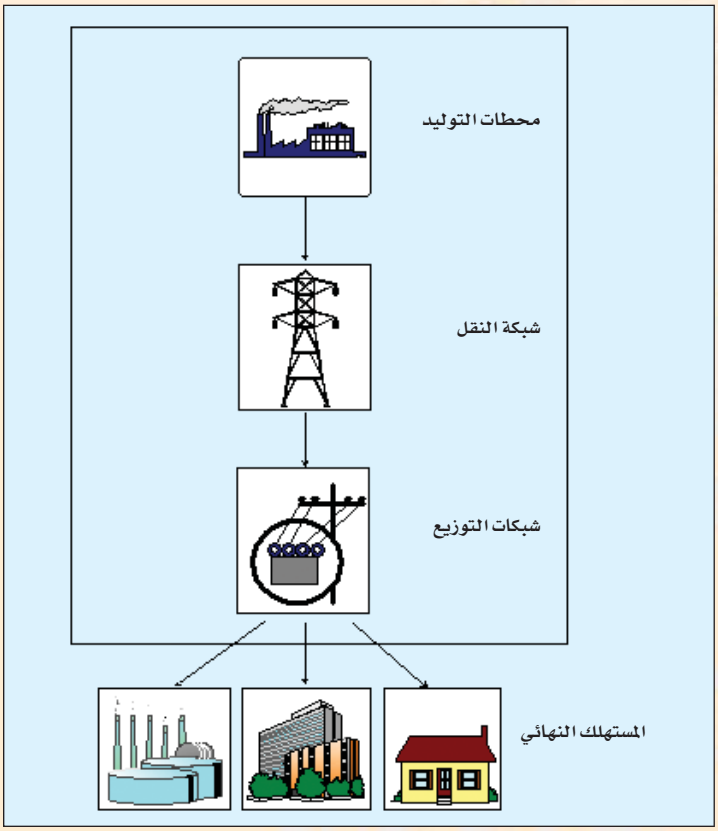
نظام النقل الكهربائي

د. ياسر التركي

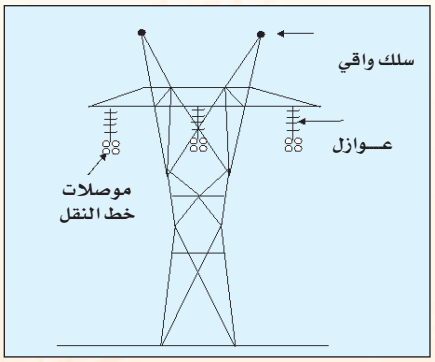
يمثل نظام النقل الكهربائي جزءاً كبيراً ومهماً من شبكة النظام الكهربائي، ويُعرف بأنه ذلك الجزء الذي يصل بين محطات التوليد وشبكات التوزيع، أو تلك التي تربط الأنظمة الكهربائية ببعضها من خلال خطوط الربط (Interconnector) التي توفر إمكانية نقل الطاقة الكهربائية في الظروف العادية أو الطارئة بجدوى اقتصادية مقبولة.

يتم نقل القدرة الكهربائية لمسافات بعيدة - عادة - من خلال خطوط نقل هوائية (غير معزولة) ذات جهدٍ عالٍ (High Voltage) - تسمى أيضاً خطوط الضغط العالي - بينما يمكن استخدام الكابل الأرضية المعزولة في المناطق المكتظة بالسكان.

تتكون خطوط الضغط العالي الهوائية من أبراج يتناسب حجمها وطولها مع قيمة الجهد الكهربائي، تحمل تلك الأبراج موصلات عارية، وعوازل لعزل الموصلات بعضها عن بعض وعن الأرض، شكل (١)، كما توجد أسلاك واقية تحجب خطوط النقل من تأثير الصواعق الكهربائية، حيث تقوم هذه الأسلاك بتفريغ الشحنات الكهربائية القادمة إلى الأرض من خلال جسم البرج، وتحمي خطوط النقل من ضررها، لتنتهي بمحطات فرعية تقوم بتخفيض الجهد إلى قيم أقل خلال رحلتها باتجاه الحمل (Demand or Load)، فيما يعرف بنظام النقل الفرعي (Subtransmission System). يمكن تغذية المستهلكين ذوي الأحمال الكبيرة جداً من نظام النقل مباشرة، أما المستهلكون ذوي الأحمال الكبيرة فيمكن تغذيتهم بنظام النقل الفرعي.



■ أجزاء النظام الكهربائي.



■ شكل (١) مكونات أبراج النقل.

يتراوح جهد التوليد الكهربائي ـ في العادة ـ مابين ١١ إلى ٣٦ كيلوفولت، ويعد هذا الجهد منخفضاً، بحيث لا يمكن استخدامه للنقل لمسافات طويلة، لذا يتم رفعه من ١١٥ إلى ٧٦٥ كيلوفولت بواسطة محولات رافعة (Step-up transformers).

تقسم جهود خطوط النقل ـ عادة ـ إلى ثلاثة أنواع:

- الضغط أو الجهد العالي (High Voltage-HV) ويتراوح مابين ١١٥ إلى ٢٣٠ كيلوفولت.
- الضغط أو الجهد العالي الفائق (Extra High Voltage.EHV) ويتراوح ما بين ٣٤٥ إلى ٧٦٥ كيلوفولت.
- الضغط أو الجهد العالي المتناهي (Ultra High Voltage-UHV) ويتراوح بين ١٠٠٠ إلى ١٥٠٠ كيلوفولت.

الجدير بالذكر أن أطول شبكات نقل الطاقة في المملكة تبلغ ٣٧,٩٨١ كلم دائري بينما يبلغ الجهد المستخدم لنظام النقل الكهربائي ٢٢٠ كيلوفولت و٣٨٠ كيلوفولت ـ أعلى جهد مستخدم في المملكة ـ للنقل الرئيس، أما نظام النقل الفرعي فيبلغ الجهد فيه ٦٩ كيلوفولت و ١١٠ كيلوفولت و١٣٨ كيلوفولت.

يزداد ـ عادة ـ جهد خط النقل مع زيادة القدرة المنقولة والمسافة اللازمة للوصول إلى نقطة التوزيع، حيث تؤدي زيادة الجهد إلى خفض القدرة المفقودة في خطوط النقل لكل وحدة قدرة منقولة ـ التناسب عكسي مع مربع الجهد ـ والتقليل من تناقص الجهد الكهربائي؛ مما يزيد من كفاءة النظام وترشيد الطاقة، كما أن زيادة السعة المكنة تزيد من حجم الاستفادة من الأرض المبني عليها خطوط النقل. من جانب آخر فإن رفع الجهد يؤدي إلى زيادة كلفة العزل ـ منعاً للتفريغ الكهربائي بين الأسلاك الموصلة أو بينها وبين الأرض ـ بالإضافة إلى زيادة كلفة المحولات وإجراءات السلامة اللازمة.

من جانب آخر هناك ما يعرف بظاهرة الهالة (Corona)، وهي عبارة عن تأين الهواء الملامس والمقارب لسطح موصلات خطوط النقل؛ مما ينتج عنه فقد للقدرة على طول الخط، والتداخل مع موجات خطوط الاتصالات القريبة، وتظهر الهالة بوضوح عند قيم الجهد الفائق، عندما تكون خطوط النقل عبارة عن موصل واحد لكل طور من أطوار نظام القدرة الكهربائي، أما في حالة استخدام أكثر من موصل لكل طور مفصولة عن بعضها بمسافات قصيرة مقارنة بالمسافات بين طور وآخر، فإن هذا التأثير يقل بشكل ملحوظ. ويعرف خط النقل المكون من هذه المجموعة من الموصلات المتوازية بخط النقل المتجمع أو حزمة خط النقل (Bundle Conductor)، بحيث تتكون الحزمة الواحدة من موصلين، أو ثلاثة أو أربعة، فتصمم الموصلات الثلاثة عادة على شكل مثلث متساوي الأضلاع، بينما تصمم الموصلات الأربعة على شكل مربع متساوي الأضلاع.

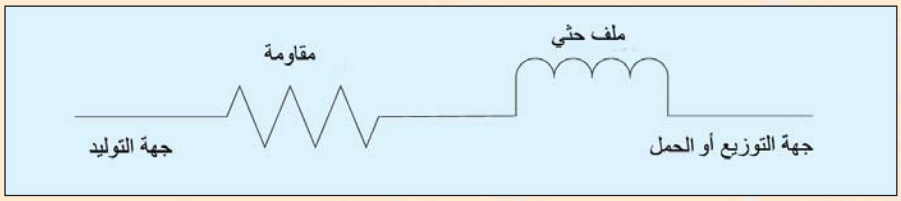
■ برج كهربائي يحمل موصلات.

خطوط النقل

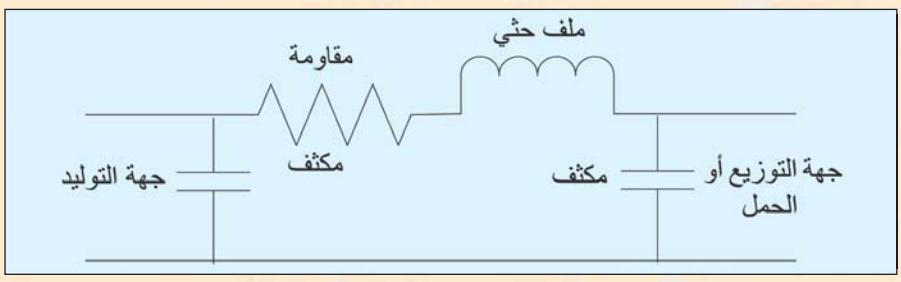
توجد هناك أربعة خطوط يتولد عنها ـ عند قيامها بنقل التيار الكهربائي ـ مجالاً كهربائياً ومغناطيسياً، يمكن تمثيلها رياضيا بأربعة مكونات، هي: مقاومة (Resistance)، وملف حثي (Inductance)، وموصل (Conductance)، ومكثف (Capacitance). وتختلف هذه الخطوط في صفاتها بحسب الطول وفقا لما يلي:

١- خطوط قصيرة (أقل من ٨٠كلم)، وفيه يشتمل كامل خط النقل لكل طور على مقاومة وملف حثي على التوالي، حيث يقل تأثير المكثف على خصائص الخط. شكل (٢).

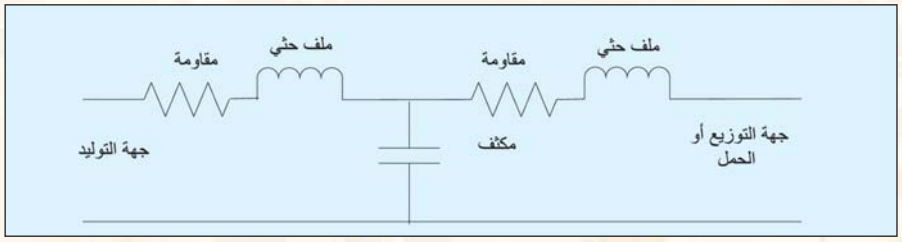
٢- خطوط متوسطة الطول (مابين ٨٠ إلى ٢٥٠ كلم)، وفيه يشتمل كامل الخط على مقاومة وملف حثي واحد ومكثفين، شكل(٣)، أو على مقاومتين



■ شكل (٢) تمثيل خط النقل القصير (أقل من ٨٠ كلم) لكل طور.



■ شكل (٣) تمثيل خط النقل المتوسط الطول (ما بين ٨٠ كلم و ٢٥٠ كلم) لكل طور.



■ شكل (٤) تمثيل خط النقل المتوسط الطول (ما بين ٨٠ كلم و ٢٥٠ كلم) لكل طور.

وملفين حثيين ومكثف واحد. شكل (٤).

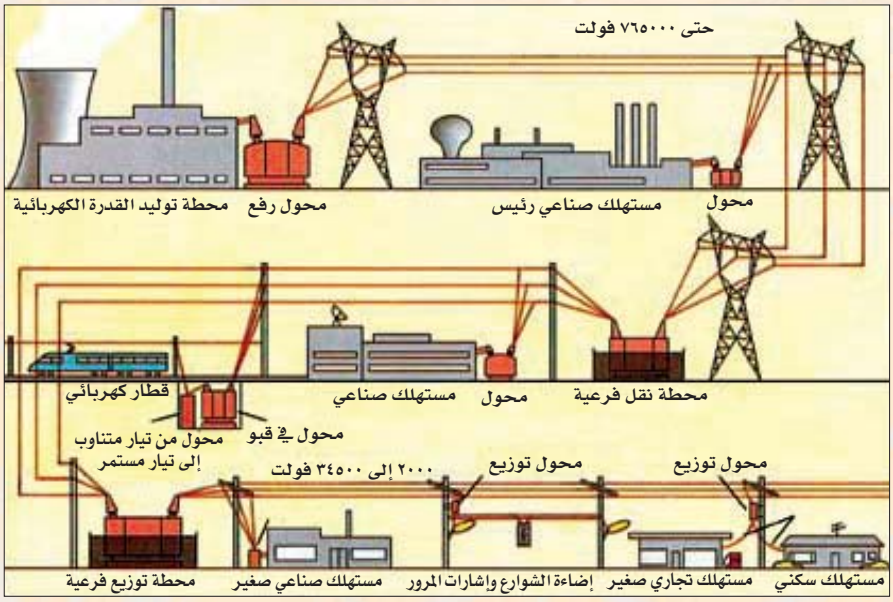
٣- خطوط طويلة (يتجاوز طولها ٢٥٠ كلم)، وفيه يتجزأ الخط إلى أجزاء صغيرة على طول الخط، يتكون كل جزء من مقاومة وملف حثي، حتى يعطي الدقة المقبولة. ويعاب على هذا النوع من الخطوط صعوبة الحسابات اللازمة مقارنة بالخطين السابقين.

● حماية خطوط النقل

يحتوي نظام القدرة الكهربائي - بأجزائه التوليد والنقل والتوزيع - الذي يمتد إلى مئات الكيلومترات على مئات الأجزاء والمعدات والأجهزة المرتبطة ببعضها، حيث تعمل هذه الأجهزة بترتيب وتناغم للحفاظ على سلامة وأمن النظام الكهربائي وضمان استمرارية تدفق الطاقة الكهربائية للمستهلكين. وبما أن نظاماً كهذا يكون باهظ التكاليف؛ فإنه يحتم وجود منظومة متكاملة لحماية أجزائه من التلف، وكذلك حماية المتعاملين معه من المهندسين والفنيين والمستهلكين، ولذلك فإن نظام القدرة الكهربائي مزود بأجهزة تستشعر أي خلل غير عادي في النظام وتقوم بعزل أصغر جزء ممكن من النظام، بما يقلل من آثار هذا الخلل.

من المعلوم أن كل جهاز كهربائي له قدرته على العمل ضمن قيم محددة من الجهد والتيار الكهربائي، كما أن خطوط النقل الكهربائي لها سعتها التي تستطيع أن تتحملها من التيار الكهربائي، وفي حال تجاوز هذه السعة فإن أجهزة الحماية تقوم بعزل ذلك الخط عن النظام لحمايته مع باقي أجزاء النظام من الضرر، وعلى الرغم من ذلك فقد تواصل القدرة الكهربائية رحلتها لنقاط معينة من خلال طرق بديلة؛ مما قد يشكل عبئاً إضافياً على هذه الخطوط البديلة، ويجعل بعضها يجاوز سعته أيضاً، فينتج عنه عزل جزء كبير من النظام - انقطاع الكهرباء - وهو ما يسمى بظاهرة الانتشار (Cascading).

تختلف معايير ومواصفات أمن النظام الكهربائي من بلد إلى آخر ومن مكان إلى آخر، من حيث استمرارية تدفق الكهرباء عند الفقد الكامل لأحد المولدات أو خطوط النقل أو أكثر، وهو ما يعبر عنه بمواصفة (n-1) أو (n-2)، ففي حين تتوفر أعلى درجات الحماية في الأماكن الاستراتيجية والمهمة كالمباني الحكومية المهمة والمستشفيات من خلال مصادر احتياطية للكهرباء في حال انقطاع التيار من الشبكة العامة لأي سبب، إلا أن فئات أخرى من المستهلكين قد تعاني بعض الانقطاعات من وقت لآخر.



■ مخطط يوضح توليد ونقل وتوزيع الطاقة الكهربائية.

القدرة غير الفاعلة

تعد القدره غير الفاعلة (Inactive Power) إحدى الخدمات المساندة التي يحتاجها النظام لتوفير الحد الأدنى من أمن النظام واعتماديته (System Security and Reliability)، ويرمز لها عادة بالرمز (Q). ويكمن دور القدرة غير الفاعلة في المحافظة على قيم الجهد الكهربائي في النطاق المسموح به في كل أجزاء النظام الكهربائي، كمتطلب للوصول إلى نظام نقل آمن ذي اعتمادية مقبولة ومستمرة. تشير الدراسات إلى أن عدم توفر القدر الكافي من القدرة غير الفاعلة في النظام الكهربائي، كان أحد العوامل التي أدت إلى الانقطاعات الكهربائية الرئيسة حول العالم. بالإضافة إلى أهميتها البالغة في الظروف الطارئة، ومساهمتها في تقليل الفقد الكهربائي للنظام، ولذلك فإن توفر القدرة غير الفاعلة في أرجاء النظام الكهربائي يزيد من الكمية الأعلى التي يمكن للنظام أن ينقلها من القدرة الكهربائية إلى مكان آخر دون الإخلال بشروط قيم الجهد الكهربائي المطلوبة.

تقوم مكونات خطوط النقل الكهربائي - مثل المولدات والمكثفات - بإنتاج واستهلاك القدرة غير الفاعلة، ونظراً لوجود المكثفات على طول الخط وثبات قيمة الجهد الكهربائي - تقريباً - فإن كمية القدرة غير الفاعلة المنتجة تكون ثابتة، بينما تكون المستهلكة منها متغيرة بحسب كمية التيار المار. وفي حال تساوى الكمية المنتجة مع المستهلكة فإن هذه الحالة تسمى الحمل الطبيعي (Natural Loading). أما عند

زيادة القدرة غير الفاعلة في الشبكة الكهربائية فإن ذلك يؤدي إلى زيادة الجهد الكهربائي، بينما يزيد نقصانها من فقد الجهد على طول الشبكة؛ مما يؤدي إلى نقصان جهد الاستقبال، وبالتالي يكون الحمل الكهربائي كبيراً، فإذا زاد ذلك النقص دون تعويض للقدرة غير الفاعلة فإن ذلك يمكن أن يؤدي إلى وصول الجهد إلى قيمة لا يمكن للنظام أن يبقى دون فصل، وهذا ما يفسر عادة الانقطاعات التي تحدث أوقات الذروة.

ويجب التنبيه إلى أن هذه الزيادة أو النقصان يجب ألا تخرج عن حدود ± ٥٪ من الجهد القياسي المطلوب (١٢٧ فولت مثلاً)، ولذلك لابد أن تزود الأنظمة بأجهزة كهربائية - مثل: المكثف المتزامن (Synchronous Condenser) - تكون من مهماتها تلبية حاجة النظام من القدرة غير الفاعلة سواء بالإنتاج عندما يحتاج النظام إلى مزيد منها، أو بالامتصاص عندما يكون هناك فائض منها، مع ملاحظة أن هذه الأجهزة ينبغي أن تكون قريبة من مكان حاجتها، حيث لا تستطيع القدرة غير الفاعلة. بخلاف تلك الفاعلة - من الانتقال لمسافات كهربائية كبيرة.

اقتصاديات النقل

فتحت خصخصة قطاع الكهرباء في العديد من دول العالم باب التنافس في قطاع التوليد والمزودين (المبيعات) للمستهلك النهائي، بينما بقي قطاع النقل محتكراً بطبيعته؛ وذلك لأنه قطاع ضخم تكون فيه الشركات الكبرى فقط هي الناجحة، وهو ما يعرف بمصطلح اقتصاديات

■ موصلات نقل التيار.

ذات الحجم (Economies of Scale). بالإضافة إلى ذلك فإن تشغيل وأمن قطاع النقل الكهربائي يتطلب أن يكون تحت مظلة شركة واحدة، أما قطاع التوزيع - مثلاً - فإن كل منطقة تكون تحت مشغل واحد؛ لضمان كفاءة تشغيل النظام وسلامته.

يعد المشغل المستقل (Independent System Operator- ISO) من اللاعبين الرئيسين في سوق الطاقة الكهربائي، حيث يتولى تشغيل قطاع النقل بشكل فعال وعادل دون تمييز بين المستفيدين، مراعياً أمن النظام الكهربائي واعتماديته، بالإضافة إلى التنسيق بين أنشطة القطاعات المختلفة من التوليد والتوزيع، ولذلك يشترط ألا يكون له أي أنشطة تجارية أخرى من بيع أو شراء للطاقة الكهربائية، فمثلاً قد يكون المشغل والمالك لقطاع النقل واحداً في الأصل. كما هو الحال في المملكة المتحدة. ولكن يجب في هذه الحالة الفصل بينهما، بحيث يكون المشغل مستقلاً عن المالك في عمله وقراراته، وفي المقابل يمكن أن يكون المشغل مختلفاً عن المالك، كما هو الحال في كثير من أسواق الطاقة الكهربائية الأخرى.

هنالك الكثير من التحديات التي تواجه تشغيل قطاع النقل في ظل سوق الطاقة الكهربائي، منها:

١- آلية تسعير استخدام النظام لأنواع كثيرة من التعاقدات بين البائعين والمشترين للطاقة الكهربائية، والذي يمثل قطاع النقل الوسيط المادي الذي يتم من خلاله نقل القدرة الكهربائية من المزود للمستفيد، مع الأخذ بالاعتبار أن القدرة قد تسلك طرقاً عدة لا يمكن تتبعها عند وصولها للمستفيد.

٢- إدارة الشبكة من الناحية الاقتصادية عندما يكون هناك حالات طارئة أو اختناقات بسبب وصول بعض خطوط النقل للحد الأعلى من قدرتها على نقل القدرة الكهربائية، وتحديد المستفيد والمسبب لهذه الاختناقات، ومن ثم توزيع التكلفة الناتجة في هذه الحالات، بالإضافة إلى دراسة أنواع العقود وتقييم نوعية الخدمات المقدمة من مشغل النظام.

■ خطوط نقل هوائية.

٣- ضرورة أن يصل الاستثمار في قطاع النقل للمستوى التنافسي الأمثل في سوق الطاقة الكهربائية من خلال إنشاء وتوسعة خطوط نقل جديدة.

المراجع:

- التقرير السنوي للشركة السعودية للكهرباء ٢٠٠٧م.
-W. D. Stevenson, Elements of Power System Analysis. Singapore: McGraw Hill, 1982.
-Al-Arainy, N. Malik, S. Al-Ghuwainem, Fundamentals of Electrical Power Engineering. King Saud University: Academic Publishing & Press, 2007.
-D. Kirschen and G. Strbac, Fundamentals of Power System Economics.Chichester, UK: Jhon Wiley & Sons Ltd, 2004.
-S. Stoft, Power System Economics Designing Markets for Electricity. NJ, USA: IEEE Press, Wiley-Interscience, A John Wiley & Sons, Inc, 2002.
-M. El-Hawary, Electrical Energy Systems. USA: CRC Press LLC, 2000.
-S. Hunt, Making Competition Work in Electricity. NY: John Wiley & Sons, Inc, 2002.
-http://www.nationalgrid.com/uk /
-http://www.ofgem.gov.uk/
-http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page
-www.howstuffworks.com