شبكة التوزيع الكهربائي

د. محمد الصالح سميعي

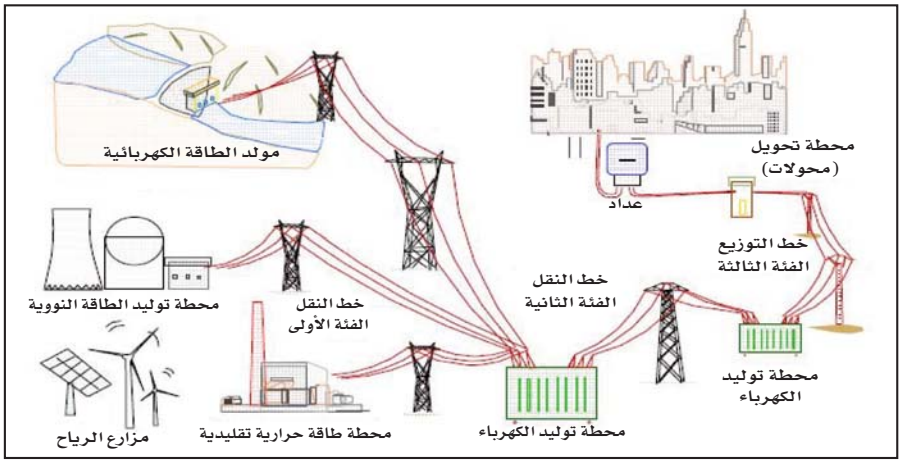
تقوم شبكة التوزيع الكهربائي باستقبال القدرة الكهربائية من محطات التوليد عبر خطوط النقل؛ ليتم توزيعها بعد ذلك على المستهلكين، من خلال الموزعات الهوائية والكابلات الأرضية - بجهد يتناسب مع أغراض الاستهلاك - من خلال محطات تحويل فرعية (Substations) تقوم بتحويل الجهود العالية إلى جهود متوسطة ومنخفضة.

يتم توزيع الطاقة الكهربائية على مرحلتين هما:

١- **التوزيع الأولي (Primary Distribution):** ويتم على جهود تتراوح ما بين (٦,٦ كيلو فولت - ٣٣ كيلو فولت) بحسب الجهود القياسية المستخدمة في المنطقة.

٢- **التوزيع الثانوي (Secondary Distribution):** ويتم على جهود الاستخدام (١٠٠ - ٢٢٠ فولت) أو (٢٢٠- ٣٨٠ فولت)، ويوضح الشكل (١) مخططاً لمكونات للشبكة الكهربائية وتظهر فيه محطات التوليد، وشبكة النقل، وشبكة التوزيع.

من جانب آخر ظهرت محطات توليد خاصة مرتبطة مع شبكة التوزيع، تهدف إلى إمداد المشتركين بالطاقة الكهربائية، وتصدير الفائض عن الحاجة إلى شبكة التوزيع، وتحتاج مثل هذه المحطات إلى أجهزة للتحكم والحماية؛ لربطها مع شبكة التوزيع والتنسيق و مركز التحكم في الشبكة.



■ شكل (١) مخطط يوضح مكونات الشبكة الكهربائية.

مكونات شبكة التوزيع الكهربائي

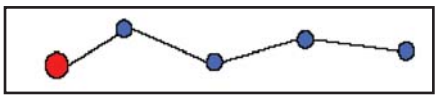
تحتاج شبكة التوزيع إلى مجموعة من الأجهزة المختلفة لتزويد المشتركين بالطاقة الكهربائية، مثل: محطات التحويل من الجهد المتوسط إلى الجهد المنخفض، بما تحتويها من محولات كهربائية، وقواطع، ومصاهر، وأجهزة للحماية والتحكم. يتم توزيع الكهرباء بواسطة موصلات تحت أرضية للتوزيع داخل المدن؛ نظراً لكثافة عدد المشتركين، وأسلاك كهربائية على الأبراج خارج المدن نظراً لانخفاض كثافة المشتركين.

نظم التوزيع

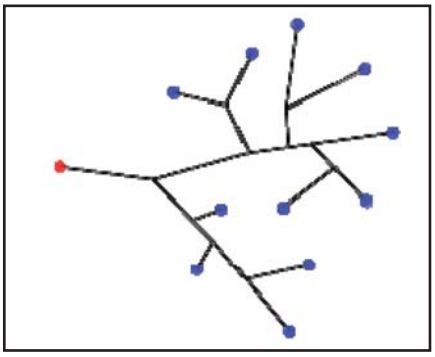
تنقسم نظم توزيع الطاقة الكهربائية حسب التصميم المناسب للتوزيع على المشتركين إلى ثلاثة أنظمة هي:

- **نظام التوزيع الشعاعي**

تتدفق الطاقة في نظام التوزيع الشعاعي (Radial) من المحطة الرئيسية (النقطة الحمراء) إلى محطات التوزيع (النقاط الزرقاء)، ومن ثم إلى المغذيات (الخطوط باللون الأسود) التي تربط بين المحطات كما هو موضح في الشكل (٢)، وعند تفرع مغذيات أخرى من النقاط الزرقاء، فإن نظام التوزيع الشعاعي يصبح مثل الشجرة، شكل (٣)؛ حيث تمثل النقطة الحمراء محطة التحويل بين شبكة النقل للجهد العالي وشبكة التوزيع للجهد المتوسط، بينما تمثل النقطة الزرقاء محطة التوزيع من



■ شكل (٢) نظام التوزيع الشعاعي، خط أحادي لجهد التوزيع.



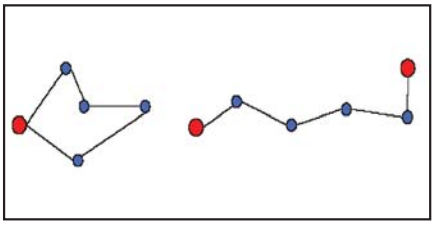
■ شكل (٣) نظام التوزيع الشعاعي للطاقة الكهربائية حسب نظام توزيع الشجرة.

الجهد المتوسط إلى الجهد المنخفض الذي يغذي المشتركين في الشبكة، أما الخطوط بين النقاط الحمراء والزرقاء فتمثل المغذيات التي تنقل و تربط بين المحطات.

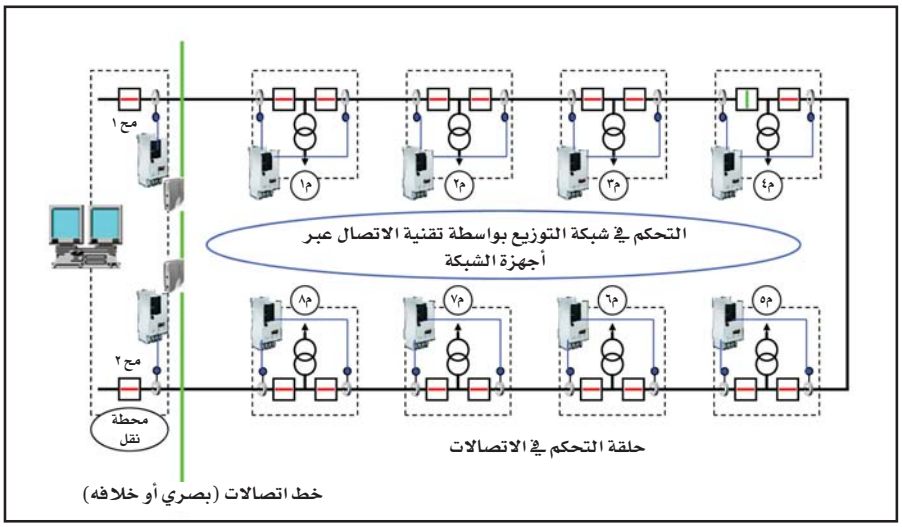
عند حدوث انقطاع في المغذيات؛ فإن تدفق الطاقة الكهربائية ينقطع عن المشترك؛ لأنه لا يوجد في نظام التوزيع الشعاعي خطوط بديلة، ولذلك يعد نظام التوزيع الشعاعي أبسط في التركيب وأقل تكلفة من النظم الأخرى، كما أنه يمتاز بسهولة تحديد الأعطال والتحكم في جهد التوزيع و تدفق الطاقة في الشبكة.

● نظام التوزيع الحلقي

يعد نظام التوزيع الحلقي (Ring) بمثابة تطوير لنظام التوزيع الشعاعي، ويمتاز عنه بتوفير مسار بديل للتغذية عند حدوث عطل في أحد المغذيات. وسمي بهذا الاسم لأن المغذي الرئيسي فيه يكوّن مساراً مغلقاً يبدأ من محطة التوزيع وينتهي فيها، أي أن نهايتي الموزع تكون داخل نفس المحطة. وفي هذه الحالة يتم إعادة إمداد المشترك بالطاقة، سواءً بتشغيل قواطع الطاقة الكهربائية في محطة التوزيع بطريقة يدوية أو بطريقة تحكم آلية. ويمثل الشكل (٤)



■ شكل (٤) نظام التوزيع الحلقي للطاقة الكهربائية .



■ شكل (٥) مخطط لشبكة توزيع تربط بين محطتين للنقل يتم التحكم فيها بواسطة تقنية الاتصال عبر أجهزة الشبكة.

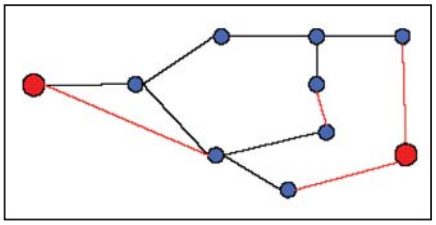
مخطط التوزيع الحلقي للطاقة، حيث تمثل النقطة الحمراء محطة التحويل من شبكة النقل للجهد العالي إلى شبكة التوزيع للجهد المتوسط. بينما تمثل النقطة الزرقاء محطة التحويل من شبكة التوزيع للجهد المتوسط إلى شبكة التوزيع للجهد المنخفض. ويوضح الشكل أيضاً حالتين لنظام التوزيع الحلقي، حيث يوضح الشكل الذي على اليمين نظام توزيع حلقي يربط بين محطتي نقل، بينما يوضح الشكل الذي على اليسار نظام توزيع حلقي لمحطة نقل واحدة.

تقوم تقنية الاتصالات بدور هام في عملية تشغيل شبكة النظام الحلقي، حيث تستخدم تقنية شبكة الاتصالات بالألياف البصرية، وتقنية الجوالات، وتقنية الأقمار الاصطناعية، ويوضح الشكل (٥) مخططاً لشبكة توزيع تربط بين محطتين للنقل يتم التحكم فيها بواسطة تقنية الاتصال عبر أجهزة الشبكة.

● نظام التوزيع الشبكي

يتم في نظام التوزيع الشبكي (Network) توصيل مجموعة من المغذيات معاً بين محطات النقل ومحطات التوزيع P لتأمين مسارات بديلة لإمداد المشترك بالطاقة في حالة حدوث أعطال على أحد المغذيات بين محطتين، ويجب أن يكون تصميم وتشغيل هذا النظام أكثر دقةً وتعقيداً، وذلك لتفادي إمداد المشترك بالطاقة من محطتين في نفس الوقت. ويوضح الشكل (٦) نظام التوزيع الشبكي.

يحتاج نظام التوزيع الشبكي إلى الدقة في جميع مراحله، بداية من مرحلة التصميم إلى تحديد المهام والوظائف التي سيقوم بتنفيذها، ولضمان الدقة في التحكم في نظام التوزيع الشبكي يتم تركيب وحدات طرفية في محطات التوزيع، وهي عبارة عن جهاز إلكتروني يقوم بالمراقبة المستمرة والتحكم في محطة التوزيع، كما يقوم بنقل البيانات التشغيلية إلى مركز التحكم في شبكة التوزيع. وتشمل البيانات التشغيلية حالتي الوصل والفصل لتدفق الطاقة الكهربائية، والتغيرات في الجهد والتيار، وتحديد مواضع الانقطاعات الكهربائية، وشبكة مسارات المغذيات البديلة؛ لتزويد المشترك بالطاقة في أسرع وقت ممكن وتقليل الفاقد من الطاقة.



■ شكل (٦) نظام التوزيع الشبكي للطاقة الكهربائية.

حماية شبكة التوزيع

تحتاج شبكة التوزيع الكهربائية إلى أجهزة مساعدة للتحكم، والحماية، وتنسيق التشغيل بين جميع أجزاء الشبكة ومركز التحكم، وهي كالتالي:

- **قاطع الدائرة الكهربائية**

يستعمل قاطع الدائرة الكهربائية في شبكة التوزيع للتحكم في تدفق التيار الكهربائي ولعزل أجزاء من الشبكة لغرض الصيانة، وأيضاً لإعادة توزيع تدفق التيار بعد حدوث عطل في أحد دوائر شبكة التوزيع. ويوضع قاطع الدائرة الكهربائية داخل خزانة معدنية لحمايته. ويستخدم الهواء، أو الغاز، أو الزيت لامتصاص القوس الكهربائي الناتج عن تشغيل القاطع، حيث يزود القاطع حالياً بغاز (SF_6)، وهو غاز خامل يعمل كمادة عازلة.

- **الوحدات الحلقية**

تتكون الوحدة الحلقية (Ring Main Unit - RMU) من مجموعة من القواطع الكهربائية تقوم بالربط بين كابلات الجهد المتوسط والمحولات الكهربائية، التي تقوم بخفض الجهد المتوسط إلى جهد منخفض؛ لإمداد المشتركين بالطاقة الكهربائية. ويتم تصميم الوحدة الحلقية للقيام بوظيفة إمداد المشتركين بالطاقة الكهربائية في جميع حالات الشبكة، مثل: حدوث عطل في شبكة المغذيات، و صيانة شبكة التوزيع. تستخدم الوحدات الحلقية - أيضاً - لتأمين المغذيات البديلة (الاحتياطية) لإمداد المشترك بالطاقة الكهربائية. ويتم حماية المغذيات والوحدات الحلقية بمجموعة من القواطع والمصاهر تركب في خزانة معدنية لسهولة نقلها وسرعة تركيبها في الموقع ولحمايتها من الظروف المحيطة، مثل: الغبار والرطوبة. ويوضح الشكل (٧) صورة من

■ شكل (٧) صورة لجهاز الوحدة الحلقية.

لجهاز الوحدة الحلقية.

- **المصهر**

يستخدم المصهر (Fuse) لحماية الأجهزة في شبكة التوزيع الكهربائية من زيادة كمية التيار عن القيمة المحددة في الشبكة الكهربائية، ويحميها أيضاً في حالة حدوث تيار القصر. يتكون المصهر في أبسط صورة من: سلك معدني دقيق وقصير، مركب فيه حامل معزول قابل للانصهار في حالة حدوث زيادة في التيار عن القيمة المحددة، وبذلك تفتح الدائرة.

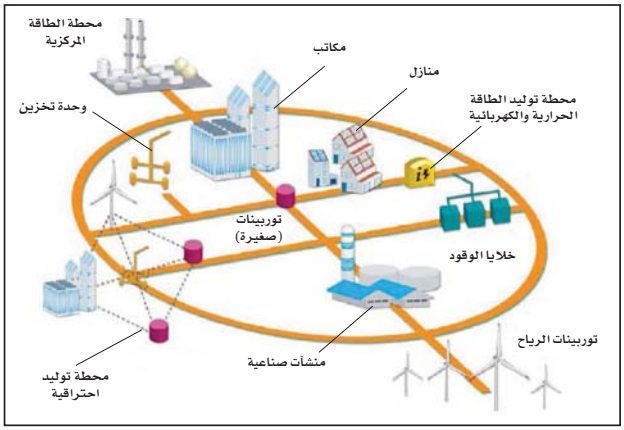
- **محولات الجهد المتوسط**

تقوم محولات الجهد المتوسط بالعزل الكهربائي بين الدائرة الكهربائية للملف الأولي والدائرة الكهربائية للملف الثانوي، وبالتالي توفر السلامة من الأخطار الكهربائية لمشغلي الأجهزة عند حدوث عطل لمادة العزل الكهربائي، كما أنها توفر الحماية للأجهزة ضد التعرض للجهود غير المناسبة عند حدوث أعطال على شبكة التوزيع. ويوضح الشكل (٨) صورة لمحول توزيع من الجهد المتوسط (١٣,٨ كيلو فولت) إلى الجهد المنخفض (٣٨٠ و ٢٢٠ و ١١٠ فولت).

الشبكة الذكية للكهرباء

تعد الشبكة الذكية (Smart Grid) وسيلة

■ شكل (٨) صورة لمحول توزيع الجهد المتوسط (١٣,٨ كيلو فولت) إلى الجهد المنخفض (٣٨٠ و ٢٢٠ و ١١٠ فولت).



■ شكل (٩) مخطط لنموذج الشبكة الذكية.

المستقبل لتوزيع الطاقة الكهربائية، وسميت الشبكة الذكية بهذا الاسم لأنه يتم التحكم في تدفق الطاقة في الاتجاهين من الشبكة إلى المشترك، ومن المشترك إلى الشبكة الكهربائية. تستطيع الشبكة الذكية عبر استخدامها التقنية الرقمية توفير الطاقة، وتقليل التكلفة، فضلاً عن توليد الطاقة من مصادر الطاقة المتجددة كالطاقة الشمسية والرياح، ولهذا قامت العديد من الحكومات مؤخراً بترويج هذا النوع من شبكات التوزيع. ويوضح شكل (٩) مخططاً لنموذج الشبكة الذكية.

تحتاج الشبكة الذكية إلى تركيب أجهزة تحكم ومراقبة عند المشترك وفي محطات التوزيع؛ للتحكم والحماية الآلية لأجهزة شبكة التوزيع وأجهزة المشترك، بحيث يتم التحكم في تشغيلها عن بعد بواسطة الهاتف، أو الجوال، أو شبكة الألياف البصرية.

تهدف الشبكة الذكية إلى ما يلي:

١- إشراك الأفراد كجزء أساسي من الشبكة كمستهلكين، وأيضاً كموردين للكهرباء، بالإضافة إلى تمكين المستهلك من اختيار المصدر الذي يود شراء الكهرباء منه وعرض الثمن اللحظي للكيلو وات.

٢- استخدام المزيد من الطاقة الصديقة للبيئة.

٣- تقليل الاعتماد على توليد الكهرباء من محطات توليد الطاقة الكهربية.

٤-تقليل حوادث الانقطاع الكامل للكهرباء (Blackouts).

٥- زيادة سعة الشبكة وقدرتها على إمداد الكهرباء.

٦ تقليل الوقت اللازم لاستعادة الكهرباء عند حدوث الأعطال.