدر المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني الدعم

المالي المقدم من شركة بي آيه إي سيستمز (العمليات) المحدودة

GOTEVOT appreciates the financial support provided by BAE SYSTEMS