لتحميل المزيد من الكتب والمراجع باللغة العربية

تابعونا على

صفحة موسوعة الهندسة الكهربية على الفيس بوك

Electrical Engineering Encyclopedia-Arabic

www.facebook.com/EEE.Arabic

جروب موسوعة الهندسة الكهربية على الفيس بوك

EEE-Arabic

www.facebook.com/groups/EEE.Arabic

موسوعـــــة الهندســـــة الكهربيـــــة
Facebook.com/groups/EEE.Arabic
Facebook.com/EEE.Arabic

الإتجاهات العملية لتحسين معامل قدرة الأحمال الكهربية

د. محمد زكي الصادق
أستاذ القوى الكهربية - كلية الهندسة - جامعة أسيوط - مصر

مفهوم معامل القدرة ذو أهمية قصوى في فهم الاستخدام الأكفأ للطاقة الكهربية. ومع ذلك فالعلاقات الهندسية والمسميات المتعددة وطبيعة التيار الكهربي جعلت مفهوم معامل القدرة غامضاً لغير المهندسين الكهربائيين. وسنحاول شرح معامل القدرة بطريقة عملية تتجنب التفاصيل النظرية للملفات والمكثفات. ونضيف ما هو جديد في هذا المجال الحيوي الهام.

موجات الجهد والتيار

كلٌّ من الجهد (V) والتيار (I) في مصادر التيار المتناوب تتغير قيمته مع الزمن بصورة جيبية. القدرة الفعالة المتاحة P من مصدر تيار متناوب تعطي بالوات بالعلاقة :

$$P = VI \cos\theta \quad (Watts)$$

حيث θ هي زاوية الطور بين الجهد والتيار. وفي حالة الأحمال المقاومة الخالصة موجات الجهد والتيار تتوافق تماماً والقدرة الفعالة تكون أكبر ما يمكن والزاوية θ تؤول للصفر والقيمة القصوى للجهد والتيار تحدثان في وقت واحد (شكل 1). أما في حالة الاحمال الحثية فالتيار يميل للتأخر عن الجهد في الطور بزاوية θ بين موجتي الجهد والتيار (شكل 2). ولأن الجهد والتيار يكونان غير متوافقين فالقدرة النافعة تقل.

ما هو معامل القدرة؟

نسبة القدرة النافعة التي يمكن استغلالها عملياً في صورة حركة أو ضوء أو حرارة.. إلخ. إلى القدرة القصوى عندما يكون الحمل مقاوماً. ويسحب التيار الأقصى عند نفس الجهد الأقصى يسمى بمعامل القدرة. وعلى ذلك فمعامل القدرة يساوي ($\cos\theta$) أي جيب تمام الزاوية θ المعرفة آنفاً.

الأحمال الحثية

المعدات الحثية أو المغناطيسية هي تلك التي تحوي ملفات حيث أن التيار المار في الملفات يولد خطوط فيض لمجال مغناطيسي. وبدون هذه المغنطة فإن الطاقة لا تسري خلال قلب المحول أو تعبر الثغرة الهوائية للمحرك أو الريلية مثلاً. وبجانب المحولات والمحركات الحثية فالأحمال الحثية تشمل الملفات الخانقة للمبات الإضاءة (ballasts) وملفات تحديد تيار القصر وضبط زيادة الجهد والأفران الحثية وملفات محولات اللحام بالقوس الكهربي وغيرها.

وعندما يمر التيار في هذه الأحمال الحثية فجزء منه يستخدم في عملية المغنطة وهذا ما يسبب تأخير موجة التيار عن موجة الجهد. هذا أيضاً يؤدي لطريقة أخرى لتعريف معامل القدرة. فالتيار الكلي ينقسم إلى تيار مغنطة وتيار عامل (مؤدي للشغل) في شكل اتجاهي مع الزاوية θ بينهما (شكل 3) ونسبة التيار المعامل للتيار الكلي تسمى معامل القدرة.

العلاقات المتجهية للتيار والقدرة :

شكل (3) يوضح العلاقات المتجهية بين تيارات التمغنط المسمى بالتيارات غير الفعالة (Reactive Currents) وتقاس بالأمبير غير الفعال (Ampere Reactive) والتيار الفعال أو التيار العامل (Working or Active Currents). زاوية الطور θ هي الأساس لهذه العلاقة. ولأن العلاقة بين التيار والقدرة هو الجهد (الذي عادة ما يكون ثابتاً) وعلى ذلك فنفس علاقة التيارات المتجهية تكون هي علاقات القدرة الفعالة والقدرة غير الفعالة بنسبة الجهد كما في شكل (3). القدرة الكلية ببساطة هي مضروب الجهد في التيار وتسمى بالقدرة الظاهرية (Apparant power) وهي المجموع المتجهي للقدرة الفعالة والقدرة غير الفعالة (المغنطة). الأولى تعطى بالكيلو فولت أمبير والثانية

بالكيلووات والثالثة بالكيلو فار.

معامل القدرة المتقدم والمتأخر وسريان القدرة غير الفعالة في الشبكات

لأي مصنع أو حمل معامل القدرة المتقدم والمتأخر يتداخلان ما لم يعرف اتجاه سريان القدرة غير الفعالة. فيقال أن معامل قدرة الحمل متقدم إذا كان اتجاه سريان القدرة غير الفعالة خارجا من الحمل. ويصبح معامل القدرة متأخراً إذا كان سريان هذه القدرة غير الفعالة إلى داخل الحمل. كما في شكل (4). الأحمال الحثية تتطلب سريان قدرة غير فعالة في اتجاه الحمل لإحداث المغنطة مبينة معامل قدرة متأخرة lagging أو "معامل قدرة حثي".

معامل القدرة المتقدم (Leading) يمكن أن يحدث إذا كان الحمل نفسه يولد كيلو فار. كمثال لذلك المحركات التزامنية ذات التغذية الزائدة كما في شكل (4) أو خطوط نقل القدرة الكهربية ذات الأطوال الهائلة. مثال آخر لمعامل القدرة المتقدم يحدث عندما تكون الشبكة ذات تعويض قدرة غير فعالة زائدة بالمكثفات. وفي وجود الكابلات الطويلة التي تسبب كيلو فار نهائي خارج من الحمل للشبكة. معامل القدرة المتقدم يقال له أيضاً معامل قدرة سعوي.

أسباب تدني معامل القدرة

معاملات القدرة المتدنية في المحطات والمصانع تعزى إلى الأعداد الكبيرة من الأحمال الحثية. يتدنى معامل القدرة أكثر إذا ما عملت الأحمال عند تحميل أقل من القيم التصميمية المقننة لأن تيار المغنطة الذي يكون ضرورياً لتشغيل الجهاز سيشكل نسبة كبيرة من التيار الكلي المحسوب بالحمل.

سبب عام لمعاملات القدرة المتدنية في المحطات وجود محركات غير محملة ميكانيكياً حيث أن معامل القدرة للمحرك الحثي يقل بسرعة عندما يقل الحمل الميكانيكي للمحرك. المحركات يجب أن تعمل مع الحمل الكامل أو أن تزود بوسائل تعويض معامل القدرة.

أضرار تدني معامل القدرة وفوائد رفعه وتحسينه

معامل القدرة المتدني له عدة متتابعات سلبية تقلل الكفاءة وتزيد تكاليف التشغيل للمحطات والأحمال. وأهم الأضرار الاقتصادية هي وجود الغرامة لمعامل القدرة المتدني مع المشاكل الأخرى التي سيتم عرضها.

أ- غرامات معامل القدرة (Power Factor Penality)

طبقاً لمكونات تعريفة بيع التيار الكهربي في مصر فإن كبار المستهلكين التجاريين والصناعيين يتعرضون للغرامة بإضافة تكاليف إضافية لفاتورة حساب استهلاك الكهرباء إذا ما كان معامل القدرة المتوسط للشهر يقل عن (0.9) في مصر (ويقل عن 0.86 في أوروبا وأمريكا) وكمية الغرامة تحسب في مصر كما يلي :

(I) إذا وقع معامل القدرة ما بين 0.6 و 0.9 فالغرامة تكون مساوية لـ 1% من الاستهلاك السنوي مضروباً في نصف فرق معامل القدرة عن الـ 0.9.

(II) إذا كان معامل القدرة أقل من 0.6 حتى 0.4 فالغرامة تكون 1% من الاستهلاك السنوي مضروباً في فرق معامل القدرة عن الـ 0.9.

(III) غير مسموح بالعمل بمعامل قدرة يقل عن 0.4 في مصر.

معامل القدرة المتوسط لمحطة التوليد وللمستهلك يحسبان من قراءات عدادات الكيلو وات والكيلو فار. ساعة كالآتي :

معامل القدرة المتوسط = (الكيلووات . ساعة)/ (الكيلووات . ساعة)^2 + (كيلو فار . ساعة)^2) $^{2/1}$.

وتحسين معامل القدرة بحيث يصبح المتوسط السنوي يساوي 0.9 أو يزيد عنها يؤدي إلى وفر مكافىء للغرامة التي تم تجنبها في الفاتورة القادمة ولمدى العمر الافتراضي للشبكة.

ب- استطاعة الشبكة (System capacity)

معامل القدرة المتدني يقلل من استطاعة الشبكة الكهربية حيث أن الشبكة يجب أن تتحمل التيار الكلي ولكن التيار الفعال فقط هو الذي يتحول إلى قدرة نافعة. فمثلاً محول قدرته 500 كيلو فولت. أمبير يمكن أن يمد أحمالاً نافعة بـ 400 كيلو وات مع معامل قدرة 0.8 وبـ 350 كيلووات مع معامل قدرة 0.7. عند تحسين معامل القدرة إلى 0.9 فيمكنه امداد قدرة فعالة نافعة لأحمال تصل إلى 450 كيلو وات. فتحسين معامل القدرة من 0.8 إلى 0.9 يمكن المحول من امداد 50 كيلووات زيادة بينما تحسينها من 0.7 إلى 0.9 يمكنه من امداد أحمال نافعة تصل إلى 100كيلووات. هذه الأحمال على مدى 24 ساعة ولمدة 30 عاماً تؤدي إلى بيع عدد كبير من الكيلووات. ساعة تصل إلى حوالي 11 مليون كيلوات. ساعة أو 22 مليون كيلوات. ساعة في عمر المحول.

كذلك نفس المثال ينطبق للتوليد الذاتي للقدرة الكهربية للمولدات التي تدار بماكينات الديزل والتي تصمم على كيلو فولت أمبير مقنن. هذه القيم المقننة للكيلو فولت. أمبير لا يمكن الوصول إليها والاستفادة منها سوى بمعامل قدرة كبير لأحمال المحطة.

الأمثلة الأخرى أيضاً مع خطوط النقل والكابلات والقواطع والمعدات الكهربية الأخرى التي توصف دائماً باستطاعتها من الكيلو فولت أمبير. فاستطاعة هذه المعدات للإمداد بقدرة نافعة تتناقص مع وجود معامل القدرة المتدني. ورفع معامل القدرة يؤدي للاستفادة بأقصى كمية من الكيلو فولت أمبير المصمم عليه كل معدة.

ج- التكاليف الرأسمالية للشبكات الجديدة

كما أسلفنا استطاعة الشبكة تتناقص مع معامل القدرة المتدني مما يستتبع استثمارات أكبر في صورة موصلات ذات مقاطع أكبر ومحاولات أكبر ومفاتيح لها قدرة أكبر.. الخ عندما يكون معامل القدرة متدنياً عادة فإن تكاليف مكثفات تحسين معامل القدرة تعتبر أفضل استثمار لأنه يقلل من حجم وتكاليف كل معدات الشبكة ومولداتها لنفس الحمل المستفاد.

د- فواقد شبكة التوزيع

معامل القدرة المتدني يسبب زيادة فواقد شبكة التوزيع. فبينما تكون هذه الفواقد صغيرة في حدود (2.5%-7.5%) من استهلاك المحطة النمطي والتزايد يكون قليلاً. فالآثار تكون هامة وصارخة على مستوى شبكة النقل والتوزيع الوطنية. حيث أن الفواقد تتناسب مع مربع التيارات الكلية المارة في كل الموصلات والدوائر. ومعامل القدرة المتدني يكون مصحوباً بزيادة كبيرة في التيارات الكلية في الشبكة لكي تغذي قدرة حقيقية مطلوبة للأحمال. وعلى ذلك فالفواقد في شبكة التوزيع والنقل ستزيد بمربع نسبة التيار الكلي للتيار الفعلي حال تحسين معامل القدرة للوحدة. فمثلاً فهبوط معامل القدرة من 85% إلى 80% يؤدي لزيادة 13% في فواقد التوزيع ويجعلها تزيد من 2% إلى 2.26%. هذه الزيادة إذا كان معامل القدرة الأصلي 0.7 وسعر الكيلووات. ساعة 07, جنيه/ كيلووات. ساعة والزيادة في الفواقد تصل إلى 0.26% فذلك يكلف 1100 جنيه في السنة لحمل أصلي مقداره 1000 كيلووات يعمل عند 400 فولت وسعر الكيلووات. ساعة 7 قروش فقط.

تقليل الفواقد نتيجة لزيادة معامل القدرة تحسب كالآتي :

التقليل في الفواقد = 1 - (معامل القدرة الأصلي/ معامل القدرة المحسن)^2

شكل (5) يعطي رسماً سريعاً للكمية المقللة (الموفرة) في الفواقد بتحسين معامل القدرة. نقطة A على الرسم مثلاً توضح أنه إذا كان معامل القدرة الأصلي 0.75 وتم تحسينه إلى 0.95 فواقد شبكة التوزيع (I^2R) ستقل بـ 35%. فعلى سبيل المثال القطاع الصناعي لاستهلاك الكهرباء في مصر في عام 1988 يستهلك 8400 جيجاوات. ساعة/ السنة ومعامل القدرة المتوسط لشبكة التوزيع أقل من 0.8 ويفرض أن فواقد الـ (I^2R) في خطوط النقل والتوزيع حوالي 5% من الاستهلاك الكلي للمستهلك تصبح حوالي 420 جيجاوات. ساعة في السنة. وعلى ذلك فتحسين معامل القدرة من 0.8 إلى 0.95

يؤدي في شكل (5) إلى وفر في الفواقد يقدر بـ 31%. أي أن الوفر في الفواقد يساوي 130 جيجاوات. ساعة في السنة. وبفرض أن الاستهلاك المنزلي المتوسط للمنزل الواحد 250 كيلووات. ساعة/ الشهر. فإن الوفر في الفواقد سنوياً فقط سيكفي لتغذية نصف مليون منزل جديد.

هـ- اتزان الجهود

سبئة أخرى تضاف للتشغيل بمعامل قدرة متدني هي عدم الاتزان التي ينشأ في جهود الشبكة. حيث أن قيمة هذه الجهود مرتبط بالقدرة غير الفعالة السارية على الشبكة. وبزيادة هذه القدرة غير الفعالة يزداد الانحدار في الجهد ويؤدي لظاهرة عدم الاتزان إذا ما وصل الانحدار للجهد الحرج لنقطة التوصيل بالشبكة. وتقلبات الجهود مرتبطة عموماً بظروف معامل القدرة المتدني. والتحكم في الجهد يصبح أكثر صعوبة. فبينما قد لا يكون معامل القدرة اقتصادياً لغرض التحكم في الجهد. فإن اتزان الجهد دائماً يكون ذا فائدة جديدة لتحسين معامل القدرة.

تصحيح معامل القدرة

معامل القدرة المتأخر يحدث نتيجة لمرور الكيلو فار في اتجاه المحرك الحثي لتصحيح أو لتحسين معامل القدرة. إن هذا الكيلو فار يجب أن يقلل. فإذا كان من الممكن امداد جزء من هذا الكيلو فار من مصدر خارجي (كمكثف مثلاً) فإن المعدة الحثية لن يكون لها أي تأثير على شبكة التغذية وسيتحسن معامل القدرة. فإذا كان كل الكيلو فار المطلوب للحمل سيغذى من مصدر خارجي فإن معامل القدرة سيمكن تحسينه للوحدة.

المصدر الفعال والمعروف للكيلو فار هو المكثف الذي يخزن ايونات مشحونة سالبة ويعوض فقدها في الشبكة بتيارات المغنطة.

1- التعويض الفردي Individual Compensation

التعويض الفردي أو التعويض عند المصدر هو أبسط وأكثر الطرق فعالية لتحسين معامل القدرة ولها عدة مزايا. وهي :

* التحسين يؤثر على كل شبكة التوزيع من المكثف وحتى المصدر وهكذا فاستطاعة كل شبكة التوزيع ستزداد.

* لا يتطلب مفاتيح فصل وتوصيل إضافية. فالمكثف يمكن توصيله مع المعدة المراد تعويض معامل قدرتها على نفس مفاتيحها.

* أحجام المكثفات تكون أبسط (أصغر).

* المكثف يكون مرتبطاً إلى المعدة ويمكن أن يبقى مربوطاً لو أزيلت المعدة أو أعيد توصيلها.

ويستخدم التعويض المنفرد بصفة خاصة مع الشبكات ذات المعدات التي تُضاف إلى تدني معامل قدرة القدرة. في هذه الحالة تركب المكثفات فقط إلى المعدات ذات معامل القدرة المنخفض. كمثال لذلك هو لمبات الفلورسنت ولمبات الإضاءة شديدة الإضاءة كتلك التي في الشوارع أو دوائر الإضاءة عموماً.

من عيوب هذه الطريقة هي أن التكاليف لكل كيلو فار تكون أكبر. فالوحدات الكبيرة تكون دائماً أوفر. كذلك فإن الأحمال تميل للتقلبات الواسعة. فالمكثف المناسب لتعويض الحمل الكامل يمكن أن يؤدي إلى زيادة تعويض (Over Compensation) عند الأحمال القليلة مما يؤدي لمعامل قدرة متقدم. القيم المطلوبة للمكثفات هي كالآتي :

* أحمال الإضاءة : لمبات الفتيل لا تحتاج لتحسين معامل قدرة أو لمبات الفلورسنت. فمعادل قدرتها المتوسط 0.50 واللمبة ذات القدرة 20 وات تحتاج لمكثف قدرته 35 فار وتلك التي قدرتها 40 وات تحتاج لمكثف قدرته 70 فار عند جهد 250 فولت لتحسين معامل قدرتهم إلى الوحدة. لمبات إنارة الشوارع من بخار الزئبق التي تعمل تحت جهد 250 فولت وذات قدرة 250 وات تحتاج لمكثف قدرته 600 فار لتحسين معامل قدرتها من 0.39 الوحدة. أما نفس اللمبة ذات القدرة 400 وات فتحتاج لمكثف قدرته 960 (فار). لنفس الغرض لمبات بخار الصوديوم معامل قدرتها المتوسط 0.58 وتحتاج لمكثف 325 (فار) تحت جهد 250 فولت لتحسين معامل قدرتها للوحدة إذا كانت قيمتها 250 وات. أما إذا كانت قدرتها 400 وات تحتاج لمكثف قدرته 520 فار لنفس الشروط.

المحولات

لتعويض تيارات التغذية الحثية التي تمثل حملاً دائماً على الشبكة يلزم توصيل مكثفات لتحسين معامل قدرة على الناحية الابتدائية للمحول. جدول (1) يبين مقننات المكثفات اللازمة لمختلف المحولات ذات السعات المختلفة.

المحركات الحثية

مكثفات تحسين معامل القدرة للمحركات الحثية يجب توصيلها جيداً كما في شكل (6) لتوصيل جيد وتوصيل خاطىء. وتعتمد قيمة مقنناتها على سرعة المحرك ودرجة تحميله الميكانيكي حيث أن معامل قدرة التيار المسحوب تعتمد عليه كاملاً. جدول (2) يعطي قيم مقننات المكثفات اللازمة لمختلف

أنواع المحركات الحثية.

أفران القوس الكهربي

هذه الأفران يتراوح معامل قدرتها ما بين الوحدة عند اللاحمل إلى الصفر عند تيار معين ويكون ما بين 0.7-0.8 عندما تنتج الفرن أقصى قدرة حرارية في القوس الكهربي. لذلك يلزم لها مكثفات تحسين معامل قدرة. ولقد وجدت الدراسات الحديثة أن الفيزات الثلاثة تكون دائماً غير متوازنة وأن توازن الحمل مع تحسين معامل القدرة يتطلب مكثفات صغيرة وغير متساوية القيمة تحسب بطريقة معينة.

أحمال اللحام بالقوس الكهربي

محولات اللحام بالقوس الكهربي سواء كانت ذات وجه واحد أو ثلاثة أوجه تعاني من معامل القدرة المتدني. ونظراً لأنها تعمل ما بين القصر الكامل واللاحمل فتحسين معامل قدرتها يجب ألا يزيد عن 0.62 في المتوسط. جدول (3) وجدول (4) يوضحان سعة المكثفات المطلوبة لهذه المحولات لتحسين معامل قدرتها وتوصل مع الملف الابتدائي لمحول اللحام.

أحمال التحليل الكهربي ومحطات استخلاص الألمنيوم

هذه الأحمال تغذى من محطات موحدات كبيرة معامل قدرتها يتراوح بين 0.85 و 0.95 ويلزم لها مكثفات تحسين معامل قدرة مرتبطة بمرشحات تقليل التوافقيات. المكثفات تكون جزءاً من المرشحات وتكون قدرتها 130% من القدرة المقننة لنفس القدرات عند عدم وجود التوافقيات.

أحمال الالكترونيات الصناعية

كل أحمال الالكترونيات الصناعية تزود بدوائر خاصة لتحسين معامل القدرة باستخدام تقنيات متعددة في مجال الالكترونيات الصناعية مع مراعاة وجود التوافقيات وتأثيرها على مقننات المكثفات. هذه التقنيات تستخدم دوائر خاصة مع تغيير في شكل وزمن نبضات أشعال الثايروستورات.

ب- التعويض في مجموعات (Group Compensation)

التعويض في مجموعات له مزايا اقتصادية فوق التعويض الفردي. فتكاليف المواد والتركيبات تكون أقل بينما تساهم في زيادة استطاعة شبكة التوزيع. عيوب التعويض في مجموعات ينحصر في ضرورة التحكم في كمية المكثفات المطلوبة أثناء تغييرات الحمل وعمليات الوصل والفصل المحتملة في الشبكة مما يسبب زيادة التكاليف الأولية. تعبير "محطة تحسين معامل القدرة" يستخدم عادة مع مكثفات تحسين القدرة لهذه الشبكة والنظام التالي.

ج- التعويض المركزي (Central Compensation)

يعتني التعويض المركزي شكل (7) بتحسين معامل قدرة المحطة ككل. فهو يقدم ابسط وارخص التجهيزات المقدرة على التوصيل. والفصل ضرورة للتحكم في المكثفات أثناء تغيير تحميل الأحمال. العيب الوحيد للتعويض المركزي هو أنه لا يزيد استطاعة شبكة التوزيع لمحطة التوليد كالطرق السابقة.

المكثفات عادة ما تركب في خطوات كل منها 25 أو 50 كيلو فار أو أكثر معتمداً على حجم المصنع ودقة التحكم المطلوب. فبالإضافة إلى لوحة المفاتيح الرئيسية المسؤولة عن التحكم في فصل وتوصيل المكثفات بلوحة التحكم الرئيسي ومفاتيح التحكم ولمبات البيان تكون إضافات ضرورية تستخدم حساسات التحكم لمراقبة الكيلو فار ومنها مرحلات التأخير الزمني التي تتحكم في خطوات مجموعات المكثفات لتصبح مكهربة أو غير مكهربة في الدائرة طبقاً للاحتياج إليها من عدمه.

وسائل تعويض معامل القدرة للأحمال

أ- المحرك الزمني (المعوض التزامني)

أقدم وسائل تعويض القدرة غير الفعالة هو المحرك التزامني. ولقد خدم الشبكات فترة طويلة وانحسر استخدامه مع ظهور الالكترونيات الصناعية وانتهى تماماً من شبكات العالم المتقدم كالشبكة الفرنسية والسويسرية والألمانية.

فالمحرك يمكنه توليد الكيلو فار وحقنه للشبكة لتحسين معامل قدرتها ويسمى (المكثف التزامني). ويمكن تغيير معامل قدرة تيار المحرك بتغيير تغذيته بالتيار المستمر فقط. ففي حالة التغذية الضعيفة فالمحرك يسحب تياراً متأخراً وفي حالة تغذيتها بتغذية كبيرة فيقل حاجتها لتيار المغنطة. وعندما يزداد تغذية المحرك عن التغذية العادية فإن دوائر المحرك تعطي كيلو فار للشبكة كما يعمل كمكثف. عيوبه أنه دائم الحركة حتى مع عدم التحميل ويتطلب صيانة مستمرة وله ضوضاء كبيرة مع تغيير دائم لفرش التغذية.

ب- المعوض الاستاتيكي من نوع الـ

(Static VAR TSC Compensator, type TSC)

مع ظهور الثايرستور في العقدين الماضيين أمكن التحكم في تيارات المكثف استاتيكيا بدون الحاجة لمرحلات أو مفاتيح وصل وتوصيل وبدون حركة. فالمكثفات تكون في مجموعات وتوصل إلى مجموعات من الثايروستورات متصلة مع مجموعة أخرى في اتجاه معاكس. بهذه الثايروسترات يمكن التحكم في التيار الداخل للمكثفات وبالتالي فالكيلو فار اللازم لتحسين معامل القدرة يساوي (I^2X) يتغير دائماً مع تغير الـ I بعض الأنواع. يوصل ويفصل في مجموعات.

ج- المكثفات الثابتة على التوازي

المكثفات التي توصل خلال مفاتيح على التوازي مع الأحمال تستخدم في تحسين معامل القدرة سواء للأحمال منفصلة أو في مجموعات المكثفات تفصل بمرحلات تعمل بمعامل القدرة كإشارة تغذية لها.

تحسين معامل القدرة في وجود التوافقيات

أهم الاعتبارات في تركيبات معدات تحسين معامل القدرة هو وجود توافقيات في الشبكة من عدمه. هذه التوافقيات تأتي غالباً من المعدات الالكترونية كالثايروسترات التي تسد بوجود المكثفات الاستاتيكية المسببة لجهود عالية وللمشاكل المصاحبة لها في القدرة. إذا وجدت التوافقيات فيجب أن تعرف وأن ترشح جيداً للتأكد من تشغيل معدات تحسين معامل القدرة بأعداد كبيرة. وجود التوفقيات يتطلب مكثفات ذات مقننات أكبر وجهود قصوى أكبر من القيم التصحيحية لنفس ظروف الأحمال عندما لا يوجد توافقيات في جهود الشبكة. التوافقيات تؤدي لزيادة تسخين المكثفات وزيادة الفواقد فيها وتخمير مادة الموصلات والمفاتيح ولانفجار مصهرات الحماية للمكثفات المتصلة في مجموعات.

حساب مقننات المكثفات المطلوبة

وحدات المكثفات الاستاتيكية المستخدمة في تحسين معامل القدرة تعرف عادة بقدرتها بالكيلو فار. وتوجد نومو جرامات وجداول لحساب مقنناتها لأي حمل. ولحساب الكيلو فار المطلوب لتحسين معامل قدرة لحمل معين فيجب معرفة ثلاث معلومات. وهي :

(1) معامل القدرة الحالي : سواء للحمل أو المحطة المطلوب تحسين معامل قدرتها ($\cos \theta 1$). يجب قياس معامل القدرة الحالي عند مختلف الظروف التحميلية. وأقل القيم المسجلة خلال السنة الأخيرة يمكن أن تستخدم لحساب مقننات المكثفات.

(2) حمل الشبكة أو المعدة المراد تحسين معامل قدرتها (بالكيلو وات) "P" ويستخدم الحمل المقابل لمعامل القدرة المقاس. وأكبر أقصى طلب مسجل في السنة الماضية يمكن أن يشكل قيمة أساسية للحمل. وللحصول على نتائج أكثر تحفظاً فالحمل المركب (Total Installed Load) يمكن أن يستخدم.

(3) معامل القدرة الجديد المرغوب فيه : في مصر حيث تعريفة الكهرباء تحدد غرامة معامل قدرة إذا قل معامل القدرة عن 0.9 فأقصى درجة تحسين اقتصادية وجدت عندما يكون معامل القدرة النهائي يساوي 0.9 ولمعامل أمان تشغيلي فإن 0.92 إلى 0.95 يمكن أن يستخدم كأساس في التصميم وكبديل. فالحساب يمكن أن يؤسس على أحمال أكبر. معامل القدرة الجديد هو ($\cos \theta 2$).

الصيغة الرياضية الآتية مع المعلومات الثلاثة السابقة يمكن أن تحدد الكيلو فار السعوي المطلوب لتحسين من معامل قدرة ($\cos \theta 1$). ولأخر ($\cos \theta 2$) لحمل مقداره P كيلو وات كالآتي :

$$KVAr\ (required) = P\ (\tan \theta 1\ \tan \theta 2)$$

$$KVar\ (required = KP$$

حيث K يساوي ($\tan \theta 1 - \tan \theta 2$) ويعطى بـ (KVAr/ Kw) ويسمى بمعامل التحسين (Correction factor).

جداول تحسين معامل القدرة

معامل التحسين السالف ذكره قد حسب في جداول (جدول 5) ونوموجرامات لتمكين مهندس التشغيل من الحساب بسهولة دون الحاجة لحسابات المثلثات ووجود الآلات الحاسبة. فالعامود الأول حوى معامل القدرة الحالي والأعمدة المتتالية تحوي معامل القدرة المطلوب. فالرقم المقابل لمعامل القدرة الحالي ومعامل القدرة المطلوب يمثل معامل تحسين معامل القدرة الذي إذا ضرب في قدرة الحمل بالكيلو وات ينتج عنه قدرة المكثف المطلوب بالكيلو فار ومعرفة جهد الشبكة بالفولت (V) فإن سعة المكثف يمكن تحديدها من :

$$C = [KVAr/ (314,15\ (V)2)] \times 1000 \text{ (فاراد)}$$

فمثلاً لتحسين معامل قدرة حمل ما إلى 0.9 من معامل قدرة حالي 0.74 فمعامل التحسين من الجدول نجده يساوي 0.42 والمكثف المطلوب لحمل مقداره 100 كيلو وات مقننة هو 42 كيلو فار عند جهد 220 فولت.

المقننات القياسية للمكثفات

حساب مكثفات تحسين معامل القدرة بالطريقة السابقة تنتج في مقننات معينة بينما تصنيع المكثفات يتم في وحدات مضاعفة للـ 12.5 كيلو فار أي 25, 50, 75, 100 كيلو فار

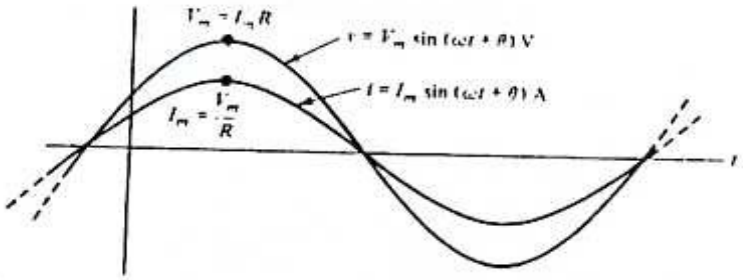
وهكذا. كذلك يضاف 10% سماحية تصنيع للقيم المحسوبة سابقاً. فمثلاً محطة ذات حمل 600 كيلو وات يراد تحسين معامل قدرتها من 0.75 إلى 0.85. فنجد أن معامل التحسين من الجدول يعطي 0.398 (كيلو فار/ كيلو وات). وعلى ذلك فمقدن المكثف المطلوب يساوي (398x600) أي 239 كيلو فار بإضافة 10% يصبح 263 كيلو فار وأقرب رقم له هو 275 كيلو فار. ويمكن تشكيله كالآتي : (5 مجموعات كل منها 50 كيلو فار ومجموعة 25 كيلو فار) أو في صورة (مجموعتين سعة كل منهما 100 كيلو فار وواحدة سعتها 75 كيلو فار) أو حتى (3 مجموعات كل منها 100 كيلو فار) أو (6 مجموعات كل منها 50 كيلو فار) بزيادة (25 كيلو فار كمعامل أمان) مع مراعاة أن الـ 600 كيلو وات هي القدرة الفعالة التي تعطي شغلاً بينما القدرة الاستطاعية للمحطة هي 800 كيلو وات. الحساب على أساسها ينتج في تركيب مكثفات ليست ذات أهمية تشغيلية. ويمكن أن تؤدي لتكاليف إضافية تبلغ 20.000 جنيه غير مستغلة إذا كانت تكاليف المكثف 200 جنيه لكل كيلو فار.

فترة استعادة سعر مكثف تحسين معامل القدرة
(Simple Payback)

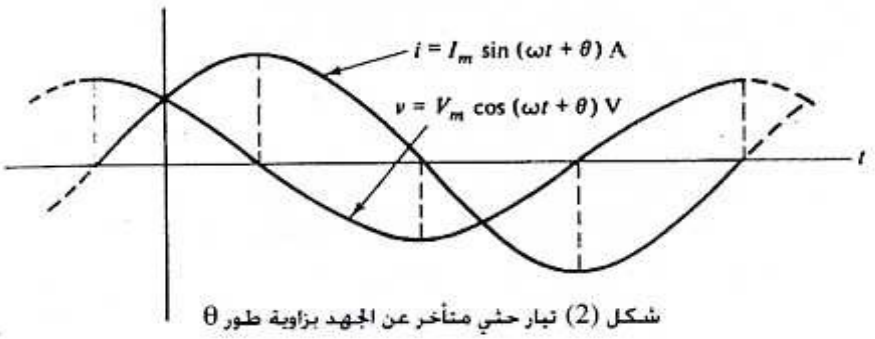
مكثفات تحسين معامل القدرة تنتج في توفير طاقة مفقودة في الشبكة نتيجة لتقليل التيارات بها ويمكن حساب مدة استعادة سعر المكثف بمثال :

مثال : إذا كانت شركة صناعية تعمل بمعامل قدرة 0.79 ويراد تحسين معامل قدرتها 0.92 لتجنب غرامة معامل القدرة المتدني وإذا كان أقصى طلب لها هو 100 كيلو وات والاستهلاك المتوسط 5 مليون كيلو وات. ساعة معامل التحسين من معامل قدرة 0.79 إلى معامل قدرة 0.92 من الجداول هو 0.350 وعلى ذلك فالمكثف المطلوب لتجنب غرامة معامل القد رة قدرته تساوي 350 كيلو فار.

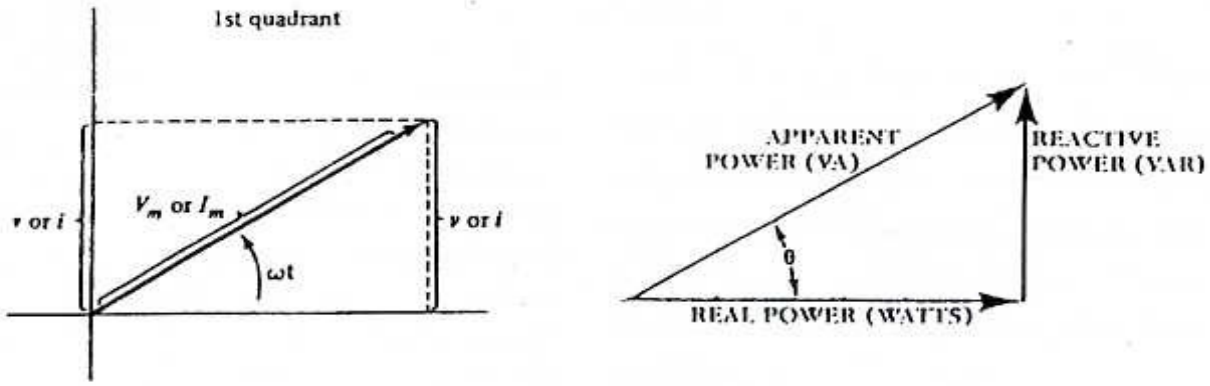
باعتبار المكثفات مزودة بدوائر تحكم وأسعارها 300 جنيه لكل كيلو فار. فسعر المكثفات المطلوبة الكلي يصل إلى 105.000 (جنيه مصري) وإذا كان سعر الكيلو وات. ساعة لهذه الشركة 18.9 قرشاً فإن الغرامة ستساوي 51.900 (جنيه مصري) في السنة. وعلى ذلك قيمة الغرامة في سنتين فقط 105.000 ستغطي تكاليف المكثفات. ويصبح هناك وفراً مقداره 51.900 جنيه سنوياً لمدة 28 سنة. أي يوفر كل مقداره حوالي 1.45 مليون جنيه بعد سداد ثمن المكثفات بفرض أن عمر المكثفات الافتراضي 30 سنة



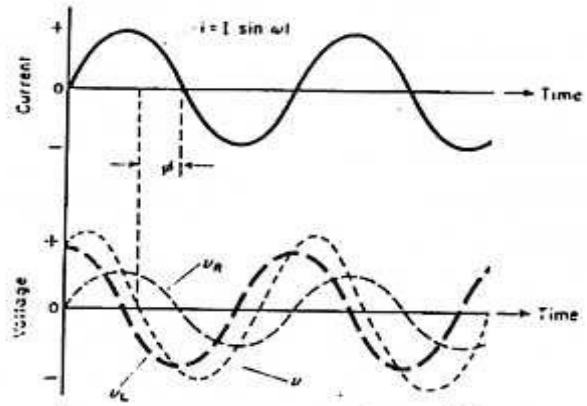
شكل (1) جهد وتيار دائرة في نفس الطور



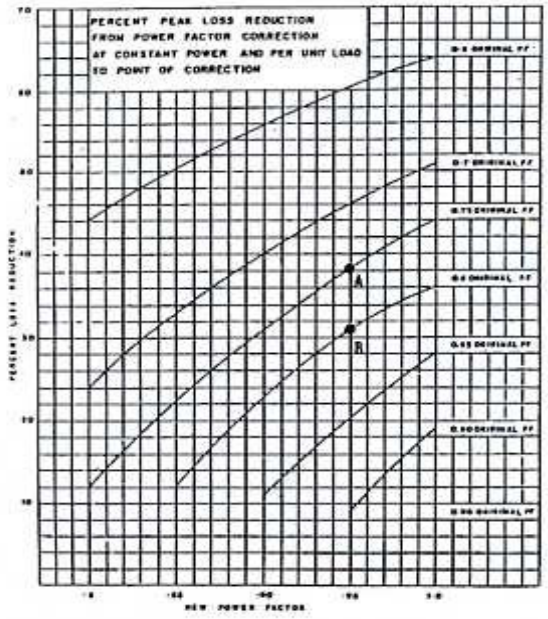
شكل (2) تيار حثي متأخر عن الجهد بزاوية طور θ



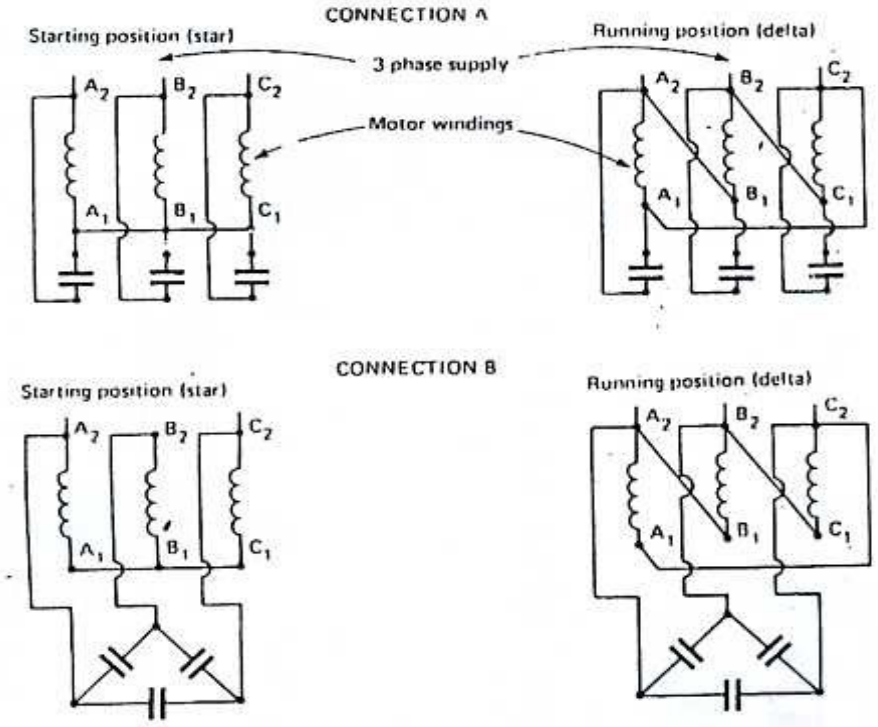
شكل (3) العلاقات المتجهه للتيار والجهد



شكل (4) معامل قدرة متقدم ومعامل قدرة متأخر

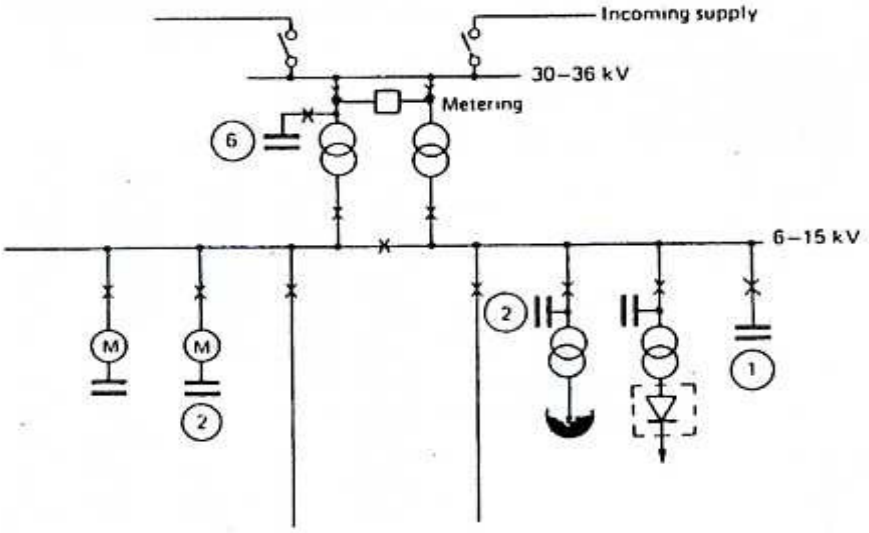


شكل 5) الفوائد فى الشبكة مع معامل قدره الحمل



شكل (6) التوصيل الصحيح لمكثفات تحسين معامل قدره المحرك

الحثى مع مقوم (دلتا / نجمه)



شكل (7) التعويض المركزى لاحمال المصانع

جدول (1)

Capacitor ratings for direct connection to transformers

Transformer Nominal rating KVA	Capacitor rating in Kvar at Voltages of		
	5/10 KV	15/20 KV	25/30 KV
25	2	2.5	3
40	3	4	5
50	4	5	6
63	5	6	7
75	5	6	7
80	6	7	8
100	6	8	10
125	7	8	10
160	10	12	15
200	10	15	20
250	15	18	22
315	18	20	25
400	20	22	28
500	20	25	30
630	30	32	40
750	30	35	45
1000	45	50	55

جدول (2)

Capacitor size required to improve power factor to 0.86 and showing extra power available by improving the power factor.

Trans. Rating KVA	Initial power factor	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
	Extra power available at Power factor improved to 0.86 Expressed in % of rated power of transformer	65%	53%	42%	30%	18%	7%
16	Capacitor size in Kvar to obtain a power factor of 0.86	13	11	9	7	5	2
25		20	17	15	11	8	3
40		32	28	23	18	12	5
63		50	45	36	28	18	8
80		62	55	45	35	25	10
100		80	70	57	45	30	12
125		100	85	70	55	37	15
160		125	110	90	70	45	20
200		155	140	115	90	60	24
250		195	170	140	110	75	30
315		245	215	180	140	95	38
400		310	275	225	175	120	48
500		390	340	280	220	150	60
630		490	430	355	275	185	75
800		620	550	450	350	235	95
1000		775	680	565	440	295	120

جدول (3)

Recommended capacitor ratings for use with typical single-phase single-operator arc-welding transformers.

Continuously	Average Uncorrected Power factor	Recommended Capacitor KVAR	Corrected Power factor
9	0.35	4	0.55
12	0.35	6	0.625
18	0.35	8	0.58
24	0.35	12	0.62
30	0.35	15	0.62
36	0.35	18	0.62

جدول (4)

Recommended capacitor ratings for use with three-phase multi- operator arc-welding transformers.

Type	Maximum Rating KVA	Continuously Rated KVA	Uncorrected Power Factor	Recommended Capacitor KVAR	Corrected Power Factor
350/3	95	57	0.35	16.5	0.48
350/6	190	95	0.35	30	0.49
350/9	285	128	0.35	45	0.51
350/12	380	160	0.35	60	0.53

جدول (5)

Table 3.3 *continued*

Initial power factor	Multiplying factor for improving power factor to: Unity	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.90	0.85	0.80
0.70	1.020	0.877	0.817	0.769	0.728	0.691	0.536	0.400	0.270
0.71	0.992	0.849	0.789	0.741	0.700	0.663	0.508	0.372	0.242
0.72	0.964	0.821	0.761	0.713	0.672	0.635	0.480	0.344	0.214
0.73	0.936	0.793	0.733	0.685	0.644	0.607	0.452	0.316	0.186
0.74	0.909	0.766	0.706	0.658	0.617	0.580	0.425	0.289	0.159
0.75	0.882	0.739	0.679	0.631	0.590	0.553	0.398	0.262	0.132
0.76	0.855	0.712	0.652	0.604	0.563	0.526	0.371	0.235	0.105
0.77	0.829	0.686	0.626	0.578	0.537	0.500	0.345	0.209	0.079
0.78	0.802	0.659	0.599	0.551	0.510	0.473	0.318	0.182	0.052
0.79	0.776	0.633	0.573	0.525	0.484	0.447	0.292	0.156	0.026
0.80	0.750	0.607	0.547	0.499	0.458	0.421	0.220	0.130	—
0.81	0.724	0.581	0.521	0.473	0.432	0.395	0.240	0.104	—
0.82	0.698	0.555	0.495	0.447	0.406	0.369	0.214	0.078	—
0.83	0.672	0.529	0.469	0.421	0.380	0.343	0.188	0.052	—
0.84	0.646	0.503	0.443	0.395	0.354	0.317	0.162	0.026	—
0.85	0.620	0.477	0.417	0.369	0.328	0.291	0.136	—	—
0.86	0.593	0.450	0.390	0.342	0.301	0.264	0.109	—	—
0.87	0.567	0.424	0.364	0.316	0.275	0.238	0.083	—	—
0.88	0.540	0.397	0.337	0.289	0.248	0.211	0.056	—	—
0.89	0.512	0.369	0.309	0.261	0.220	0.183	0.028	—	—
0.90	0.484	0.341	0.281	0.233	0.192	0.155	—	—	—
0.91	0.456	0.313	0.253	0.205	0.164	0.127	—	—	—
0.92	0.426	0.283	0.223	0.175	0.134	0.097	—	—	—
0.93	0.395	0.252	0.192	0.144	0.103	0.068	—	—	—
0.94	0.363	0.220	0.160	0.112	0.071	0.034	—	—	—
0.95	0.329	0.186	0.126	0.078	0.037	—	—	—	—
0.96	0.292	0.149	0.089	0.041	—	—	—	—	—
0.97	0.251	0.108	0.048	—	—	—	—	—	—
0.98	0.203	0.060	—	—	—	—	—	—	—
0.99	0.143	—	—	—	—	—	—	—	—

From *Table 3.3*, 0.57 power factor $\tan \phi_1 = 1.442$
0.97 power factor $\tan \phi_2 = 0.251$
$\therefore \tan \phi_1 - \tan \phi_2 = 1.191$

$\therefore$ capacitor (kvar) = 100 × 1.191 = 120 kvar (approx)