آلات وأنظمة الطاقة الكهربائية

٣ - ١ تمهيد

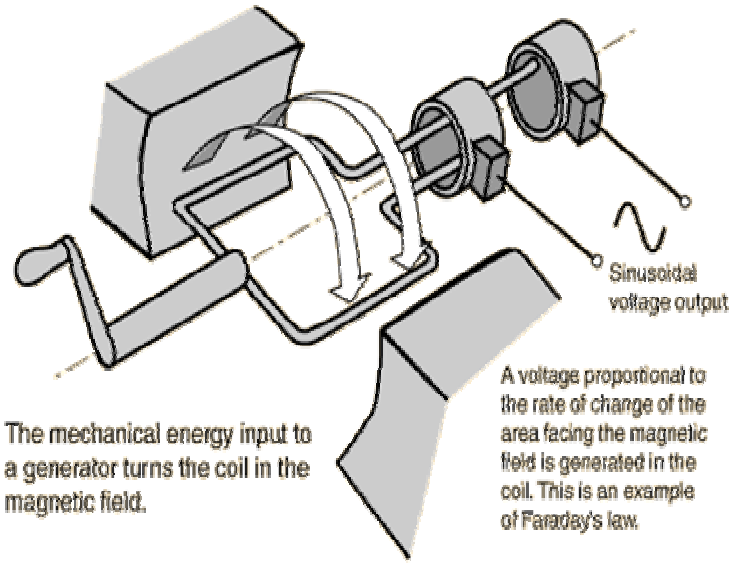
إن من أعظم الاختراعات التي اخترعها البشر على مدى تاريخهم هو اختراعهم للمولد الكهربائي حيث يقوم هذا الجهاز العجيب بتحويل مختلف أشكال الطاقة إلى شكل جديد لها لم يعهده البشر من قبل ألا وهي الطاقة الكهربائية. إن للطاقة الكهربائية خصائص غاية في العجب إلا أن عجب الناس بها قد زال مع مر السنين لطول إيلافهم إياها. فهذه الطاقة لا يمكن للبشر أن يدركوها بحواسهم أبدا ولا يمكن الكشف عن وجودها إلا من خلال الأجهزة التي تقيسها أو الأجهزة التي تعمل على تشغيلها. ولو قدر لأحد أن يقول لشخص لا علم له بوجود الكهرباء أبدا أن سلكا رفيعا ومعرى موصول بمصدر للطاقة الكهربائية سيقتله إذا ما لمسه بيده فإن هذا الشخص لا بد وأن يسخر منه فكيف يمكن لهذا السلك الساكن الذي لا حول له ولا قوة أن يقتله! ومن عجائب الطاقة الكهربائية أنه يمكن نقلها من خلال سلكين معدنيين لا يتجاوز قطر الواحد منها عدة ملليمترات ولأي مسافة نريدها من مصدر توليدها. أما سرعة نقل هذه الطاقة فتبلغ قريبا من سرعة الضوء أي ثلاثمائة ألف كيلومتر في الثانية فعلى سبيل المثال فعندما يقوم الشخص بكبس زر لتشغيل جهاز ما في بيته يعمل بالطاقة الكهربائية المتولدة من محطة توليد تقع على بعد ثلاثمائة كيلومتر فإن المولد الكهربائي سيحس بوجود حمل جديد عليه بعد مرور مللي ثانية تقريبا فيعمل على الفور بتوليد كمية الطاقة المطلوبة تماما وستصل هذه الطاقة لجهاز الشخص بعد مرور مللي ثانية أخرى. وفي المقابل نجد أن جميع أشكال الطاقة الأخرى غير الكهرباء تحتاج لوسائل نقل مختلفة وبسرعات نقل بطيئة وذلك لنقلها من أماكن توفرها إلى أماكن استهلاكها وعند وصولها تحتاج لأماكن لتخزينها بينما لا تحتاج الطاقة الكهربائية للتخزين بل تصل في لمح البصر حين تطلبها. ومن ميزات الطاقة الكهربائية أيضا إمكانية إنشاء المحطات الكهربائية حيث تتوفر مصادر الطاقة المختلفة وخاصة تلك التي لا يمكن نقل طاقتها إلى أماكن استخدامها كالطاقة الحركية في مياه الأنهار وطاقة المد والجزر والطاقة الحرارية في جوف الأرض وطاقة الرياح. وحتى في الأنواع التي يمكن نقلها كالفحم الحجري والبترول والغاز فإن كلفة نقلها بعد تحويلها إلى طاقة كهربائية قد تكون أقل من كلفة نقلها بشكلها الأصلي والذي يتطلب إنشاء شبكات طرق أو سكك حديدية أو مد أنابيب معدنية وكذلك توفير أعداد كبيرة من القطارات والشاحنات والصهاريج ومحطات الضخ إلى جانب توفير مستودعات ضخمة لتخزينها. أما المحطات الكهربائية التي تعمل على الطاقة الذرية فمن المفضل إقامتها في مناطق بعيدة عن التجمعات السكنية لتفادي خطر الإشعاعات المنبعثة من المفاعلات في حالة تعرضها للحوادث وبحيث تكون قريبة من مصادر المياه لحاجتها إليه في عمليات التبريد. ومن ميزات الطاقة الكهربائية أنه يمكن تحويلها إلى مختلف أشكال الطاقة الأخرى كالطاقة الضوئية لإنارة البيوت والمكاتب والشوارع والطاقة الحرارية للتدفئة وتسخين المياه والطبخ والطاقة الحركية لتشغيل مختلف أنواع الأجهزة والمعدات في البيوت والمصانع والمكاتب وحتى القاطرات والمركبات والطاقة الكيميائية كما في شحن البطاريات والطاقة الكهرومغناطيسية لتوليد مختلف أنواع الترددات في الطيف الكهرومغناطيسي لاستخدامها في نقل ومعالجة وتخزين مختلف أشكال المعلومات.

ومن ميزات مولدات الطاقة الكهربائية أنها لا تولد الطاقة إلا بالقدر الذي يحتاجه المستخدمون مضافا إليه بالطبع الطاقة المفقودة في خطوط النقل وهذا يعني أنه عندما يقوم المستهلك بكبس زر أحد مصابيح الإضاءة

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

فإن المولدات تحس بهذا الحمل وتقوم بإرسال كمية الطاقة المطلوبة دون زيادة أو نقصان. ويتم تحويل الطاقة الكهربائية عند أماكن استهلاكها إلى مختلف أشكال الطاقة الأخرى باستخدام مختلف أنواع الأجهزة الكهربائية. ففي أنظمة الإنارة يتم استخدام أنواع مختلفة من المصابيح الكهربائية لتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ضوئية باستخدام مصابيح التنجستون ذات الكفاءة المتدنية ومصابيح الغاز ذات الكفاءة المتوسطة ومصابيح توفير الطاقة ذات الكفاءة العالية. وفي أنظمة تسخين المياه وتدفئة المنازل والمكاتب يتم استخدام المقاومات الكهربائية لتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية بكفاءة تصل إلى مائة بالمائة. ويتم تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة كيميائية عند شحن البطاريات القابلة للشحن حيث تستخدم هذه البطاريات في مجالات مختلفة كما في المركبات والراديوات والمسجلات والهواتف الخلوية والحواسيب المحمولة وغيرها. وباستخدام الأجهزة الإلكترونية يتم تحويل الطاقة الكهربائية إلى موجات كهرومغناطيسية تمتد على نطاق واسع من الترددات والتي تستخدم في مختلف أنظمة الاتصالات والحواسيب والتحكم والرادارات والليزرات وفي تشخيص ومعالجة الأمراض باستخدام مختلف أنواع الأجهزة الطبية. وباستخدام الملفات الكهربائية يتم تحويلها إلى مجالات مغناطيسية تلزم لتشغيل كثير من الأجهزة والمعدات كما في التلفزيونات وراسمات الذبذبات والمسارعات والمغناطيسات الكهربائية التي تستخدم في تطبيقات لا حصر لها كما في الرافعات والصمامات والكوابح والمصاعد والقطارات المغناطيسية.

٣ - ٢ المولدات الكهربائية (Electric Generators)



يعود الفضل في استغلال الكهرباء لصالح البشر للفيزيائي والكيميائي الإنكليزي **ميشيل فارادي (Michael Faraday)** (١٧٩١-١٨٦٧م) الذي قام باختراع المولد الكهربائي في عام ١٨٣١م والذي يقوم بتحويل الطاقة الحركية إلى طاقة كهربائية. فقبل اختراع المولد الكهربائي كانت البطارية التي اخترعها فولتا في عام ١٨٠٠م هي المصدر الوحيد للطاقة الكهربائية المستمرة حيث تقوم بتحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية ولكن بكميات قليلة. أما المولد الكهربائي فإن بإمكانه توليد كميات كبيرة من الطاقة الكهربائية بسبب توفر الطاقة الميكانيكية بكثرة في الطبيعة كما في طاقة المياه والرياح أو من خلال المحركات الميكانيكية التي تعمل بشتى أنواع الوقود. لقد برز في ذهن فارادي سؤال بالغ الأهمية وهو إذا كان بإمكان التيار الكهربائي إنتاج مجال مغناطيسي حوله كما اكتشف ذلك أورستد في عام ١٨٢٠م فلما لا يكون بالإمكان إنتاج تيار كهربائي من المجال المغناطيسي. وفي عام ١٨٣١م تمكن فارادي من اكتشاف أشهر قوانين الكهربائية وهو قانون الحث الكهرومغناطيسي أو ما يسمى بقانون فارادي

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

والذي ينص على أن القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في أي دائرة كهربائية مغلقة مقاسة بالفولت تساوي معدل تغير الفيض المغناطيسي الذي يقطع تلك الدائرة مع الزمن. لقد توصل فارادي إلى هذا القانون من خلال التجربة فقد تبين له أنه عند تحريك قضيب مغناطيسي داخل ملف كهربائي فإن فرقا في الجهد يتولد بين طرفي السلك ووجد كذلك أنه عند تحريك سلك معدني أمام قضيب مغناطيسي فإن فرقا في الجهد يتولد بين طرفي السلك حيث يتناسب فرق الجهد المتولد طرديا مع شدة المجال المغناطيسي وسرعة حركة السلك في الاتجاه العامودي على اتجاه خطوط المجال المغناطيسي وكذلك طول السلك. وفي نفس العام تمكن فارادي من بناء أول نموذج مبسط للمولد الكهربائي سمي بقرص فارادي (**Faraday Disk**) وهو عبارة عن قرص دوار من النحاس مثبت بين قطبي مغناطيس طبيعي وعند تدوير القرص يدويا يتولد جهدا كهربائيا بين حافتيه ويتم تسليط هذا الجهد على دائرة خارجية من خلال سلكان يلامسان وينزلقان على حافتي القرص. لقد أثبت فارادي بهذه المولد البسيط إمكانية تحويل الطاقة الحركية إلى طاقة كهربائية ولكن أداء هذا المولد البسيط كان سيئا جدا لأن معظم الطاقة الكهربائية المولدة تضيع على شكل حرارة في القرص بسبب ما يسمى بالتيارات الدوامه (**eddy currents**). وفي عام ١٨٣٢م قام الفرنسي هبولايت بيكسي (**Hippolyte Pixii**) بتصنيع مولد تيار كهربائي متغير مبسط من خلال تحريك قطبي مغناطيس يدويا امام ملفين كهربائيين. وتوالت بعد ذلك المحاولات في كل من أوروبا وأميركا لتصنيع مولدات كهربائية عملية ولكنها لم تتكلل بالنجاح إلا بعد مرور أربعين عاما على اختراع المولد. وقد كان سبب هذا التأخير أن جهد العلماء والمهندسين قد انصب على تصنيع مولدات كهربائية تنتج تيارا مباشرا أو مستمرا (**Direct Current**) كالذي تنتجه البطارية وبما أن طبيعة التيار المتولد في داخل الملفات هو من النوع المتغير أو المتناوب (**Alternating Current**) كان من اللازم اختراع طريقة لتحويل التيار المتناوب إلى تيار ثابت وهذا الجهاز يسمى المبدل (**commutator**) هذا بالإضافة إلى مشاكل فنية كثيرة كان يلزم تخطيها لتصنيع مولد كهربائي بكفاءة عالية. وفي عام ١٨٧١م تمكن المهندس الكهربائي البلجيكي **زينوب جرامي** (**Zénobe Gramme**) من تصنيع مولد كهربائي مزود بمبدل لتوليد التيار المستمر وبكفاءة مقبوله بحيث بدأ التفكير في استخدام المولدات الكهربائية للأغراض التجارية. ولقد اكتشف جرامي بالصدفة أن مولده الكهربائي هذا يمكن أن يعمل كمحرك كهربائي من خلال تسليط جهد كهربائي بتيار مباشر عليه فانتشر استخدام هذه الآلة كمولد كهربائي وكمحرك كهربائي. ولقد تم استخدام المغناطيس الكهربائي بدلا من المغناطيس الطبيعي في المولدات والمحركات الكهربائية الكبيرة فيما بعد ويعزى الفضل في هذه الفكرة إلى المخترع الهنغاري أنيوس جدلك (**Ányos Jedlik**). وبعد اختراع المصباح الكهربائي (**electric lamp**) على يد رجل الأعمال والمخترع الأمريكي الشهير توماس أديسون (**Thomas Alva Edison**) في عام ١٨٧٩م وتأسيسه لشركة لتوليد وتوزيع الكهرباء لأغراض الإنارة في عام ١٨٨٠م طرأت تحسينات كثيرة على المولدات الكهربائية لرفع كفاءتها. وخلال سنوات قليلة أنشأت شركة أديسون مئات الشبكات في المدن الأمريكية لتزويدهم بالكهرباء ذات التيار المباشر لأغراض الإنارة ولكن كانت هذه الشبكات تعاني من مشكلة كبيرة جدا وهي أن المسافة القصوى لخطوط النقل لا تتجاوز عدة كيلومترات بسبب أن الجهد الكهربائي ينخفض بشكل كبير إلى قيم لا يمكنها تشغيل المصابيح الكهربائية. وبعد أن اقترح المهندس الكهربائي المشهور الصربي المولد والأمريكي المنشأ نيكولا تسلا (**Nikola Tesla**) (١٨٥٦-١٩٤٣م) استخدام التيار المتناوب بدلا من التيار المباشر في توليد ونقل الطاقة الكهربائية بدأ الاهتمام بتصنيع مولدات التيار المتناوب والتي تبين أنها أبسط تركيبا من مولدات التيار المباشر لعدم حاجتها للمبدلات المعقدة. وفي غضون سنوات قليلة تمكن المخترعون

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

في أوروبا وأمريكا من تصنيع عدة مولدات عملية لتوليد التيار المتناوب منهم المهندس الإنكليزي سيبستيان فيرناتي (**Sebastiani de Ferranti**) والمهندس الألماني الشهير إيرنست سيمنز (**Earnst Siemens**). وفي عام ١٨٨٦م قام رجل الأعمال والمخترع الأمريكي جورج وستنغهاوس (**George Westinghouse**) بإنشاء شبكة لتوليد وتوزيع الكهرباء ذات التيار المتناوب وقد تم استخدام المحولات الكهربائية لرفع الجهد الذي يولده المولد من خمسمائة فولت إلى ثلاثة آلاف فولت ونقله لمسافات بعيدة ومن ثم تخفيضه لمائة فولت عند المستهلك لتشغيل المصابيح الكهربائية وبهذا تغلب على مشكلة النقل التي تعاني منها أنظمة التيار المباشر التي تبناها أديسون والتي لا يمكن فيها استخدام المحولات لرفع الجهد. وفي هذه الفترة بدأت منافسة شديدة بين شركتي أديسون ووستنغهاوس وظهر بينهم ما يسمى بحرب التيارات (**War of currents**) وذلك لإثبات أي النظامين أفضل لتبنيه في أنظمة توليد ونقل الطاقة الكهربائية. وكان النصر بعد عدة سنوات لصالح وستنغهاوس وذلك بفضل المهندس الكهربائي المشهور نيكولا تسلا (**Nikola Tesla**) والذي تمكن في عام ١٨٨٣م من اختراع محرك يعمل بالتيار المتناوب كبديل عن محرك التيار المباشر وهو محرك الحث (**induction motor**). وقد تمكنت شركة وستنغهاوس بمساعدة تسلا واختراعاته الكثيرة والتي قامت بشراء معظمها من بناء أول محطة توليد كهرومائية على شلالات نياغرا في عام ١٨٨٩م ونقل طاقتها باستخدام نظام النقل متعدد الأطوار (**poly phase**) لمسافة أربعين كيلومتر إلى مدينة بافالو. وبعد هذا النصر الكبير لوستنغهاوس اضطر أديسون للتحول لأنظمة توليد ونقل التيار المتناوب بعد أن دمج شركته في شركة (**General Electric**) المعروفة وقد تم اعتماد تردد التيار في هذه الأنظمة ليكون ستين هيرتز في أميركا وخمسين هيرتز في أوروبا. وفي عام ١٨٨٨م تمكن المهندس الروسي ميخائيل دوبروفولسكي (**Mikhail Dolivo-Dobrovolsky**) من اختراع المولدات وكذلك المحركات ثلاثية الأطوار.

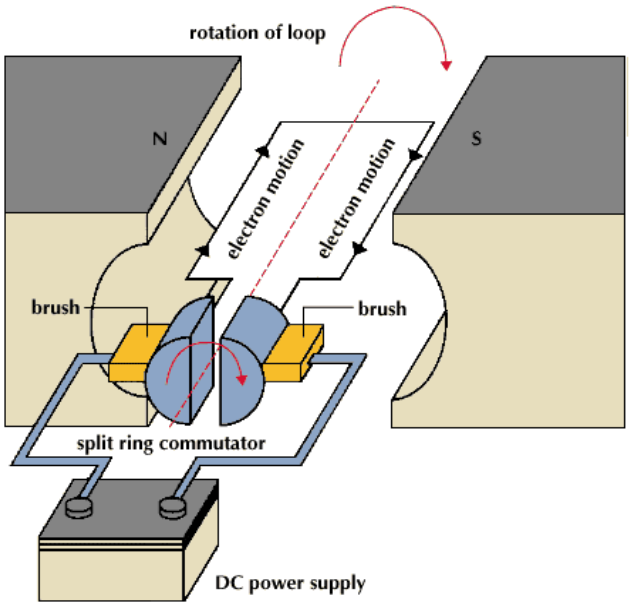
يقوم عمل المولد الكهربائي على مبدأ بسيط وهو أنه عند تحريك سلك معدني وعادة ما يكون من النحاس في مجال مغناطيسي ثابت فإنه سيتولد عند طرفي السلك قوة دافعة كهربائية تتناسب قيمتها مع سرعة حركة السلك وطوله المعرض للمجال وكذلك شدة المجال المغناطيسي. ويمكن أن نحصل على نفس مقدار القوة الدافعة الكهربائية إذا ما تم تثبيت السلك وتحريك مغناطيس دائم أمامه بنفس السرعة. وبناءا على هذا المبدأ فإن تركيب المولد الكهربائي يأتي على شكلين لا ثالث لهما ففي الشكل الأول يتم لف السلك النحاسي الذي يتولد فيه الجهد على شكل ملفات كهربائية داخل أخاديد محفورة في السطح الداخلي لأسطوانة حديدية ساكنة تسمى العضو الساكن (**stator**) ووضع عدد من المغناطيسات الطبيعية أو الكهربائية على السطح الخارجي لأسطوانة حديدية تسمى العضو الدوار (**rotator**) بحيث يكون عدد الملفات مساويا لعدد الأقطاب المغناطيسية أو من مضاعفاتها ويتم وضع الجزء الدوار داخل الاسطوانات الثابتة بعد تثبيته على محاور دورانه. أما الشكل الثاني فهو على عكس الشكل الأول حيث يتم وضع السلك النحاسي الذي يتولد فيه الجهد في الجزء الدوار والمغناطيسات الدائمة أو الكهربائية في الجزء الساكن. وعند

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

تدوير الجزء الدوار بمحرك ميكانيكي وبسرعة ثابتة فإن مرور المجال المغناطيسي أمام الملفات النحاسية أو العكس سيولد جهدا كهربائيا بين أطراف الملفات طبقا لقانون فارادي المشهور. إن الشكل الأول للمولد الكهربائي هو الأسهل في التصميم والأكفأ في الأداء من الشكل الثاني وذلك بسبب وجود الملفات المولدة للطاقة الكهربائية في الجزء الساكن وعليه فمن السهل وضع عدد كبير من هذه الملفات المكونة من أسلاك طويلة لتوليد فرق الجهد المطلوب وذات مقاطع كبيرة لتقليل مقاومتها وبالتالي تقليل كمية الحرارة المتولدة من التيارات الكبيرة التي تحملها وكذلك سهولة تبريدها وسهولة أخذ الطاقة الكهربائية المتولدة منها. ولهذه الأسباب فإن هذا الشكل هو المستخدم بدون استثناء في مولدات التيار المتناوب أما الشكل الثاني فعلى الرغم من صعوبة تصميمة وتدني كفاءته إلا أنه يستخدم في مولدات التيار المباشر وذلك لأن طريقة عمل المبدل الذي يقوم بتحويل التيار المتناوب الذي تولده الملفات إلى تيار مباشر تتطلب وجوده ووجود الملفات على العضو الدوار. وفي الشكل الأول يتم تزويد المغناطيسات الكهربائية الموجودة على العضو الدوار بالتيار المباشر اللازم من خلال حلقات الإنزلاق **(slip rings)** والفحمات المثبتة عليها. ويوجد نوعين من مولدات التيار المتناوب الدارجة من حيث عدد الأطوار وهي أحادية الطور **(single phase)** وفيها يتساوى عدد الملفات الكهربائية المثبتة على العضو الساكن مع عدد الأقطاب المغناطيسية المثبتة على العضو الدوار وثلاثية الأطوار **(three phase)** وفيها يبلغ عدد الملفات الكهربائية المثبتة على العضو الساكن ثلاثة أضعاف عدد الأقطاب المغناطيسية المثبتة على العضو الدوار. ويتم تحديد عدد الأقطاب المغناطيسية في المولدات المتناوبة بناءا على التردد المستخدم والسرعة المراد تدوير العضو الدوار عليها فعلى سبيل المثال فلتوليد جهد بتردد خمسين هيرتز يلزم أن تكون سرعة الدوران ٣٠٠٠ دورة في الدقيقة في حالة القطبين و١٥٠٠ دورة في الدقيقة في حالة أربعة أقطاب و ١٠٠٠ دورة في الدقيقة في حالة ستة أقطاب وهكذا يمكن تقليل سرعة الدوران من خلال زيادة عدد الأقطاب لتتوافق سرعة المولد مع سرعة المحرك الميكانيكي الذي يديره.

٣ - ٣ المحركات الكهربائية (Electric Motors)

إن من أهم ميزات الطاقة الكهربائية هو سهولة تحويلها إلى مختلف أشكال الطاقة وعلى الوجه الخصوص الطاقة الميكانيكية والتي هي أكثر أشكال الطاقة التي يحتاجها الإنسان لإنجاز أعماله المختلفة. إن الجهاز الذي يقوم بتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية هو المحرك الكهربائي. لقد أحدثت المحركات الكهربائية ثورة في مختلف مجالات الحياة لا تقل بل تزيد عن الثورة التي أحدثتها المحركات الميكانيكية وخاصة محرك الاحتراق الداخلي **(internal combustion engine)**



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

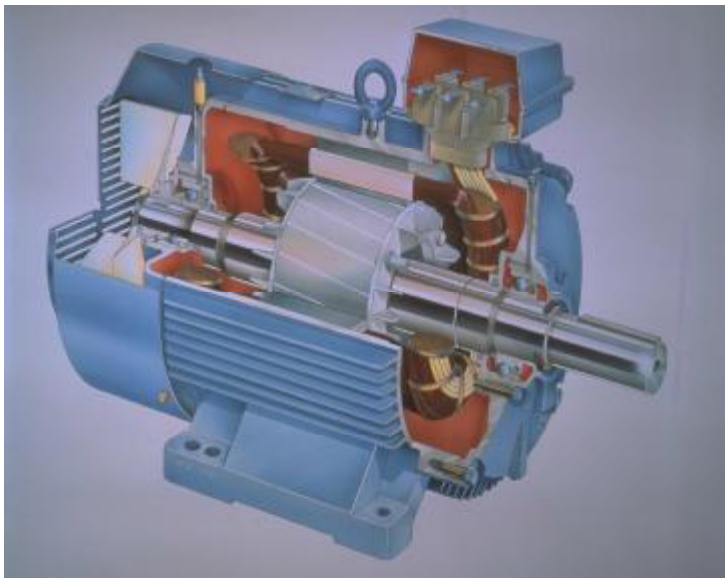
وذلك بسبب ميزاته المتعددة بالمقارنة معه. تتميز المحركات الكهربائية بإمكانية تصنيعها بأحجام وقدرات تتراوح من الصغيرة جدا والتي يمكن وضعها في الساعات إلى الكبيرة جدا والتي تستخدم كمحركات في القطارات والسفن والرافعات العملاقة وفي الصناعات بمختلف أنواعها. وتتميز كذلك بإمكانية تصنيعها لتدور بسرعات غاية في التفاوت وكذلك بإمكانية التحكم بسرعة دورانها بدقة عالية جدا مما أدى إلى تجنب استخدام أنظمة التروس المعقدة المستخدمة في المحركات الميكانيكية. وتتميز أيضا بكفاءتها التحويلية العالية التي تزيد في معظم أنواعها عن التسعين بالمائة وهذه الميزة لا تقلل فقط كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة بل تقلل من كمية الحرارة المتولدة فيها مما يشجع على وضعها في مختلف أنواع الأجهزة والمصانع دون الخوف من تسببها في إحداث الحرائق. ومن ميزاتها الأخرى طول عمرها التشغيلي وانخفاض ضجيجها وقلة الحاجة لصيانتها وعدم خروج أية عوادم منها. وقد ظهرت للوجود مع اختراع المحرك الكهربائي أجهزة ومعدات لا حصر لعدد أنواعها وما كان للمهندسين أن يفكروا في اختراع مثل هذه الأجهزة بدون وجود المحرك الكهربائي. ففي المنازل تم استخدام المحرك الكهربائي في الثلاجات والغسالات والمكانس والجلايات والخلاطات والشوايات ومجهزات الطعام فقللت بذلك الجهد البدني الذي كانت تبذله ربات البيوت للقيام بمثل هذه المهمات. وتم كذلك استخدامه في البيوت والمكاتب والمصانع لتوفير الأجواء المناسبة والمريحة داخلها من خلال تشغيل المكيفات والمدفئات والمراوح والشفاطات ومضخات المياه. وبسبب استخدامه كمحرك في المصاعد الكهربائية توجه البشر لبناء البنايات متعددة الطبقات التي وفرت عليهم مساحات واسعة من الأراضي وأصبح بالإمكان بناء ناطحات السحاب التي قد يزيد عدد طوابقها عن المائة وارتفاعها عن الخمسمائة متر. وباستخدام المحرك الكهربائي تم استغلال ما تحت سطح الأرض في المدن الكبرى لإنشاء شبكات كبيرة من الأنفاق الأرضية لنقل الركاب باستخدام القطارات الكهربائية ولو استخدمت محركات الاحتراق الداخلي بدلا منها لاختنق الركاب من استنشاق عوادمها. ونتيجة للتلوث الكبير لأجواء المدن من عوادم السيارات والمركبات التي تسير في شوارعها بأعداد ضخمة فإن الأمل معقود على السيارات الكهربائية للتخلص من هذه المشكلة. وسيكون المحرك الكهربائي بديلا لمحرك الاحتراق الداخلي في السيارات والمركبات عاجلا أما آجلا وذلك بسبب الارتفاع المضطرد لأسعار المشتقات البترولية نتيجة لتناقص احتياطات البترول في العالم وذلك بسبب كفاءته العالية. ولقد عمل المحرك الكهربائي على تحويل مختلف أنواع المصانع إلى مصانع آلية تعمل على مدار اليوم حيث حلت هذه المحركات الصغيرة محل الإنسان أو المحركات الميكانيكية الكبيرة الحجم فتعددت مهام هذه المصانع وتقلصت أحجامها وزادت كميات إنتاجها. وبفضل المحركات الكهربائية أصبحت السيارات والمركبات أكثر رفاهية حيث تستخدم الأزرار في التحكم بكثير من أجزائها كالأبواب والشبابيك والمرايا والمقاعد والهوائيات وغيرها. وقد تم استخدام المحركات الكهربائية في تشغيل مختلف أنواع الأجهزة والمعدات الحديثة التي ظهرت مع ظهور هذه المحركات كالمسجلات السمعية والمرئية ومحركات أقراص الحواسيب المغناطيسية والضوئية والطابعات بمختلف أنواعها والروبوتات الصناعية والعادية والألعاب.

إن مبدأ عمل المحرك الكهربائي هو على العكس من مبدأ عمل المولد الكهربائي فعند تمرير تيار كهربائي في سلك موجود في مجال مغناطيسي ثابت فإن قوة ميكانيكية ستؤثر على السلك فتدفعه للحركة وبهذا فإنه بالإمكان تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حركية. وقد تم إثبات مبدأ عمل المحرك الكهربائي في عام ١٨٢١م وذلك على يد الفيزيائي الإنكليزي ميشيل فارادي حيث قام ببناء محرك بسيط وهو عبارة عن سلك نحاسي مدلى ومغموس في وعاء مملوء بالزئبق (يمكن استخدام محلول الملح بدلا من الزئبق) وفي وسط

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

الوعاء يوجد مغناطيس دائم وعند تمرير تيار كهربائي في الدائرة المكونة من السلك والزئبق فإن السلك يبدأ بالدوران حول المغناطيس. وفي عام ١٨٢٨م تمكن المخترع الهنغاري أنيوس جـدلك (**Ányos Jedlik**) مـن تصنيع محرك كهربائي أقرب في الشكل للمحركات الحديثة واستخدم فيه المغناطيس الكهربـائي بـدلا مـن المغناطيس الدائم. وفي عام ١٨٣٢م تمكن الفيزيائي الإنكليزي وليم ستيرجن (**William Sturgeon**) والـذي سبق له ان اخترع المغنـاطيس الكهربـائي مـن تـصنيع أول محـرك كهربـائي عملـي مـزود بمبـدل (commutator). وبسبب عدم توفر طاقة كهربائية كافية لتشغيل مثل هذه المحركات الكهربائية حيث لم يـتم تصنيع المولدات الكهربائية بعد فقد قل الاهتمام بتطوير المحركات الكهربائية لفترة طويلة من الـزمن. ولقـد تجدد الاهتمام بها في عام ١٨٧١م بعد أن تمكن المهندس الكهربائي البلجيكـي **زينـوب جرامـي** (**Zénobe Théophile Gramme**) من تصنيع مولد كهربائي عملي ولقد اكتشف جرامي بالصدفة فـي عـام ١٨٧٣م أن مولده الكهربائي الذي يولد التيار المباشر يمكن أن يعمل كمحرك كهربائي من خلال تسليط جهـد كهربـائي بتيار مباشر عليه فانتشر استخدام هذه الآلة كمولد كهربائي وكمحرك كهربائي. وفـي عـام ١٨٨٣م تمكـن المهندس الكهربائي الصربي المولد والأمريكي المنشأ نيكولا تسلا (**Nikola Tesla**) من اختراع محرك يعمـل بالتيار المتناوب كبديل عن محرك التيار المباشر وهو محرك الحث (**induction motor**). وفـي عـام ١٨٨٨م أيضا تمكن المهندس الروسي ميخائيل دوبروفولسكي (**Mikhail Dolivo-Dobrovolsky**) من اختراع المحركات الكهربائية ثلاثية الأطوار (**three-phase motors**).

لا يختلف تركيب المحرك الكهربائي كثيرا عن تركيب المولد الكهربائي فهـو مكـون مـن عـضو سـاكن (**stator**) وآخر دوار (**rotator**) ويتم وضع الملفات التي تولد المجال المغناطيسي وتلك التي يمرر فيهـا التيار في أخاديد محفورة في السطح الداخلي للعضو الساكن وفي السطح الخارجي للعضو الدوار وذلك حسب



نوع المحرك. ففي محركـات التيـار المباشر يتم وضع ملفات المغنـاطيس الكهربائي أو المغناطيسات الدائمة في العضو الساكن بينما توضع الملفـات الحاملة للتيار في العضو الدوار ويـتم تغذية ملفات العضو الدوار من خلال مبدل وفراشي فحمية مثبتـة عليـه. وتتميز محركـات التيـار المباشـر بسهولة التحكم بسرعتها علـى مـدى واسع من السرعات وذلك من خـلال التحكم بالتيـار المـار فـي ملفـات المغناطيس الكهربائي ولذلك تستخدم في التطبيقات التي تحتاج لسرعات متغيرة. وتتميز كذلك بسهولة تدويرها في الاتجاهين وقوة عزمها وسهولة المقايضة بين السرعة والعزم من خلال اختيار طريقـة توصـيل ملفـات المجال. ومن سيئاتها تعقيد تركيبها وحاجة المبدلات والفراشي الفحمية للصيانة المتكررة وكـذلك التـشويش على الأجهزة الكهربائية من حولها بسبب الشرارات الكهربائية التي يطلقها المبدل والفحمات. أمـا محركـات التيار المتناوب فهي على العكس من ذلك حيث يتم وضع الملفات الحاملة للتيار المتناوب في العضو الـساكن بينما يتم وضع ملفات المغناطيس الكهربائي أو المغناطيسات الدائمة في العضو الدوار ويـتم تغذيـة ملفـات

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

العضو الدوار من خلال حلقات الإنزلاق والفراشي الكربونية. وتنقسم محركات التيار المتناوب إلى نوعين رئيسين وهما المحركات المتزامنة (**synchronous motors**) ومحركات الحث (**induction motors**) وكلاهما يحتاج لكي يدور إلى ما يسمى بالمجال المغناطيسي الدوار (**rotating magnetic field**) كما اكتشف ذلك تسلا في عام ١٨٨٣م. ويمكن الحصول على مجال مغناطيسي دوار من خلال مجموعتين أو أكثر من الملفات المثبتة على العضو الساكن يتم تغذيتها بتيارات ذات أطوار مختلفة. وفي المحركات المتزامنة يوجد على العضو الدوار ملفات يتم تغذيتها بالتيار المباشر من خلال حلقات الإنزلاق والفراشي الكربونية لتوليد مغناطيسات كهربائية بعدد أقطاب يماثل عدد الملفات في العضو الساكن. ولا يمكن للمحركات المتزامنة أن تبدأ الدوران من تلقاء نفسها بل تحتاج إلى محرك خارجي لتدويرها وما أن تصل سرعة دورانها إلى سرعة الدوران التزامنية (**synchronous speed**) فإنها تبقى تدور بسرعة ثابتة بغض النظر عن الحمل المسلط عليها وذلك ضمن حدود قدرة المحرك. أما محركات الحث فإن العضو الدوار يحتوي على ملفات مغلقة لا تغذى بأي تيار كهربائي وبمجرد تسليط التيارات المتناوبة على ملفات العضو الساكن وتولد المجال المغناطيسي الدوار فيه فإن مجالا مغناطيسيا دوارا آخر سيتولد بالحث في ملفات العضو الدوار وعند تفاعل المجاليين الدواريين في العضوين يبدأ العضو الدوار بالدوران بسرعة تساوي سرعة دوران المجال المغناطيسي الدوار للعضو الساكن. ولتخفيض كلفة محرك الحث يتم في العادة استبدال ملفات العضو الدوار المغلقة بقضبان نحاسية بمقاطع كبيرة توضع بدون عزل في أخاديد على سطح العضو الدوار ويتم وصل أطراف هذه القضبان بحلقتين نحاسيتين مثبتتين عند طرفي جسم العضو الدوار ليكون شكل القضبان مع الحلقتين على شكل قفص السنجاب (**squirrel cage**). وعلى العكس من المحرك المتزامن فإن سرعة دوران محرك الحث يمكن أن تقل عن سرعة التزامن كلما زاد الحمل المسلط عليه. إن المجالات الدوارة لا تتولد كما ذكرنا آنفا إلا بواسطة ملفين أو أكثر يحملان تيارات بأطوار مختلفة ولهذا فإن الأصل أن محركات الحث لا تعمل إلا من خلال مصادر تيار متناوب ثنائية أو ثلاثية الأطوار ولكن من خلال تعديلات بسيطة في تركيب المحرك يمكن تصنيع محركات حث تعمل على مصادر أحادية الطور.

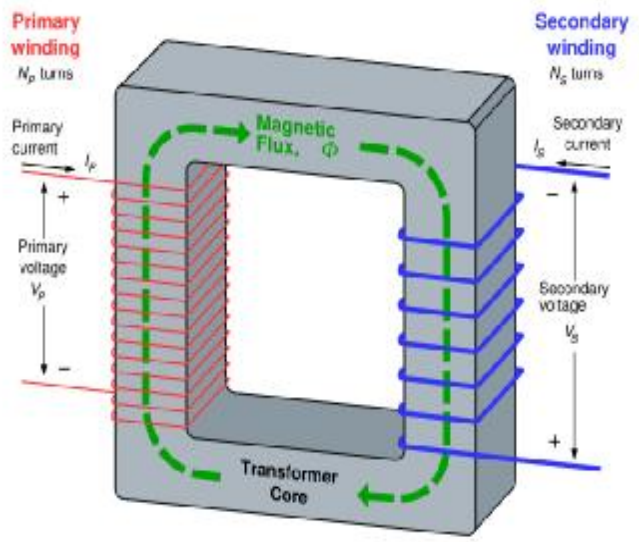
وفي هذه الحالة يلزم لتوليد مجال مغناطيسي دوار من مصدر أحادي الطور وجود ملف آخر مع الملف الرئيسي على العضو الساكن ومن خلال وصل مكثف على التوالي مع الملف الثانوي فإن طور التيار في الملف الثانوي سيكون مختلف عن ذلك الذي في الملف الرئيسي رغم أن الجهد المسلط عليهما واحد ويسمى هذا النوع من محركات الحث أحادية الطور بمحرك الحث منشطر الطور (**split-phase induction motor**). وغالبا ما يتم فصل الملف الثانوي بمجرد دوران المحرك وذلك بواسطة مفتاح ميكانيكي يعمل بالطرد المركزي وذلك لتوفير الطاقة. تتميز محركات التيار المتناوب وخاصة محركات الحث بسهولة تركيبها

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

ورخص أثمانها بالمقارنة مع محركات التيار المباشر إلا أن عيبها الأكبر هو صعوبة التحكم في سرعة دورانها في التطبيقات التي تحتاج لمثل هذا التحكم. تتحدد سرعة دوران هذه المحركات من تردد مصدر التيار المتناوب الذي يغذيها وعدد الأقطاب المغناطيسية حيث تتناسب طرديا مع التردد وعكسيا مع عدد الأقطاب وهي ثابتة تماما في المحركات المتزامنة وتقل قليلا عن سرعة التزامن في محركات الحث وذلك حسب الحمل الذي يديره المحرك. ويوجد عدة آليات للتغلب عل مشكلة التحكم في سرعة هذه المحركات منها استخدام مصدر تغذية بتردد يمكن التحكم به وبالتالي التحكم بسرعة المحرك ويتم الحصول على مصدر تيار بتردد متغير من مصدر تيار بتردد ثابت من خلال استخدام أجهزة إلكترونية تسمى محولات التردد (**variable-frequency drive**). وإلى جانب هذه الأنواع الرئيسية من المحركات يوجد أنواع خاصة من المحركات تصمم لتلبي حاجة بعض التطبيقات ومن أهمها ما يسمى بالمحركات الخطوية (**stepper motors**) والتي يمكن من خلالها تحريك العضو الدوار بشكل متقطع وعلى شكل خطوات أو قفزات تكون فيها الخطوة أقل بكثير من الدورة الكاملة . ويتكون المحرك الخطوي من عضو ساكن بعدد معين من الملفات ومن عضو متحرك قد يحتوي على عدد من المغناطيسات الدائمة أو بقلب حديدي مسنن بدون مغناطيسات ويمكن تحريك المحرك على شكل خطوات من خلال تغذية ملفات العضو الساكم بنبضات كهربائية بترتيب معين بحيث يغذى ملف واحد فقط من هذه الملفات في الوقت الواحد وغالبا ما يتم هذا من خلال المتحكمات الرقمية والحواسيب. وتستخدم مثل هذه المحركات في معظم خطوط الإنتاج في المصانع وفي مشغلات الأقراص في الحواسيب والرادارات وأنظمة التوجيه وغيرها الكثير.

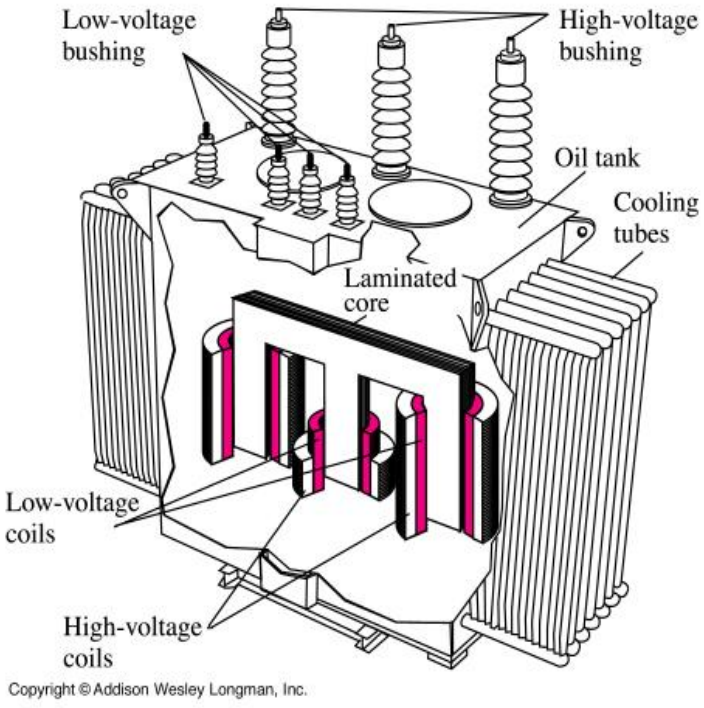
٣ - ٤ المحولات الكهربائية (Electric Transformers)

المحول الكهربائي هو جهاز يقوم بنقل الطاقة الكهربائية من دائرة كهربائية إلى دائرة كهربائية أخرى تكونان في الغالب مفصولتان عن بعضهما كهربائيا حيث تتم عملية نقل الطاقة من خلال المجال المغناطيسي الذي يربط بينهما. إن مبدأ عمل المحول الكهربائي يعتمد على قانون فارادي فالتيار المتغير في الدائرة الكهربائية الأولى عند تمريره في ملف كهربائي ينتج حوله مجالا مغناطيسيا متغييرا وإذا ما قطعت خطوط هذا المجال ملف آخر في دائرة كهربائية أخرى فإن قوة دافعة كهربائية ستتولد فيها طبقا لقانون فارادي. ولكي نضمن أن جميع خطوط المجال المغناطيسي الذي ينتجه ملف الدائرة الأولى أو الملف الإبتدائي ستقطع ملف الدائرة الثانية أو الملف الثانوي فإنه يلزم لف كلا الملفين على قلب حديدي مشترك وذلك لقدرته على حصر جميع خطوط المجال في داخله بسبب نفاذيته المغناطيسية العالية. لقد استخدم فارادي في عام ١٨٣١م شكل مبسط



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

للمحول الكهربائي لإثبات قانون الحث الكهرومغناطيسي الذي اكتشفه ولكنه لم يهتم بتطويره وذلك بسبب أن مجالات استخداماته لم تتضح بعد. وفي عام ١٨٣٦م اخترع العالم الإيرلندي **(Nicholas Callan)** ما يسمى بملف الحث **(Induction Coil)** بعد أن اكتشف أحد أهم قوانين المحول وهو أن نسبة الجهد المتولد في الملف الثانوي إلى الجهد المسلط على الملف الإبتدائي يساوي نسبة عدد لفات الملف الثانوي إلى عدد لفات الملف الثانوي وهذا يعني إمكانية الحصول على جهد عالي جدا من جهد منخفض من خلال زيادة نسبة عدد اللفات. ولذا فقد تم استخدام ملف الحث للحصول على جهود كهربائية عالية جدا لأغراض مختلفة كان أهمها توليد الشرارات الكهربائية لإشعال الغازات القابلة للإشتعال وفي بعض أنواع المصابيح الكهربائية وفي أنظمة إشعال المركبات وفي توليد الموجات الراديوية قبل اختراع الصمام الإلكتروني. وبما أن المحول الكهربائي لا يعمل إلا بالتيارات المتغيرة ولا يعمل أبدا بالتيارات الثابتة وبسبب غياب مصادر التيار المتغير في تلك الفترة فقد تم اللجوء إلى فتح وإغلاق دائرة الملف الإبتدائي بطريقة ميكانيكية لتحويل تيار البطارية إلى تيار متغيير. وفي عام ١٨٨١م تمكن الفرنسي لوسين جولارد **(Lucien Gaulard)** والبريطاني جون جبس **(John Dixon Gibbs)** من بناء محولات بقلب حديدي مفتوح لأغراض رفع وخفض الجهد في أنظمة التيار المتناوب التي بدأت بالظهور بعد اختراع مولدات التيار المتناوب. وقد قام عدد كبير من المهندسين في أميركا وأوروبا أمثال تسلا وستانلي بإجراء تحسينات كثيرة على هذا المحول وذلك لاستخدامه في أنظمة توليد ونقل الطاقة الكهربائية باستخدام التيار المتناوب كاستخدام القلوب الحديدية المغلقة والشرائح الحديدية المعزولة **(laminated iron core)** لبناء القلب وذلك لتقليل تأثير التيارات الدوامة **(eddy currents)**. وكان للمحول الدور الأكبر في حسم حرب التيارات لصالح التيار المتناوب بدلا من التيار المباشر في أنظمة توليد ونقل الطاقة الكهربائية. وفي عام ١٨٨٩م تمكن المهندس الروسي ميخائيل دوبروفولسكي **(Mikhail Dolivo-Dobrovolsky)** من اختراع المحول ثلاثي الأطوار وهو أول من اقترح الطريقتين التي يتم بهما توصيل الملفات الثلاثة في المولدات والمحركات والمحولات ثلاثية الأطوار وهما توصيلة المثلث **(delta connection)** وتوصيلة النجمة **(star connection)**.



تبنى المحولات الحديثة وخاصة المستخدمة في أنظمة نقل الطاقة الكهربائية من قلوب حديدية **(iron core)** مغلقة وغالبا ما يستخدم فولاذ السيلكون (silicon steel) أو ما يطلق عليه الفولاذ الكهربائي وذلك لكثرة استخدامه في قلوب المولدات والمحركات والمحولات. ويتميز الفولاذ الكهربائي بمقاومته الكهربائية العالية والتي تعمل على تقليل الفقد الناتج عن التيارات الدوامة وكذلك بصغر مساحة عروة التخلفية المغناطيسية **(hysteresis loop)** مما يقلل من الفقد الناتج عن

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

هذه الظاهرة. وعادة ما يتم لف الملفين الإبتدائي والثانوي على نفس الذراع لضمان أي تسرب لخطوط المجال المغناطيسي خارج الملف الثانوي. وتتحدد مساحة مقطع القلب الحديدي وبالتالي حجمه من مقدار القدرة الكهربائية التي يتعامل معها المحول ويجب أن يتم اختيار مساحة المقطع بحيث لا تصل كثافة الفيض المغناطيسي إلى حد التشبع (**saturation**). ويستخدم عند تحديد مساحة المقطع المعادلة العامة للمحول والتي تنص على أن القوة الدافعة الكهربائية الذي يولدها الملف للإشارات الجيبية تتناسب طرديا مع حاصل ضرب التردد ومساحة المقطع وعدد اللفات وكثافة الفيض المغناطيسي ويبلغ ثابت التناسب ٤,٤٤. ومن الواضح من هذه المعادلة أن حجم المحول المصمم لنفس مقدار القدرة يمكن تقليله من خلال زيادة التردد ولهذا السبب فإن المحولات المستخدمة في الطائرات تعمل على ترددات تصل لعدة مئات من الهيرتز وليس على ٥٠ أو ٦٠ هيرتز وذلك للتخفيف من وزن الطائرة. واستنادا لقانون حفظ الطاقة فإن القدرة التي يسحبها الملف الإبتدائي من مصدر الطاقة تساوي القدرة التي يسلمها الملف الثانوي للحمل (**Load**) الموصول عليه هذا على افتراض محول مثالي لا فقد فيه. وبما أن القدرة تتناسب مع حاصل ضرب الجهد في التيار فإن أي رفع في الجهد الثانوي بالنسبة للجهد الإبتدائي سيقابله خفض بنفس نسبة الرفع للتيار الثانوي مقابل التيارالإبتدائي. وفي المحولات الحقيقية فإن جزءا من الطاقة سيضيع كحرارة في جسم المحول وذلك نتيجة لعدد من أنواع الفقد أهمها الفقد في أسلاك الملفات نتيجة مرور التيار فيها والفقد الناتج عن التيارات الدوامة التي تتولد في قلب المحول الحديدي. وإذا ما تم تصميم المحولات بشكل جيد فإن هذا الفقد لا يتجاوز واحد بالمائة من القدرة الكلية إلا أن هذه النسبة المتدنية للفقد تعتبر معضلة كبيرة للمهندسين خاصة في المحولات الكبيرة حيث يلزم التخلص من الحرارة المتولدة وإلا أدت لاحتراق المحولات ولذا يستخدم انواع مختلفة من طرق التبريد في هذه المحولات كالتبريد بالزيت.

تعتبر المحولات الكهربائية من أكثر الأجهزة الكهربائية استخداما فلا يكاد يخلو جهاز كهربائي منها وتستخدم في تطبيقات لا حصر لها وتتراوح أحجامها من تلك التي بحجم حبة الحمص كما في أجهزة استقبال الراديو والتلفزيون وتلك التي تزن مئات الأطنان كما في محطات تحويل الطاقة الكهربائية . ففي أنظمة نقل الطاقة الكهربائية تستخدم المحولات لرفع وخفض الجهد الكهربائي لجهود تتراوح بين عدة عشرات من الفولتات إلى ما يقرب من مليون فولت وبأحجام تعتمد على مقدار القدرة الكهربائية التي تعالجها والتي قد تصل إلى مئات الميغاواط . وفي أجهزة الاتصالات تستخدم المحولات لموائمة الدوائر الكهربائية والإلكترونية وكذلك خطوط النقل ذات المعاوقات المختلفة عند وصلها ببعضها البعض لضمان إنسياب الإشارات بينها بشكل جيد. وتستخدم المحولات في مضخمات القدرة (**power amplifiers**) للحصول على كفاءات قدرة عالية بأقل كلفة كما في تلك المستخدمة في السماعات ومحطات البث الراديوية والتلفزيونية والرادارات. وتستخدم المحولات في أجهزة تحويل التيار المتناوب إلى التيار المباشر (**AC/DC converters**) وأجهزة تحويل

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

التيار المباشر إلى التيار المتناوب (**DC/AC inverters**). وتستخدم كذلك في أنواع كثيرة من المصابيح الكهربائية كمصابيح التفريغ الغازية لبدء عملية التفريغ الكهربائي فيها وفي معدات اللحام الكهربائية لإنتاج تيارات عالية في الملف الثانوي وفي أجهزة قياس التيار والجهد وفي كثير من الأجهزة والمعدات في المختبرات ومراكز الأبحاث.

٣ - ٥ المصابيح الكهربائية (Electric lamps)

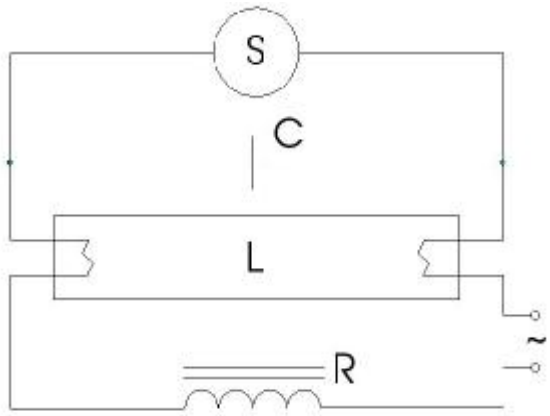
يعتبر اختراع المصباح الكهربائي من أهم الاختراع في تاريخ البشر وأكثرها فائدة لهم فقد حولت هذه المصابيح ليلهم إلى نهار في داخل البيوت والمكاتب والمصانع والشوارع ويتم إضاءتها من خلال كبسة زر في أقل من ثانية. لقد أراحت المصابيح الكهربائية البشر من عناء عمليات تجهيز وإشعال وإطفاء مصابيح الشمع أو الزيت أو الكاز أو الغاز والتي لا تضيء إلا أماكن محددة وبدرجات إضاءة متدنية مع ما يترتب على إشعال هذه المصابيح من تلوث لأجواء البيوت أو خطر احتراق أثاثها. وللقارئ أن يتخيل مدى الجهد الذي ستبذله ربات البيوت في تجهيز عدد كاف من مصابيح الكاز أو الغاز لوضعها في مرافق بيت يتكون من عدة غرف وما يتبعها من غرف الضيوف والجلوس والمطبخ والحمامات. لقد بدأت المحاولات لتصنيع المصابيح الكهربائية مع اختراع مصادر توليد الكهرباء وهي البطارية والمولد الكهربائي في بداية القرن التاسع عشر. وكانت الفكرة الأساسية البسيطة التي حاول المخترعون بناء مصباح كهربائي عليها هي أنه إذا ما تم تمرير تيار كهربائي بقيمة عالية في سلك معدني رفيع جدا فإن الحرارة التي ستتولد فيه سترفع من درجة حرارته وستجعله يتوهج وينبعث منه الضوء إذا ما وصلت درجة حرارته إلى حد معين قد يصل إلى ثلاثة آلاف درجة مئوية. إن تنفيذ هذه الفكرة البسيطة ليست بالأمر السهل في غياب تقنيات التصنيع المناسبة ولذلك باءت كثير من هذه المحاولات بالفشل. إن عملية تصنيع مصباح كهربائي عملي يحتاج إلى شعيرات مصنوعة من معادن يمكن أن تصل حرارتها إلى درجة التوهج دون أن تذوب وكذلك يجب وضع الشعيرات في حيز مفرغ من الهواء أو يحتوي على غاز خامل لكي لا تحترق هذه الشعيرات بوجود الأكسجين. وفي عام ١٨٧٩م قام كل من المخترع الأمريكي ثوماس أديسون (Thomas Alva Edison) والفيزيائي الإنكليزي جوزيف سوان (Joseph Swan) كلا على حدا بتسجيل براءة اختراع لمصباح كهربائي من النوع المسمى لمبة الضوء المتوهج (**incandescent light bulb**). وقد استخدم أديسون شعيرات من الكربون في المصابيح الأولى التي قام بتصنيعها وكانت اللمبات التي استخدمها مفرغة من الهواء وقد تم استخدام هذه اللمبات في عام ١٨٨٠م لإضاءة البيوت والشوارع. وقد قام كثير من المخترعين بإجراء تحسينات على لمبة أديسون منها استخدام بعض أنواع المعادن بدلا من الكربون فقد تم استخدام معدن التنغستون (**tungsten**) في عام ١٩١١م ولازال هو المستخدم حتى الآن. وقد تم أيضا استخدام الغازات الخاملة كالنيتروجين والآرغون لملئ اللمبات الزجاجية بدلا من الفراغ بعد أن وجد أنها تزيد من شدة الإضاءة. وفي عام ١٩٥٧م تم اختراع لمبات

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

الهيلوجين وهي لا تختلف في مبدأ عملها عن اللمبات المتوهجة العادية فهي تعطي إضاءتها من خلال تسخين شعيرات التنغستون بالتيار الكهربائي ولكنه يتم إضافة عناصر هيلوجينية كاليود والبروم مع الغاز الخامل والتي تتفاعل مع ذرات التنغستون المتبخرة وتحول دون ترسبها على الجدار الزجاجي فيمنع إسوادها وحجبها للضوء المنبعث منها. وعادة ما يتم تصنيع لمبات الهيلوجين بأحجام صغيرة وباستخدام الكوارتز بدلا من الزجاج المستخدم في اللمبات العادية ويعمل هذا التصميم على رفع درجة حرارة اللمبة بشكل كبير مما يساعد على زيادة تفاعل الهيلوجين مع التنغستون المتبخر وكذلك زيادة كفاءة تحويل الطاقة الكهربائية إلى ضوء والتي قد تصل إلى ضعف اللمبات العادية. وتستخدم لمبات الهيلوجين في أجهزة العرض السينمائية والكشافات الضوئية المختلفة وفي أضوية المركبات. أما مصباح التفريغ الغازي **(gas discharge lamp)** فقد بدأ التفكير في اختراعه بعد أن قام الفيزيائي الألماني جوهان قيسلر **(Johann Geissler)** في عام ١٨٥٦م باختراع مضخة التفريغ الزئبقية وتصنيعه للأنابيب الزجاجية المفرغة من الهواء والتي لعبت دورا كبيرا في اختراع كثير من الأجهزة المهمة كأنبوب الأشعة المهبطية **(cathode ray tube)** وأنابيب الأشعة السينية **(X-ray tube)** وكذلك مصابيح الفلورسنت. وقد جرت محاولات كثيرة لتصنيع مصباح كهربائي باستخدام أنابيب قيسلر المفرغة من الهواء أو التي تحتوي على بعض الغازات تحت ضغط منخفض وذلك بعد أن لاحظوا وجود توهج ضوئي عند القطب السالب للأنبوب. لقد تمت أول محاولة ناجحة لتصنيع مصباح تفريغ غازي على يد المهندس الكهربائي دانيال مور **(Daniel Moore)** في عام ١٨٩٥م حيث استخدم غاز ثاني أكسيد الكربون وكذلك النيتروجين في هذه الأنابيب والتي كانت بالغة الطول وتحتاج لجهد عالي لتشغيلها. وفي عام ١٩٠١ تمكن المهندس الكهربائي الأمريكي بيتر هيويت **(Peter Cooper Hewitt)** من تصنيع مصباح تفريغ باستخدام بخار الزئبق وكانت أنابيبه ذات أطوال قصيرة وتعمل عند جهد منخفض نسبيا إلا أن الضوء المنبعث يميل للون الأزرق المخضر غير المريح للعين. وفي عام ١٩٠٩م تمكن المهندس الفرنسي جورج كلاود **(Georges Claude)** من تصنيع مصباح تفريغ باستخدام غاز النيون **(Neon)** والذي لاحظ أنه يعطي ضوءا أحمر عند تفريغ تيار كهربائي من خلاله. وقد تم إجراء كثير من التحسينات على مصباح النيون من قبل كثير من المخترعين ليعطي الضوء الأبيض المريح للعين والذي تم من خلال طلاء باطن الأنبوب بمواد مستشعة **(flourescent)** كالفوسفور والفلورايت. يعتمد مبدأ عمل جميع أنواع مصابيح التفريغ الكهربائي على إحداث تفريغ كهربائي بين قطبين كهربائيين مثبتين عند طرفي أنبوبة زجاجية مملؤة تحت ضغط منخفض بأحد أنواع الغاز التي تتأين ذراتها عند مرور التيار الكهربائي فيها مطلقة ضوء غير مرئي كالضوء فوق البنفسجي أو مرئي بألوان تعتمد على لون الغاز. وللحصول على ضوء أبيض كالضوء القادم من الشمس ترتاح له العين عند رؤيتها للأشياء فإنه يتم طلاء باطن الأنبوب بمادة مستشعة كالفوسفور والفلورايت والتي تحول الضوء الأحادي اللون المنبعث من الغاز إلى ضوء أبيض. إن تركيب مصباح التفريغ

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

الغازي ليس ببساطة تركيب مصابيح التوهج حيث يحتاج لعدة مكونات لكي يعمل فالتفريغ الكهربائي لا يمكن أن يتم إلا من خلال تسخين الأقطاب التي تنتج إلكترونات كافية لقدح عملية التفريغ وهذا يتطلب تمير تيار كهربائي من خلال دائرة موصولة على التوازي مع مسار التفريغ تسمى دائرة التشغيل (**starter**) وبمجرد بدء عملية التفريغ يجب فصل هذه الدائرة لتوفير استهلاك الطاقة مما يتطلب جهاز فصل تلقائي وغالبا ما يستخدم ثيرموستات الثنائي المعدني (**Bi-metalic thermostat**). وتحتاج هذه المصابيح لما يسمى بمنظم التيار (**Ballast**) حيث أن المقاومة بين طرفي الأنبوب تنخفض بشكل كبير بمجرد بدء التفريغ مما يزيد من شدة التيار والذي بدوره يقلل من قيمة المقاومة وهكذا دواليك منتجا بذلك ما يسمى المقاومة السالبة (**negative resistance**) ولذلك لا بد من استخدام جهاز للحد من ارتفاع التيار وغالبا ما تستخدم الملفات والمكثفات لهذا الغرض. تتميز المصابيح المستشعة (الفلورسنت) على المصابيح المتوهجة بعدة ميزات منها كفاءة تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ضوئية حيث تصل إلى ٢٥% في المصابيح المشعة بينما لا تزيد عن ١٠% في المصابيح المتوهجة ومنها العمر التشغيلي حيث يزيد في المصابيح المشعة بعشرين ضعف عنه في المصابيح المتوهجة والذي لا يتجاوز عمرها في المعدل الألف ساعة. ومقابل هذه الميزات يوجد بعض السيئات للمصابيح المستشعة وهي كبر حجمها فلا تصلح للاستخدام في الأماكن الضيقة وكذلك تعقيد تركيبها وبالتالي ارتفاع ثمنها إلى جانب وجود بعض المخاطر على صحة البشر نتيجة تسرب الأشعة فوق البنفسجية



خارج الأنبوبة وتلوث المكان ببخار الزئبق السام في حالة تحطمها وكذلك حاجتها لعدة ثواني لكي تعطي ضوءها. وفي السبعينات من القرن العشرين ظهرت المصابيح المستشعة المدمجة (**compact fluorescent lamp**) وهي مصابيح تفريغ بأنابيب قصيرة ملتفة على نفسها لتصغير الحيز الذي تحتله ويستخدم فيها منظمات تيار إلكترونية بدلا من الملفات الكبيرة الحجم وقد تم تصميم أقطابها بحيث توضع على لقواعد مشابهة لقواعد المصابيح المتوهجة وبذلك يمكن تركيبها على نفس مقابس المصابيح المتوهجة. ومن أنواع مصابيح التفريغ المصابيح المسماة مصابيح التفريغ عالية الكثافة (**High-intensity discharge (HID) lamp**) وهي لا تختلف في تركيبها العام عن مصابيح التفريغ العادية فهي مكونة من أنبوبة زجاجية بقطبين من التنغستون وعند تسليط جهد بين القطبين يحدث تفريغ كهربائي بينهما وعندما يمر هذا القوس الكهربائي خلال ذرات بعض العناصر كبخار الزئبق أو الصوديوم أو الزينون فإنه يولد ضوءا عاليا يستفاد منه بشكل مباشر وذلك على عكس مصابيح التفريغ العادية التي يعمل فيها ضوء القوس على إثارة ذرات المواد المستشعة التي يطلى بها باطن الأنبوب فتطلق الضوء المطلوب. وتولد مثل هذه المصابيح ضوءا شديدا وبكفاءة عالية ولكن هذا الضوء يحتوي على نسبة عالية من الضوء فوق البنفسجي الضار بالإنسان ولذا يستخدم في إضاءة الأماكن العامة كالشوارع والملاعب والساحات وغيرها. ويوجد آليات متعددة لتوليد الضوء منها ظاهرة الإنبعاث الكهروضوئي (**Electroluminescence**) والمستخدمة في الثنائيات الباعثة للضوء (**Light Emitting Diodes**) والليزرات (**lasers**) حيث تولد الضوء مباشرة من التيار المار في مواد شبه موصلة وغالبا ما تستخدم هذه المصادر كمؤشرات بسبب صغر حجمها وقلة ضوئها وقد تستخدم

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

كمصدر للإضاءة في بعض المصابيح اليدوية والإشارات الضوئية نظرا لطول عمرها التشغيلي الذي قد يصل لعشرات الآلاف من الساعات.

٣-٦ توليد ونقل وتوزيع الطاقة الكهربائية

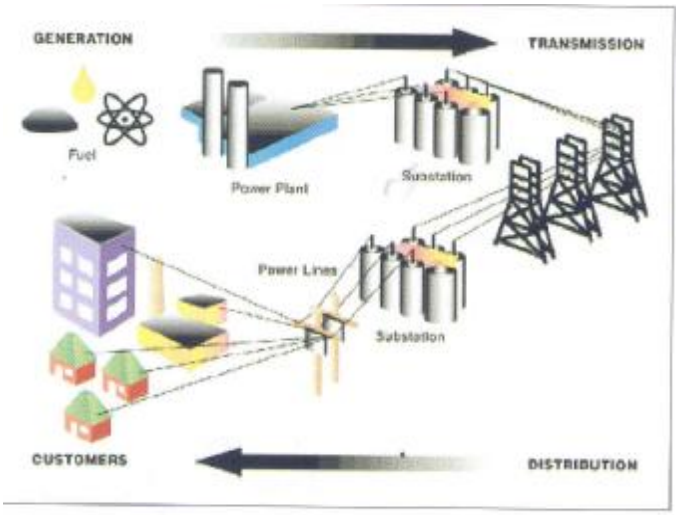


Figure 1.1 Typical Electric Power Supply Systems

يتم في الغالب تزويد الطاقة الكهربائية إلى المستخدمين في الدولة الواحدة من خلال شبكة كهربائية عامة تمتد أسلاكها من محطات التوليد إلى أماكن تواجد هؤلاء المستخدمين مهما كان توزعهم الجغرافي سواء كانوا في البيوت أو المكاتب أو المصانع أو المزارع. وتتكون هذه الشبكة العامة من عدة مكونات وهي محطات التوليد التي تقوم بتحويل مختلف أشكال الطاقة إلى طاقة كهربائية ومن محطات التحويل المختلفة التي تقوم برفع الجهد الكهربائي المنخفض نسبيا الذي تولده محطات التوليد إلى قيم عالية لنقله بأقل فقد ممكن إلى أماكن تواجد المستخدمين وأخرى لخفض الجهد إلى مستويات مناسبة للاستخدام ومن خطوط النقل التي تقوم بنقل وتوزيع الطاقة الكهربائية ومن مراكز المراقبة والتحكم التي تقوم بمراقبة سير عمل مكونات هذه الشبكة وتقوم كذلك بفصل المكونات المعطوبة عن الشبكة لكي لا تتعرض للإنهيار الكامل إلى جانب العدادات التي تقوم بقياس كمية الطاقة التي تسري فيما بين مكونات الشبكة وإلى المستخدمين.

محطات التوليد (Power Stations)

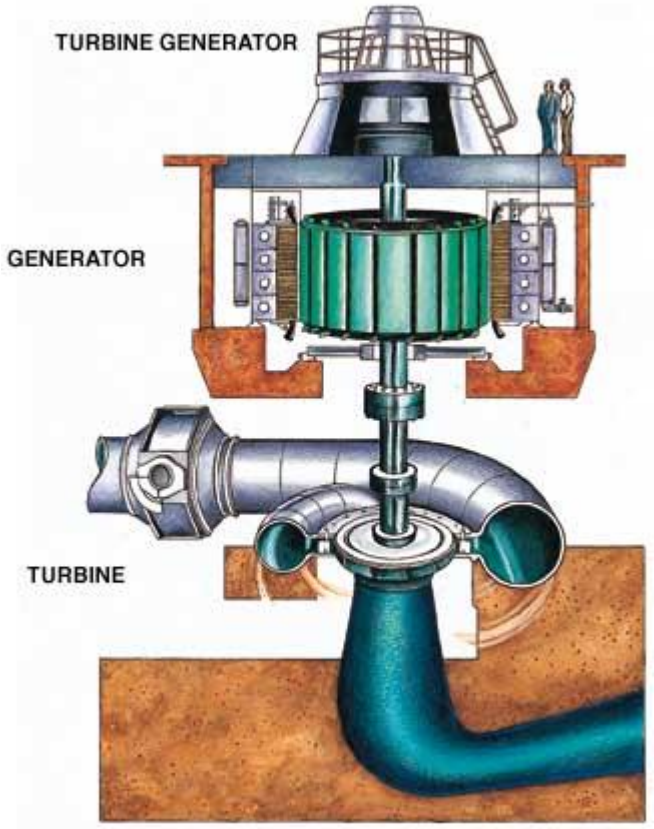
تقوم محطات التوليد الكهربائية بتحويل مختلف أشكال الطاقة إلى طاقة كهربائية ولذلك فإن طريقة تصنيف محطات التوليد تتحدد من نوع مصدر الطاقة الخام المستخدم فيها أو من نوع الطريقة التي يتم بها تحويل الطاقة الخام إلى طاقة حركية من خلال محرك ميكانيكي يدير

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

المولدات الكهربائية. فالتصنيف من حيث نوع الطاقة يوجد هناك المحطات الكهروحرارية والتي تستخدم الطاقة الكيميائية المخزنة في الوقود الأحفوري كالفحم والبترول والغاز وكذلك في الأخشاب والمخلفات العضوية بعد تحويلها إلى طاقة حرارية والمحطات الكهرومائية والكهروهوائية والتي تستخدم الطاقة الحركية المتوفرة في مياه الشلالات الطبيعية ومياه السدود ومياه المد والجزر وفي الرياح والمحطات الكهروذرية والتي تستخدم طاقة الذرة التي تنتجها المفاعلات الذرية والمحطات الكهروشمسية والتي تستخدم الطاقة الحرارية أو الضوئية المتوفرة في ضوء الشمس والمحطات التي تستخدم حرارة باطن الأرض. أما التصنيف من حيث نوع المحرك الميكانيكي فهنالك أربع أنواع رئيسية وهي التوربينات البخارية (**steam turbines**) والتوربينات الغازية (**gas turbines**) والتوربينات المائية والهوائية (**water and wind turbines**) ومحركات الاحتراق الداخلي (**internal combustion engines**). فالتوربينات البخارية تعمل على أساس توفر بخار ماء بضغط مرتفع جدا قد يصل إلى عشرة أضعاف الضغط الجوي ويتم ذلك من خلال تسخين البخار إلى ما يقرب من ٣٠٠ درجة مئوية وعند السماح لهذا البخار الساخن المرتفع الضغط بالخروج من منفث ضيق فإنه ينطلق بسرعة عالية جدا ويكتسب طاقة حركية عالية يتم استغلالها بتسليطه على أنصال مثبتة على محيط عجلة دوارة (توربينة) فتعمل على تدويرها. ويتم إنتاج وتسخين بخار الماء عن طريق حرق الوقود الأحفوري كالفحم الحجري والبترول بأنواعه المختلفة والغاز الطبيعي والمخلفات العضوية والأخشاب وبالحرارة التي تولدها المفاعلات الذرية أو بحرارة باطن الأرض أو بحرارة ضوء الشمس بعد تركيزه. وعلى الرغم من بساطة تركيب التوربين البخاري والذي يتكون من حارقة تقوم بحرق الوقود لتوليد الحرارة الكامنة فيه ومن مرجل لتوليد البخار وتوربينة لتحويل الطاقة الحركية الخطية التي يكتسبها البخار إلى طاقة حركية دورانية فإن تصميمها يتطلب عملا هندسيا معقدا بسبب حاجتها لقطع مصنعة من معادن تتحمل درجة حرارة وضغط وسرعة دوران عالية جدا بالمقارنة مع المحركات الأخرى. وتعتبر التوربينات البخارية أكثر المحركات شيوعا في محطات التوليد لكونها تعمل باستخدام جميع أنواع الطاقة إذا ما تم تحويلها إلى طاقة حرارية وخاصة أنواع الوقود رخيصة الثمن والتي لا يمكن للتوربينات الغازية ومحركات الاحتراق الداخلي استخدامها كالفحم الحجري والزيت الثقيل التي تخلفه محطات تكرير البترول. وتتميز التوربينات البخارية بالإضافة لكفاءتها العالية التي قد تصل إلى خمسين بالمائة بإمكانية تصنيعها بأحجام وقدرات كبيرة جدا تلبي حاجات المعدات التي تستهلك كميات ضخمة من الطاقة كمحركات مولدات الطاقة الكهربائية ومحركات سفن الركاب والبضائع وناقلات النفط وحاملات الطائرات. أما سيئات التوربينات البخارية فهي صعوبة تصنيعها بأحجام وقدرات منخفضة مع الحفاظ على كفاءتها العالية وحاجتها إلى وقت طويل نسبيا لتشغيلها. أما النوع الثاني فهي التوربينات الغازية (**gas turbines**) والتي تعمل من خلال حرق الوقود السائل أو الغاز في غرفة الاحتراق بعد ضخ كميات كافية من الهواء إليها باستخدام ضاغطات الهواء ومن ثم يتم تسليط تيار الهواء الحار ونواتج الاحتراق عالية الضغط والحرارة على التوربينة لتحريكها. وعلى الرغم من أن كفاءة هذه التوربينات تقل قليلا عن التوربينات البخارية فهي لا تزيد عن خمسة وأربعين بالمائة ولا تعمل إلا على الوقود السائل والغازي إلا أنها تتميز عليها بصغر حجمها وسرعة تشغيلها. ويمكن الاستفادة من الحرارة المتبقية في تيار الهواء والغاز المنبعث من التوربينة الغازية لإنتاج البخار وتشغيل توربينات بخارية وبهذا يتم رفع كفاءة تحويل الطاقة لتصل إلى ستين بالمائة. أما النوع الثالث فهي التوربينات المائية والهوائية (**water & wind turbines**) والتي يتم تدويرها من خلال تسليط تيارات من الماء أو الهواء على شفرات التوربين يتم الحصول عليها من مياه الشلالات والسدود وهواء الرياح وهي

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

بسيطة التركيب ولا تحتاج إلى تكنولوجيا متقدمة لتصنيعها وهي أول أنواع التوربينات استخداما في محطات توليد الطاقة الكهربائية. أما النوع الرابع فهي محركات الاحتراق الداخلي **(internal combustion engines)** والتي تعمل على مشتقات البترول السائلة والغازية كالبنزين والسولار (الديزل) والغازات الطبيعية والصناعية. وعلى الرغم من أن كفاءة هذه المحركات لا تتجاوز الثلاثين في المائة لأحسن أنواعها ويوجد كذلك صعوبة في تصنيع أحجام كبيرة منها إلا أن لها ميزات عديدة كسرعة تشغيلها وإمكانية تصنيع أحجام صغيرة منها تناسب بعض التطبيقات كتوليد الطاقة الكهربائية للتجمعات السكانية التي لا تصلها شبكة الكهرباء العامة.



يعتبر المولد الكهربائي قلب محطة التوليد وهو يقوم بتحويل الطاقة الحركية الدورانية التي أنتجتها المحركات الميكانيكية بمختلف أنواعها إلى طاقة كهربائية وغالبا ما يتم ربط المولد بشكل مباشر مع المحرك على نفس محور الدوران. وتستخدم المولدات التزامنية ثلاثية الأطوار في جميع محطات التوليد التي تغذي شبكات الكهرباء العامة ويجب أن تحدد سرعة دوران هذه المولدات بشكل دقيق لتولد تيار متناوب بتردد يبلغ خمسين هيرتز في النظام الأوروبي أو ستين هيرتز في النظام الأمريكي. ولذا فإن تصميم هذه المولدات يعتمد على نوع المحركات التي تديرها ففي حالة التوربينات البخارية والغازية تدار المولدات بسرعة ٣٠٠٠ دورة في الدقيقة أو نصف هذه السرعة في النظام الأوروبي و بسرعة ٣٦٠٠ دورة في الدقيقة أو نصف هذه السرعة في النظام الأمريكي وتستخدم في هذه الحالة مولدات بقطبين للسرعة العالية وأربعة أقطاب للسرعة الأبطأ. أما في حالة التوربينات المائية والهوائية فتدار المولدات بسرعة بطيئة نسبيا لا تتجاوز عدة مئات من الدورات في الدقيقة وتستخدم في هذه الحالة مولدات بعدد كبير من الأقطاب قد تزيد عن مائة قطب. وفي كل الأحوال يجب أن يتم ضبط سرعة المحرك الميكانيكي بشكل بالغ الدقة باستخدام آليات مختلفة تعتمد على نوع المحرك وذلك لضمان ثبات سرعة دوران المولد وبالتالي تردده مهما تغيرت قيمة الحمل المسلط عليه. وبما أن المولدات الكهربائية المستخدمة في محطات التوليد تولد كميات كبيرة من الطاقة قد تتجاوز الألف ميجاواط وبما أن حاصل ضرب الجهد في التيار رقم ثابت يتناسب مع القدرة الكهربائية التي يولدها فإن عملية تصميمها ليست بالعملية السهلة وتحتاج لموازنة كبيرة بين قيم الجهد والتيار المستخدمة فيه للحصول على مولد بأصغر حجم ممكن وأقل فقد ممكن. فرفع التيار على حساب تخفيض الجهد يتطلب ملفات على العضو الساكن بأسلاك ذات مقاطع كبيرة لتقليل الفقد فيها ورفع الجهد على حساب تخفيض التيار يتطلب ملفات ذات عزل جيد. وفي المولدات الحديثة تتراوح قيمة الجهد الأمثل بين عشرة آلاف وثلاثين ألف فولت وقد تصل قيمة التيار إلى خمسين ألف أمبير. وبما أن الجهد الكهربائي

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

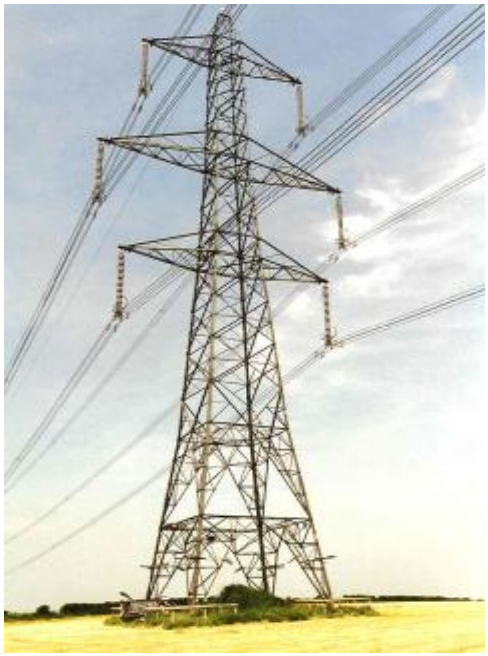
ينخفض مع زيادة الحمل فلا بد من وجود آليات تعمل على تثبيت الجهد عند قيمة محددة لـدى المستخدمين ويتم ذلك من خلال رفع الجهد الذي تولده المولدات الكهربائية مع زيادة الحمل ويتم ذلك من خلال التحكم بالتيار المباشر الذي يغذي الملفات المغناطيسية على العضو الدوار باستخدام مولد تيار مباشر أو من خلال تحويل جزء من التيار المتناوب إلى تيار مباشر باستخدام المقومات (**rectifiers**). ويمكن تصنيع المولدات الكهربائية بمختلف الأحجام التي تتناسب وقدرات المحركات الميكانيكية التي تديرها وتتراوح القدرات بين عدة ميجاواط لمحركات الاحتراق الداخلي وعدة مئات الميجاواط في التوربنات الغازية وقد تصل إلى ألف وخمسمائة ميجاوات في التوربينات البخارية والمائية. وبسبب التذبذب الكبير في كمية الطاقة الكهربائية التي يستمدها المستخدمين من شبكة الكهرباء العامة وذلك خلال ساعات اليوم وأيام الأسبوع وأشهر السنة فإن تصميم محطات توليد تلبي حاجة المستخدمين في حالات الذروة وبأقل كلفة ممكنة عملية بالغة التعقيد. فبعض المحركات الميكانيكية التي تستمد طاقتها من التوربينات البخارية العاملة بالفحم أو بالطاقة الذرية أو بالطاقة المائية يصعب تخفيض أو رفع طاقتها ولذلك تستخدم لتغطي الحمل الأساسي للشبكة بينما تسخدم التوربينات الغازية وآلات الاحتراق الداخلي التي يسهل التحكم بقدرتها وكذلك إيقافها أو تشغيلها في زمن قصير لتلبية حاجة الشبكة في ساعات الذروة. ويمكن التغلب على مشكلة توفير الطاقة في ساعات الذروة من خلال ربط شبكات الدول المتجاورة مع بعضها البعض وتبادل الطاقة فيما بينها خاصة إذا ما كان هناك اختلاف ولو بسيط في توقيت ساعات الذروة. ويتم التحكم بمحطات التوليد الحديثة باستخدام الحواسيب التي تراقب سير عمل جميع مكونات المحطة وتعمل على تثبيت تردد وجهد الشبكة بشكل دقيق وفي حالة وجود عدد من المحطات التي تغذي الشبكة يجب ضمان تزامن قيم وأطوار وتردد الجهود والتيارات المولدة من قبل هذه المحطات حيث يؤدي عدم التزامن إلى عدم استقرار الشبكة وربما إنهيارها.

محطات التحويل وخطوط النقل

يتم نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية من محطات التوليد إلى المستخدمين في شتى مواقعهم من خلال شبكة كهربائية معقدة تحتوي على عدد كبير من محطات تحويل الجهد المختلفة ومن خطوط النقل التي تنقل الطاقة الكهربائية بمستويات جهد مختلفة لا يقل عددها عن أربعة مستويات وذلك حسب حجم الشبكة والتوزع الجغرافي للمستخدمين. ويوجد عند كل محطة توليد محطة تحويل رئيسية تقوم برفع الجهد الذي ينتجه المولد والذي لا يتجاوز ثلاثين ألف فولت إلى جهد عالي تتحدد قيمته من طول خط النقل وكمية الطاقة المنقولة. إن الهدف من رفع الجهد الكهربائي عند نقل الطاقة الكهربائية هو لتقليل كمية الطاقة المفقودة في خطوط النقل حيث أن كمية الفقد تتناسب مع مربع التيار الذي تحمله هذه الخطوط ومن المعلوم أن رفع الجهد بنسبة معينة يقلل قيمة التيار بنفس النسبة على افتراض ثبات كمية الطاقة وعليه فإن كمية الفقد ستتناسب

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

عكسيا مع مربع الجهد. ويعتمد اختيار قيمة جهد النقل على المسافة بين محطة التوليد وأماكن التوزيع وكمية الطاقة المنقولة فكلما زادت المسافة وزادت كمية الطاقة كلما تطلب الأمر زيادة الجهد. ويمكن تحديد قيمة الجهد الأمثل من خلال الموازنة بين كلفة محطات التحويل وخطوط النقل والتي تزداد مع زيادة قيمة الجهد وبين قيمة الطاقة المفقودة في خطوط النقل على مدى عمرها التشغيلي والتي تزداد مع انخفاض قيمة الجهد. وفي العادة تستخدم مستويات جهود محددة في صناعة محطات التحويل وخطوط النقل عالية الجهد تبدأ من ١١٠ كيلوفولت وتنتهي بقيمة ٧٦٥ كيلوفت وقد تتجاوز المليون فولت في بعض الخطوط الخاصة وذلك حسب طول الخط الذي يتراوح بين مائة كيلومتر وما يزيد عن ألف كيلومتر. وعند نهاية خط الجهد العالي يبدأ بتخفيض الجهد بشكل متدرج وليس دفعة واحدة كما هو الحال عند محطة التوليد حيث يتم إنشاء عدة محطات فرعية عند التجمعات السكنية والصناعية الكبيرة تخفض الجهد إلي مستوى الجهد المتوسط (٣٣ كيلوفولت أو ٦٦ كيلوفولت) وتقوم خطوط نقل الجهد المتوسط بتوزيع الطاقة الكهربائية على محطات فرعية أصغر حجما تتوزع عند مراكز ثقل التجمعات السكنية وتقوم هذه المحطات بدورها بتخفيض الجهد المتوسط إلى الجهد المنخفض (٣٣٠٠ فولت و ٦٦٠٠ فولت). وأخيرا يتم توزيع الطاقة الكهربائية على البيوت والمصانع وغيرها من المرافق بعد أن يتم تخفيض الجهد المنخفض إلى مستوى الجهد الذي تعمل عليه مختلف الأجهزة الكهربائية المنزلية والصناعية وهو ١١٠\١٩٠ فولت في النظام الأمريكي أو ٢٢٠\٣٨٠ فولت في النظام الأروبي من خلال محولات صغيرة تركب على الأعمدة. وتستخدم خطوط النقل بكافة مستوياتها نظام النقل ثلاثي الأطوار وما عدا خط النقل الذي يوزع الطاقة على المستخدمين فإن خط النقل يتكون من ثلاثة أسلاك من النحاس أو الألمنيوم معلقة من خلال عوازل من السيراميك أو الزجاج على أبراج فولاذية مختلفة الأحجام في حالة الجهد العالي والمتوسط وأعمدة فولاذية أو خشبية أو كيبلات أرضية في حالة الجهد المنخفض. أما خط النقل الذي يوزع الطاقة على المستخدمين فإنه يتكون من أربعة أسلاك ثلاثة منها تحمل جهود الأطوار الثلاث والرابع أرضي حيث توصل الكهرباء إلى المنازل والمكاتب من خلال خطين فقط أحدهما الأرضي أما المصانع والورش فيتم تزويدها بالطاقة من خلال الأسلاك الأربعة وذلك لأن بعض المعدات الصناعية كالمحركات الكهربائية الكبيرة لا تعمل إلا بثلاثة أطوار. ويتم احتساب كمية الطاقة الكهربائية التي يستهلكها المستخدم من خلال العدادات الكهربائية المثبتة في المنازل والمصانع والورش.



إن شبكات الكهرباء أنظمة بالغة الحساسية فكل مكون من مكوناتها يحس بأي حدث كهربائي يحدث في أي جزء من أجزائها خلال فترة زمنية بالغة القصر حيث تنتشر تأثيرات هذا الحدث في الشبكة بسرعة تقرب من سرعة الضوء. فعلى سبيل المثال فعندما يقوم شخص بكبس زر لإضاءة مصباح كهربائي في بيته فإن جميع محطات التوليد المرتبطة بالشبكة تحس بهذا الحدث وتزيد من عزم محركاتها لتوفير كمية الطاقة التي يحتاجها هذا المصباح لكي يضيئ. إن وصل الأحمال الكهربائية (**electric loads**) بالشبكة وفصلها عنها عمليات تحدث بشكل كبير ومتكررعلى مدار الساعة وهي عمليات قد تؤثرعلى وضعية الشبكة من حيث قيم ترددها

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

وجهدها وتزامن مولداتها ولكنها في الغالب لا تخرجها من حالة الاستقرار. إن الأحداث التي قد تسبب مشاكل للشبكة وقد تؤدي بها للخروج من حالة الاستقرار هو حدوث دوائر قصر (**short circuits**) فيما بين أسلاكها أو بين الأسلاك والأرض أو تعرض بعض محطات التوليد ومحطات التحويل لعطل مفاجئ. وعادة ما يتم حماية الشبكة من دوائر القصر التي تحدث فيها باستخدام الفيوزات (**fuses**) والقواطع الآلية (**automatic circuit breakers**) والفواصل اليدوية (**manual switch**). وتوجد أجهزة الحماية هذه في كل جزء من أجزاء الشبكة فعند المستخدمين يوجد في كل منزل أو مصنع عدد كبير من الفيوزات والقواطع لحماية الشبكة الداخلية للمصلحة من الخراب بسبب دوائر القصر الشائعة الحدوث. وفي كل محطة تحويل رئيسية أو فرعية يوجد أجهزة حماية مماثلة ولكن بقدرات أكبر من تلك التي عند المستخدمين تحمي الشبكة من دوائر القصر التي تحدث في خطوط النقل التابعة لها. وفي كل محطة توليد توجد معدات حماية معقدة تحمي المولدات من دوائر القصر التي تحدث في داخلها أو خارجها وتوجد في محطات التوليد كذلك أحمال اصطناعية تمتص الطاقة الكهربائية التي يولدها المولد في حالة فصله عن الشبكة أو حين تخف الأحمال الحقيقة بشكل مفاجيء. إن ضمان استقرار الشبكات الكهربائية تحت الظروف المختلفة عملية بالغة التعقيد وإن عدم أخذ الاحتياطات اللازمة قد يؤدي إلى خروج الشبكة من حالة الاستقرار وبالتالي الإنهيار التام. ولهذا يوجد في جميع الشبكات الحديثة مراكز متعددة للمراقبة والتحكم (monitor and control centers) تقوم بمراقبة جميع مكونات الشبكة من محطات توليد ومحطات تحويل وخطوط نقل رئيسية وذلك من خلال شبكة اتصالات رقمية تمتد مع امتداد الشبكة وتقوم كذلك بالتحكم بأنظمة الحماية فيها عن بعد إما بشكل يدوي من قبل المهندسين أو بشكل آلي من قبل الحواسيب.

٣-٧ الإنتاج والإستهلاك العالمي من الطاقة الكهربائية

لقد بلغ الإنتاج العالمي من الطاقة الكهربائية في عام ٢٠٠٠م أربعة عشر ألف بليون كيلواط ساعة أو ما يعادل ٤٨ مليون بليون وحدة حرارية بريطانية. وقد ساهم الفحم الحجري في إنتاج أربعين بالمائة من هذه الطاقة والغاز الطبيعي بخمسة عشر بالمائة والبترول بعشرة بالمائة والمحطات الكهرومائية بتسعة عشر بالمائة والمحطات الكهروذرية بأحد عشر بالمائة والطاقة المتجددة كطاقة الرياح والشمس وغيرها بخمسة بالمائة. وإذا ما افترضنا أن كفاءة التحويل المتوسطة لجميع أنواع المحطات الكهربائية تساوي ثلاثة وثلاثين بالمائة فإن الطاقة الكهربائية تستهلك ما يقرب من أربعين بالمائة من المحتوى الحراري لمختلف مصادر الطاقة التي يتم إنتاجه في العام الواحد. وقد بلغت القدرة الإجمالية لمحطات التوليد بمختلف أنواعها ثلاثة ملايين ميجاواط تقريبا حيث أنتجت المحطات الحرارية العاملة بالفحم والبترول والغاز ٦٥% بالمائة من هذه القدرة الإجمالية. وأنتجت المحطات الكهرومائية تسعة عشر بالمائة من الطاقة الكهربائية في العالم وتتصدر الصين دول العالم في إنتاج هذا النوع من الطاقة حيث بلغت قدرة محطاتها الكهرومائية ١٤٥ ألف ميجاواط تليها كندا بقدرة ٨٨ ألف ميجاواط ثم الولايات المتحدة الأمريكية بقدرة ٨٠ ألف ميجاواط ثم البرازيل بقدرة ٧٠ ألف ميجاواط ثم روسيا بقدرة ٤٥ ألف ميجاواط. ويبلغ متوسط قدرة المحطات الكهرومائية ألفي ميجاواط ولكن يوجد محطات بسعات قد تصل إلى خمسة عشر ألف ميجاواط كما في بعض سدود الصين. أما المحطات الكهروذرية فأنتجت ما يقرب من ١٦ بالمائة من مجموع إنتاج الطاقة الكهربائية في العالم حيث بلغ عدد المفاعلات الذرية في عام ٢٠٠٠م ٤٤٠ مفاعل موجودة في ثلاثين دولة في العالم ويبلغ متوسط قدرة

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

الواحد منها ألف ميجاواط. وتستأثر الولايات المتحدة بحصة الأسد من هذه المفاعلات حيث تملك ١٠٤ مفاعلات تليها فرنسا ٥٧ مفاعل ثم اليابان ٥٣ مفاعل ثم بريطانيا ٣٣ مفاعل ثم روسيا ٣٠ مفاعل ثم كندا ٢١ مفاعل ثم ألمانيا ١٩ مفاعل. وقد تم استهلاك اثنين وثلاثين بالمائة من مجموع الطاقة الكهربائية المولدة في العالم في أمريكا الشمالية وعشرين بالمائة في آسيا وثمانية عشر بالمائة في أوروبا الغربية وعشرة بالمائة في أوروبا الشرقية بما فيها روسيا وثمانية بالمائة في اليابان وخمسة بالمائة في أمريكا الجنوبية وأربعة في المائة في الشرق الأوسط وثلاثة بالمائة في أفريقيا. ويستهلك القطاع المنزلي خمسة وثلاثين بالمائة من الطاقة الكهربائية لأغراض الإنارة وتشغيل مختلف أنواع الأجهزة الكهربائية المنزلية كالثلاجات والغسالات والمكيفات والمضخات والمكانس والمراوح والتلفزيونات والحواسيب. أما القطاع التجاري فيستهلك ما يقرب من خمسة وثلاثين بالمائة من الطاقة الكهربائية لأغراض الإنارة وتشغيل الأجهزة الكهربائية كالمكيفات والناسخات والطابعات والمصاعد واللافتات الكهربائية والأجهزة الطبية والمخبرية. أما القطاع الصناعي فيستهلك الثلاثين بالمائة المتبقية لتشغيل مختلف أنواع الأجهزة والمعدات الصناعية كالمناشير والمثاقب والمقصات وآلات ومعدات صناعة السيارات والمركبات والطائرات والقطارات والنسيج والورق والأطعمة وغيرها.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com