2015

Power Factor Training Course

دورة تدريبية متكاملة في معامل القدرة

دورة تدريبية متكاملة عن تعريف معامل القدرة وشرحه بشكل مستفيض مزودة برسومات توضيحية وأمثلة مشروحة إلى جانب توضيح فوائد معامل القدرة وطرق تحسينه وتصحيحه بالإضافة إلى العديد من المسائل والنماذج المحلولة للتدريب ...

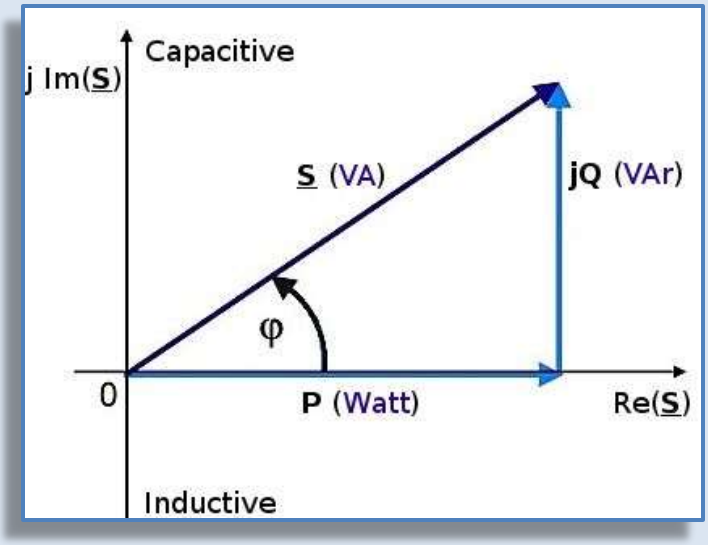
Hassan Salameh
Training Center

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

معامل القدرة :

هو النسبة بين القدرة الفعالة إلى القدرة الظاهرية ، وهو مساوٍ لجيب تمام زاوية الطور - والتي هي فرق زاويتي الجهد والتيار. لذا فهو قيمة عددية ليس لها وحدة قياس تتراوح من الصفر إلى الواحد، في محطات القدرة يحبذ ويتم السعي إلى أن يكون معامل القدرة أكبر ما يمكن حيث أنه بزيادة درجة معامل القدرة يزداد مقدارالقدرة الفعالة وتنخفض القيمة القدرة غير الفعالة أو القدرة المخزنة وتتراوح قيم معاملات القدرة في محطات القدرة التي تعتمد نظام [[التيار المتردد] الأحمال الكهربائية تقع في أحدى التصنيفات التالية:

1- مقاوم Resistive
2- حثي Inductive
3- سعوي Capacitive



معامل القدرة كما تظهر بالشكل الهندسي هو جيب التمام لزاوية الطور

والأحمال الكهربائية الأكثر شيوعاً هي الأحمال الحثية ومثال عليها: المحولات الكهربائية ومحركات التيار المستمر الحثية. وجميع هذه الأحمال (الحثية) تحتاج إلى نوعين من القدرة الكهربائية لكي تعمل:

- كما أن القدرة الفعّالة أو القدرة الحقيقية يعبر عنها بمصطلح Active Power or Real Power - KW
- وكذلك القدرة غير الفعّالة يعبر عنها بمصطلح Reactive Power - KVAR

ومن الجدير بالذكر أن القدرة الفعّالة هي القدرة المفيدة في الشبكة الكهربائية في حين أن القدرة غير الفعالة لا دور لها سوى توليد المجال المغناطيسي اللازم لعمل الأحمال الحثية. وفي جميع الأحوال, على شركات تزويد الطاقة الكهربائية تزويد التيار إلى أحمال المستهلكين بغض النظر أكانت مقاومية, سعوية أو حثية. وهذا التيار بلا شك, سيولّد طاقة مهدورة في خطوط النقل الكهربائي بحسب العلاقة معامل القدرة الكهربائية يعني تزويد طاقة ظاهرة اكثر من الطاقة الفعالة وتدني معامل القدرة الكهربائية يؤدي إلى زيادة في توليد التيار للتعويض مما يؤدي إلى خسائر الطاقة.

القدرة فى دارات التيار المتردد ذات الحمل المقاوم والفعال:

افترض دائرة تيار متردد مفردة الطور single-phase حيث يغذي مصدر 120 فولت و60 هرتز حمل مقاوم نقي:

حيث يمكن التعبير عن معاوقة الحمل بـ Z_R

$$Z_R = 60 + j0\,\Omega$$

أو

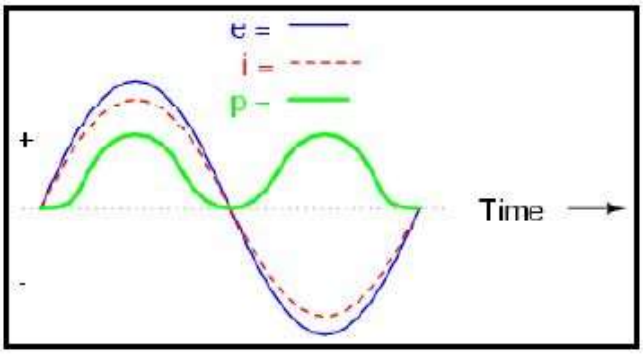
$$Z = 60\angle 0^o$$

$$\because I = \frac{E}{Z}$$

حيث E هى جهد المصدر (الجهد على الحمل) وZ هى معاوقة الدارة (الحمل فى حالتنا).

$$\therefore I = \frac{120V}{60\Omega} = 2A$$

يتضح لنا أن تيار الحمل سيكون ٢ أمبير (مربع جذر المتوسط RMS). وستكون القدرة المهدرة فى الحمل $I^2R = 240$ واط وذلك لأنه حمل مقاوم نقى (وطور التيار هو نفس طور الجهد). ولو أردنا رسم موجة التيار والجهد والقدرة على الحمل سيكون كالآتى:



لاحظ أن موجة القدرة موجبة دائما ولا تذهب أبدا إلى الناحية السالبة وذلك فى دارة مقاومة نقية. وهذا يعنى أن القدرة تكون مهدرة دائما عند وجود حمل مقاوم نقى.

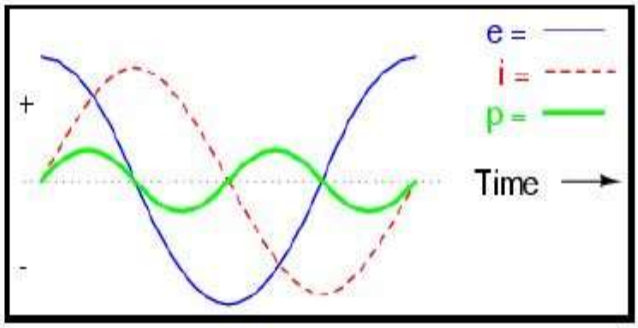
لاحظ أيضا أن شكل موجة القدرة ليس لها نفس تردد الجهد أو التيار بل إن ترددها ضعفهما.

أما إذا أخذنا دارة ذات حمل فعال reactive:

فإن معاوقة الحمل يجب حسابها تبعا لتردد المصدر لتساوى:

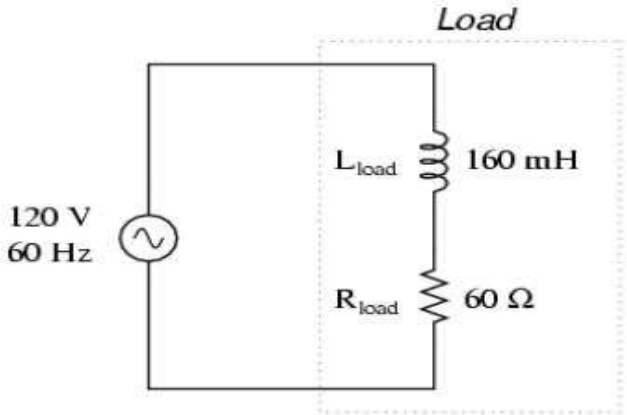
$$X_L = 2\pi fL = 2\pi \times 60 \times 160m = 60.319\Omega$$
$$\therefore Z_L = R + jX_L = 0 + j\,60.319$$
$$or$$
$$Z_L = 60.319\angle 90^o$$

$$\therefore I = \frac{E}{Z} = \frac{120}{60.319} = 1.989A$$



لاحظ أن القدرة تتأرجح بين الجزء السالب والموجب وهذا يعنى أن الحمل يعيد قدرة للدارة (فى النصف السالب) بقدر ما يهدر من قدرة (فى النصف الموجب) أى أن محصلة القدرة المهدرة فى الحمل تساوى صفر.

والآن لنأخذ دارة حملها يجمع بين النوع المقاوم والفعال:



$$X_L = 2\pi fL = 2\pi \times 60 \times 160m$$

$$Z_L = 0 + j\,60.319\Omega$$

or

$$Z_L = 60.319\Omega \angle 90^\circ$$

$$Z_R = 60 + j\,0\Omega$$

or

$$Z_R = 60\Omega \angle 0^\circ$$

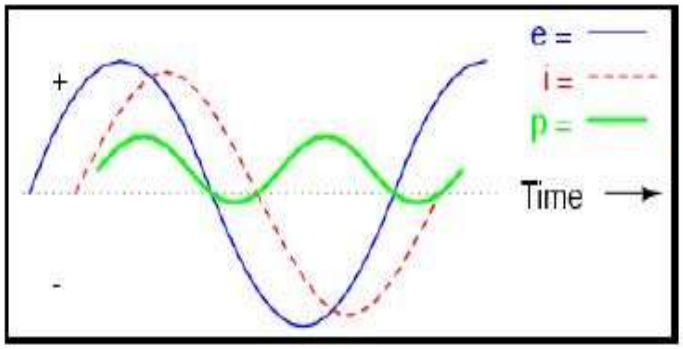
$$\therefore Z_{total} = 60 + j\,60.391\Omega$$

or

$$Z_{total} = 85.078\Omega \angle 45.152^\circ$$

$$\therefore I = \frac{E}{Z} = \frac{120}{85.075} = 1.41A$$

ولو رسمنا التيار والجهد والقدرة ستكون كالآتى:



عندما كان الحمل فعالا نقيا كانت القدرة تتأرجح بين الموجب والسالب بشكل متساوى مما يجعل الفقد الكلى فى القدرة بدارات الأحمال الفعالة النقية يساوى صفرا.

أما فى الدارات التى تجمع بين الحمل المقاوم والحمل الفعال (كالدارة السابقة) ستتأرجح القدرة بين السالب والموجب أيضا

ولكن سيزيد تأرجحها فى الجانب الموجب عن الجانب السالب أى أن الدارة التى تجمع بين الحمل المقاوم والحمل الفعال تهدر جزءا من القدرة أكبر من الجزء الذى تعيده للمصدر. وهذا الجزء الذى يعود إلى المصدر (أو إلى بقية الدارة) سببه وجود جزء فعال بالحمل أما سبب إهدار القدرة فهو الجزء المقاوم من الحمل (وغالبا مايكون هذا الإهدار فى صورة حرارة).

وتمثيل القدرة رياضيا فى دارات التيار المتردد يعتبر تحديا لأن موجة القدرة مختلفة فى التردد عن الجهد والتيار مما يعنى أن زاوية طور القدرة تختلف عن زاوية الطور للجهد والتيار وهذا يدل على وجود إزاحة زمنية بين موجتى الجهد والتيار. وزاوية طور القدرة تمثل النسبة بين القدرة المهدرة والقدرة المتولدة.

القدرة الفعالة والحقيقية والظاهرة:

عرفنا أن الأحمال الفعالة مثل الملفات والمكثفات لا تهدر أى قدرة على الرغم من الإنطباع الخادع بعكس ذلك نظرا لوجود جهد عليها وتيار مار بها. وهذه القدرة الخيالية التى يوحى بها مرور التيار ووجود الجهد على الأحمال الفعالة تسمى القدرة الفعالة *reactive power* وتقاس بوحدات تسمى جهد-أمبير-فعال *Volt-Amps-Reactive* وتعرف أختصارا بالوحدة فار – بتعطيش الفاء– (VAR) ويرمز لها بالرمز Q. أما القدرة الفعلية المستعملة بالدارة فتسمى بالقدرة الحقيقية *true power* وتقاس بالواط watts ويرمز لها بالرمز P ومحصلة هاتان القدرتان (القدرة الفعالة والقدرة الحقيقية) تسمى بالقدرة الظاهرة *apparent power* وتحسب من حاصل ضرب الجهد والتيار وبدون أخذ زاوية الطور فى الإعتبار. وتقاس القدرة الظاهرة بوحدات فولت-أمبير *Volt-Amps* (VA) ويرمز لها بارمز S.

وتنتج القدرة الحقيقية من عناصر الإهدار فى الدارة مثل المقاومات (R) أما القدرة الفعالة فتنتج من العناصر الفعالة (X) أما القدرة الظاهرة فتنتج من المعاوقة الكلية للدارة (Z).

يوجد العديد من العلاقات التى يمكن منها حساب الثلاثة أنواع من القدرة:

1- *true power* القدرة الحقيقية

$$P = I^2 R \quad (watts)$$

$$,P = \frac{E^2}{R} \quad (watts)$$

2- *reactive power* القدرة الفعالة

$$Q = I^2 X \quad (VAR)$$

$$,Q = \frac{E^2}{X} \quad (VAR)$$

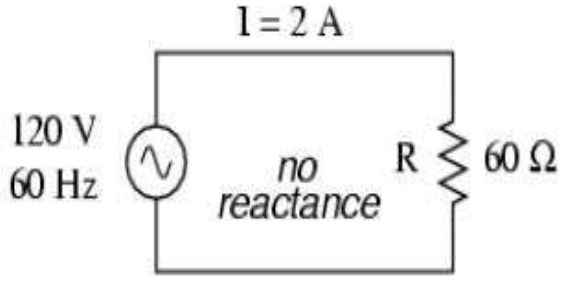
3- *apparent power* القدرة الظاهرة

$$S = I^2 Z \quad (VA)$$

$$,S = \frac{E^2}{Z} \quad (VA)$$

مثال: أنظر الدارات التالية وكيفية استنتاج الثلاثة أنواع من القدرة:

١- دارة حمل مقاوم نقى:

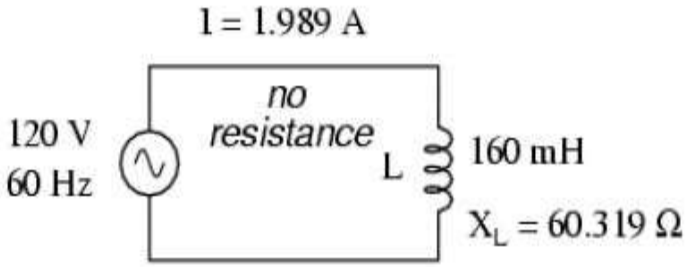


P = true power = I^2R = 240 W

Q = reactive power = I^2X = 0 VAR

S = apparent power = I^2Z = 240 VA

٢- دارة حمل فعال نقى:

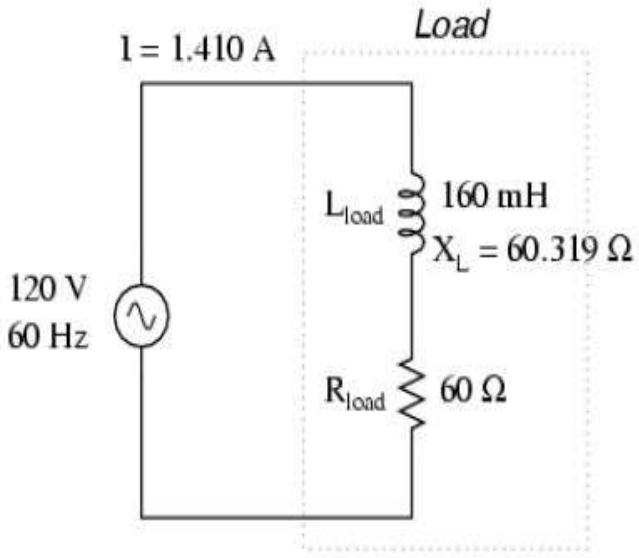


$P = \text{true power} = I^2R = 0\ W$

$Q = \text{reactive power} = I^2X = 238.73\ VAR$

$S = \text{apparent power} = I^2Z = 238.73\ VA$

٤- دارة حمل خليط بين الفعال والمقاوم:

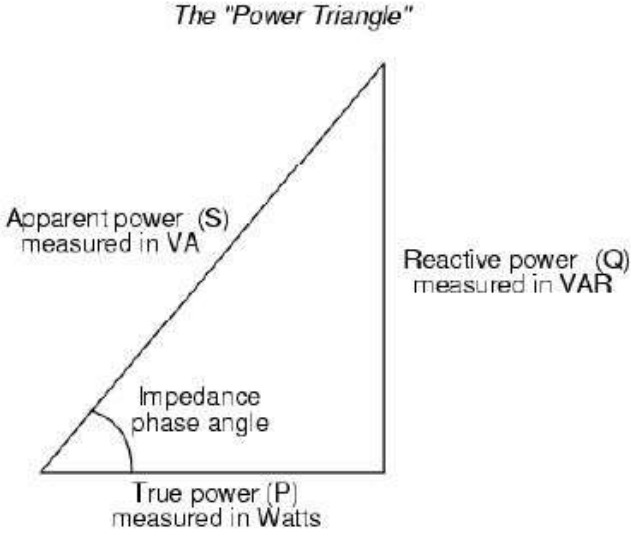


$P = \text{true power} = I^2R = 119.365\ W$

$Q = \text{reactive power} = I^2X = 119.998\ VAR$

$S = \text{apparent power} = I^2Z = 169.256\ VA$

يمكن تمثيل العلاقة بين الثلاثة أنواع من القدرة بمثلث يعرف بـ"مثلث القدرة":



وباستخدام هذا المثلث القائم الزاوية يمكننا حساب قيمة أى نوع من أنواع القدرة بمعرفة قيمتى النوعين الأخرين أو بمعرفة قيمة وزاوية.

حساب معامل القدرة:

معامل القدرة هو النسبة بين القدرة الحقيقية (المهدرة) P والقدرة الظاهرة S. ولأن القدرة الحقيقية يمثلها الضلع المجاور لزاوية القدرة والقدرة الظاهرة تمثل الوتر فى مثلث القدرة فإن معامل القدرة يساوى أيضا جيب تمام Cosine زاوية القدرة.

ويمكن حساب معامل القدرة للدارة السابقة:

$$\text{Power factor} = \frac{\text{True power}}{\text{Apparent power}}$$

$$\text{Power factor} = \frac{119.365\ W}{169.256\ VA}$$

$$\text{Power factor} = 0.705$$

$$\cos 45.152^\circ = 0.705$$

ويجب أن تلاحظ أن معامل القدرة وكأى كمية نسبية ليس له أى تمييز.

* فى الدارات ذات الأحمال المقاومة resistive النقية يكون معمل القدرة مساو للواحد الصحيح (تام) وذلك لأن القدرة الفعالة ستساوى صفرا وسيبدو مثلث القدرة حينها كخط أفقى منطبق على ضلع القدرة الحقيقية.

* فى الدارات ذات الأحمال الفعالة النقية سيساوى معمل القدرة صفرا وسيبدو مثلث القدرة كخط رأسى منطبق على ضلع القدرة الفعالة لأن طول ضلع القدرة الحقيقية سيساوى صفر.

ويبدو معامل القدرة مهما فى دارات التيار المتردد لأنه عندما يقل عن الواحد الصحيح سيكون على وصلات الدارة تحمل تيار يفوق ما عليها أن تحمله فى عدم وجود أحمال فعالة وذلك لإيصال نفس القدرة الحقيقية للحمل المقاوم. ومعامل القدرة السيئ ينتج من نظام تغذية كهربية غير كفء.

ولكن معامل القدرة السيئ يمكن أن يصحح بإضافة حمل إلى الدارة ليسحب قدرة مساوية ومعاكسة للقدرة الفعالة مما يلاشى تأثيرات الحمل الحثية. فتأثير الملفات يمكن ملاشاته بتأثير المكثفات لذا فإنه يكون علينا توصيل مكثف بالتوازى مع الدارة الموجودة بالمثال السابق (كحمل إضافى). وهذا الحمل الإضافى (المكثف) وعندما يلاشى تأثير الحمل الفعال الأصلى (الملف) تصبح معاوقة الدارة الكلية هى المقاومة فقط ويصبح معامل القدرة مساو للواحد الصحيح (تقريبا).

وبما أننا نعلم بأن القدرة الفعالة قبل التصحيح تساوى ١١٩,٩٩٨ فار (ملفات) فإن علينا حساب قيمة المكثف الذى يمكنه معادلة هذه القدرة. ولأن المكثف المضاف سيوصل على التوازى مع الحمل

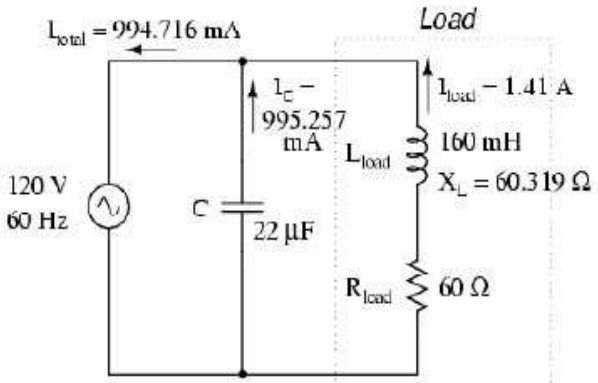
السابق فإن الجهد المسلط عليه سيكون هو جهد المصدر المعلوم لدينا ولذلك يمكننا أن نبدأ بالعلاقة بين الجهد والحمل الفعال والقدرة الفعالة:

$$Q = \frac{E^2}{X}$$

$$X = \frac{E^2}{Q} = \frac{(120)^2}{119.998(VAR)} = 120.002\Omega$$

$$C = \frac{1}{2\pi f X_C} = \frac{1}{2\pi \times (60Hz) \times (120.002\Omega)} = 22.105\mu F$$

والآن دعنا نضع مكثف (C=22.105uF) على التوازى مع الحمل فى دارتنا السابقة.



$$Z_{total} = Z_C // (Z_L + Z_R)$$

$$Z_{total} = (120.57\Omega \angle -90^\circ) // (60.319\Omega \angle 90^\circ + 60 \angle 0^\circ)$$

$$Z_{total} = 120.64 - j573.58m\Omega$$

or

$$Z_{total} = 120.64\Omega \angle 0.2724^\circ$$

$$\therefore P = True\ power = I^2R = 119.365W$$

$$,S = Apparent\ power = I^2Z = 119.366VA$$

وبذلك قد تم تحسين معامل القدرة .كما قل التيار العام من ١,٤١ أمبير إلى ٩٩٤,٧ ملللى أمبير وظلت القدرة المهدرة على المقاومة كما كانت.

$$power\ factor = \frac{True\ power}{Apparent\ power}$$

$$power\ factor = \frac{119.365W}{119.366VA} = 0.9999887$$

وبطريقة أخرى:

$$\therefore impeadance\ angle = 0.272^{o}$$

$$\therefore \cos(0.272^{o}) = 0.9999887$$

تدل زاوية المعاوقة impedance angle الموجبة على أن الحمل الحثى inductive لازال أكبر من الحمل السعوى capacitive ولو وصلنا بها إلى الصفر (معامل القدرة=١) فإن ذلك يعنى أن الحمل أصبح مقاوم نقى وفى حال وجود زاوية حمل سالبة فإن ذلك مؤشر على أن الحمل السعوى أصبح أكبر من الحمل الحثى.

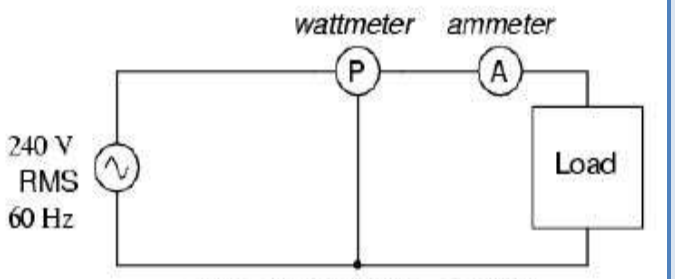
ويجب ملاحظة أن وجود حمل سعوى كبير جدا فى الدارة (مكثفات) سيقلل من معامل القدرة أيضا. ولذلك عليك الحذر من المبالغة فى تصحيح معامل القدرة بإضافة مكثفات كثيرة جدا للدارة. كما عليك أن تستخدم مكثفات مناسبة للجهود المستخدمة فى الدارة وأن تكون قادرة على تحمل المستويات المتوقعة للتيار.

* لو كان الحمل الحثى (الملفات) هو الغالب فإننا نقول أن معامل القدرة متخلف *lagging* (لأن تيار الدارة متأخر عن جهدها). أما لوكان الحمل السعوى (المكثفات) هو الغالب فإننا نقول أن معامل القدرة قائد *leading* .

التصحيح العملى لمعامل القدرة:

ستكون محظوظا لو لديك جهاز لقياس معامل القدرة *power factor meter* مباشرة إذا أردت تحسين معامل القدرة فى نظام كهربى متردد التيار والذى سيعطيك قراءة تتراوح من الصفر إلى الواحد الصحيح. أما لو لم يكن لديك هذا الجهاز فيمكنك قياس القدرة الظاهرة بضرب قيمتى الجهد والتيار الممكن قياسهما بسهولة و قياس القدرة الحقيقية بجهاز واط ميتر wattmeter ، ومن ثم حساب معامل القدرة من النسبة بينهما.

وإليكم هذا المثال:



Wattmeter reading = 1.5 kW

Ammeter reading = 9.615 A RMS

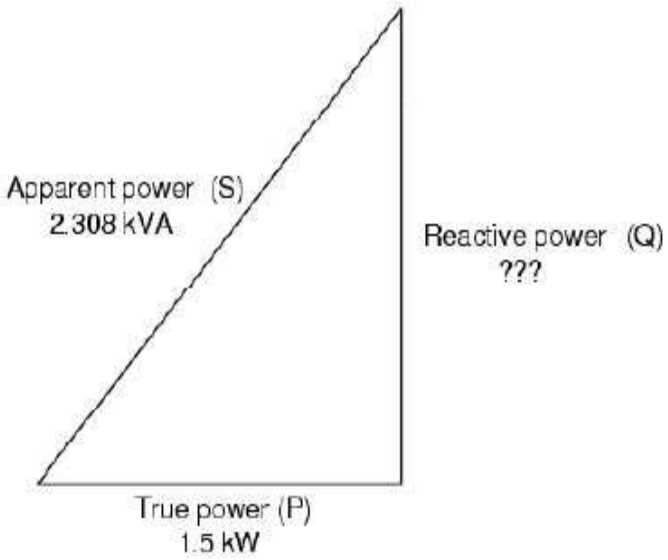
علينا أولا حساب القدرة الظاهرة وسنفعل ذلك بضرب جهد الحمل فى التيار المار به :

$$S = IE = (9.615A)(240V) = 2.308kVA$$

وبمقارنة القدرة الظاهرة (المحسوبة) والقدرة الحقيقية (المقاسة بالواط ميتر) نجد أن القدرة الظاهرة (٢,٣٠٨ كيلو فولت أمبير) أكبر بكثير من القدرة الحقيقية (١,٥ كيلو واط) وهذا يعنى أن لدينا معامل قدرة سيئ.

Power factor = 1.5/2.308 = 0.65

ومن القيم المعروفة للقدرة الحقيقية والقدرة الظاهرة يمكننا رسم مثلث القدرة:



ومن مثلث القدرة وبنظرية فيثاغورث يمكن حساب القدرة الفعالة:

$$\text{Reactive power} = \sqrt{(\text{Apparent power})^2 - (\text{True power})^2}$$

$$\therefore Q = 1.754 KVAR$$

لو كان الحمل هو محرك كهربى فإنه سيكون له معامل قدرة متأخر lagging (حثى) مما يعنى بأن علينا تصحيحه بإضافة مكثف بحجم مناسب وموصول بالتوازى مع الحمل. ولحساب قيمة المكثف المطلوب:

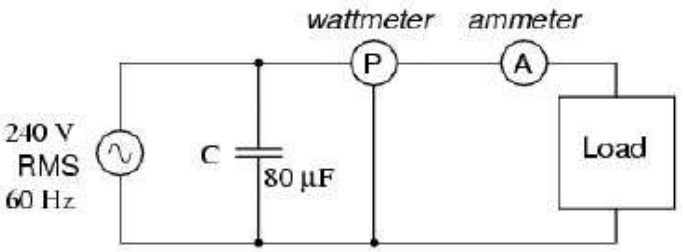
$$\because Q = \frac{E^2}{X}$$

$$\therefore X = \frac{E^2}{Q} = \frac{(240)^2}{1.754 KVAR} = 32.845\Omega$$

$$\because X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

$$\therefore C = \frac{1}{2\pi f X_C} = 80.761 \mu F$$

إذن قيمة المكثف المطلوبة هى ٨٠,٧٦١ ميكروفاراد وتتم إضافته:



وبما أن الفرق فى الطور بين تيار المكثف و تيار الملف يساوى ١٨٠ درجة فسيلاشى كلاهما الآخر.

وبحساب القدرة الظاهرة كما سبق فإنها ستساوى ١,٥٠٠٠٩ كيلو فولت أمبير . ولأن القدرة الحقيقية ستظل ثابتة بعد إضافة المكثف فإن معامل القدرة الجديد سيساوى 0.99994 كما سيقل التيار من 9.615 أمبير إلى 6.25 وهذا يعنى فقدا حراريا أقل فى توصيلات الدارة مما يزيد من كفاءة الدارة ككل.

تأثيرات معامل القدرة

(أ) **سعة النظام الكهربي** : الكيلو فولت أمبير هي القدرة الكلية المتاحة في النظام الكهربي. القدرة الفعالة=القدرة الكليةXمعامل القدرة، أي أن معامل القدرة العالي يعني زيادة سعة النظام الكهربي المتاح ومع زيادة سعة النظام الكهربي يصبح الجهد أكثر استقراراً عند توصيل وفصل الأحمال الكهربية وكذلك يمكن إضافة أحمال أكثر للنظام الكهربي عند الاحتياج.

(ب) **مفاقيد النظام الكهربي** : مع معامل القدرة العالي فإن التيار الكهربي المطلوب للحمل يصبح أقل وبالتالي فإن القدرة المفقودة (I^2R) تقل وبالتالي فإن الارتفاع في درجة حرارة الأجهزة مثل الكابلات والمحولات وقضبان التوزيع وهكذا يقل مما يزيد من العمر الافتراضي للأجهزة.

(ج) **تكاليف شركات الكهرباء** : يجب أن يكون معامل القدرة لنظام التوزيع الكهربي عالياً وذلك لزيادة كفاءة النظام الكهربي والاستفادة القصوى بالقدرة المولدة. لذلك فإن شركات الكهرباء تفرض غرامة معامل قدرة على المستهلك وتطالبه بالمحافظة على مستوى لا يقل عن 95% لمعامل القدرة لتجنب فرض الغرامة.

(د) **خطوط النقل الكهربي**: يزداد التيار المار في خط النقل الكهربي عندما يقل معامل القدرة الكهربية وذلك بتثبيت القدرة الكهربية الفعالة المنقولة على الخط الكهربي وبذلك لابد من زيادة مساحة مقطع موصلات خط النقل مما يتسبب في زيادة تكاليف الخط. وأيضا بزيادة التيار الكهربي تزداد مفاقيد خط النقل الكهربي مما يقلل من كفاءة خط النقل وكذلك يتسبب ارتفاع التيار في زيادة انخفاض الجهد على الخط.

(ه) **التأثير على المحولات الكهربية**: تقل سعة المحول للقدرة الفعالة (kW capacity) مع انخفاض معامل القدرة لذلك يزداد الجهد بداخله.

(و) **التأثير على القواطع وقضبان التوزيع**: لابد من زيادة مساحة مقطع قضبان التوزيع وكذلك مساحة سطح التلامس للقواطع الكهربية عند نفس قيمة القدرة الكهربية المنقولة عند معامل القدرة المنخفض.

(ز) **التأثير على المولدات الكهربية** : مع معامل القدرة المنخفض تقل سعة القدرة الظاهرية وكذلك سعة القدرة الفعالة للمولدات وتزداد القدرة المعطاة بواسطة المثير (Exciter) ويزداد الفقد في الملفات النحاسية للمولد وتقل مع ذلك كفاءة المولد.

(ح) **التأثير على المحرك المبدئي للمولد** (prime movers) : بانخفاض معامل القدرة الكهربي يطلب من المولد المزيد من القدرة المفاعلة Q ولكن كمية معينة من الطاقة مطلوبة لإنتاج القدرة المفاعلة وتستمد هذه الطاقة من المحرك المبدئي للمولد أي أن جزءاً من سعة المحرك المبدئي تكون عاطلة. لذلك فالعمل عند معامل قدرة منخفض يقلل من كفاءة المحرك المبدئي للمولد.

مميزات تحسين معامل القدرة

عند عمل الشبكات الكهربية بمعامل قدرة منخفض تزداد التكاليف الرئيسة لمحطات التوليد وأنظمة النقل والتوزيع الكهربي. ولذلك فمن المستحسن للمستهلك والمغذي أن تعمل الشبكات الكهربية عند معامل قدرة مرتفع. وتلخص النقاط التالية فوائد تحسين معامل القدرة:

(أ) الاستخدام الأفضل لسعة القدرة الفعالة للمحرك المبدئي للمولد.

(ب) زيادة سعة القدرة الفعالة للمولد الكهربي.

(ج) زيادة سعة القدرة الفعالة للمحول الكهربي.

(د) زيادة كفاءة كل الوحدات في الشبكة الكهربية.

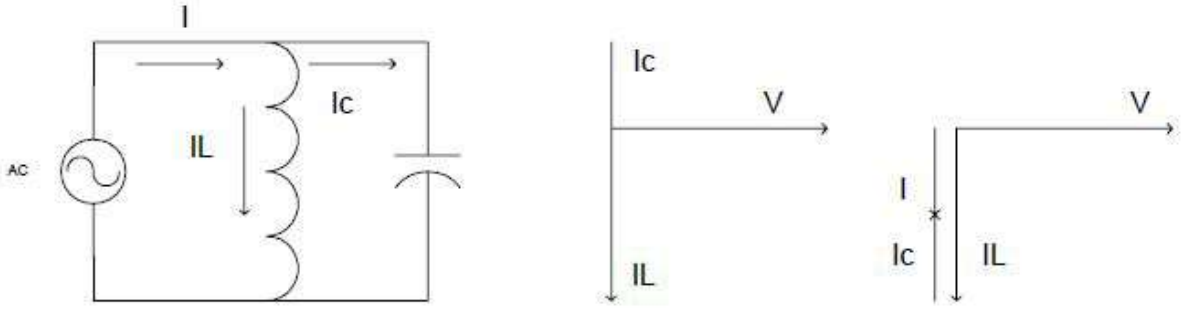
(ه) تقليل تكاليف الوحدات في الشبكة.

(و) تحسين تنظيم الجهد على خطوط النقل الكهربي.

تحسين معامل القدرة Power Factor Correction

للحصول على أفضل ميزة اقتصادية من القدرة الكهربائية فإن كلاً من محطات التوليد وأماكن الاستهلاك لابد أن تعمل بكفاءة عالية. ولتحقيق ذلك فمن الضروري أن يكون معامل القدرة عالياً للنظام الكهربي. ومع التسليم بأن معظم الأحمال في أنظمة التوزيع الكهربي الحديثة أحمال حثية والتي تعني أنها تحتاج لمجال كهرو مغناطيسي لعملها لذلك فإن أبسط الطرق لتحسين معامل القدرة هي إضافة المكثفات لمحطة التوزيع الكهربية. وتعمل مكثفات القوى كمولدات تيار مفاعلة. وبإضافة تيار المكثفات المفاعلة فإن التيار الكلي للنظام الكهربي سيقل.

لدراسة كيفية تحسين معامل القدرة في الدوائر الحثية نضع مكثفاً على التوازي مع ملف يغذى من مصدر كهربي كما في الشكل (6.6).



وضع مكثف بالتوازي مع ملف

التيار الأولى بالدائرة قبل توصيل المكثف هو I_L ويتأخر عن جهد المصدر بزاوية 90^o وهو التيار الكلي المسحوب من المصدر وعند وضع المكثف على التوازي مع الملف فإنه يسحب تياراً سعوياً مقداره I_c يتقدم عن جهد المصدر بزاوية مقدارها 90^o وفي هذه الحالة يكون التيار الكلي المسحوب من المصدر هو مجموع التيارات في الملف والمكثف:

$$I = I_L - I_C$$

و الإشارة السالبة تعني أن I_C على 180^o من I_L .لذلك فإن القدرة المفاعلة الكلية في هذه الحالة تساوي :

$$Q = V\,(I_L - I_C) = Q_L - Q_C$$

وبالنظرة العامة للمفاعلة الكلية نجد أن جزءاً من المفاعلة الحثية قد عودلت بالمفاعلة السعوية مما يقلل من المفاعلة الكلية المطلوبة من المصدر. هذا التقليل من المفاعلة المطلوبة يؤدي إلى تحسين معامل القدرة الكلية للدائرة.

وتعتبر المكثفات من أكثر الأجهزة المستخدمة في تحسين معامل القدرة وتصنع مكثفات القدرة حالياً بأشكال وأحجام مختلفة.

المكثفات الكهربية Electrical Capacitors

المكثف الكهربي عبارة عن موصلين كهربيين بينهما عازل كهربي. سعة المكثف والجهد على الموصلات الكهربية هي العوامل المحددة لكمية الشحنات الكهربية التي تخزن في المكثف الكهربي:

$$C = \frac{Q}{V} \qquad \text{farad}$$

حيث Q هي الشحنة الكهربية بالكولوم وV الجهد على المكثف. وتعتمد سعة المكثف على مادة العزل بين الموصلين والتي تحدد قيمة النفاذية لهذا العازل.

سعة مكثف كهربي ذي لوحين متوازيين بينهما عازل هي:

$$C = \frac{\varepsilon_o \varepsilon_r A}{d} = \frac{\varepsilon A}{d} \qquad \text{farad}$$

حيث أن ε هي النفاذية المطلقة لمادة العزل و A مساحة اللوح المعدني و d هي المسافة بين اللوحين.
ويبين جدول (2-6) القيم المتوسطة للنفاذية النسبية لبعض المواد العازلة وشدة العزل لهذه المواد في حالة الجهود المترددة وكذلك الجهود المستمرة. وتعني شدة العزل أقصى جهد يتحمله العازل الكهربي. وتلعب درجة الحرارة والتردد اللذان يعمل عندهما المكثف دوراً هاماً في اختيار نوعية العازل المستخدم.

جدول

مادة العزل	النفاذية النسبية	شدة العزل للتيار المتردد (MV/m)	شدة العزل للتيار المستمر (MV/m)
الهواء	1.00	2-3	4-9
السيراميك	3000.0	0.35	9.4
السليولوز	6.50	16-18	200-220
الزجاج	7.00		
الزيوت المعدنية	2.13	16-18	76.5
الميكا	5.60	80-100	150
البولي بروبلين	2.20	48-52	650
البوليستر	2.90	not used in a.c.	158

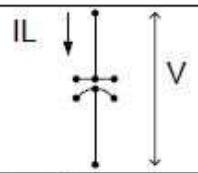
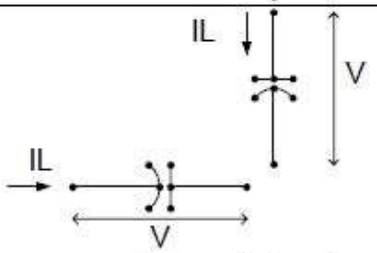
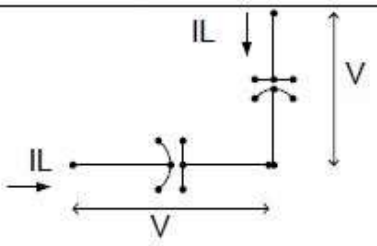
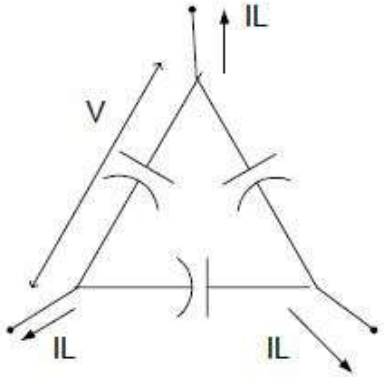
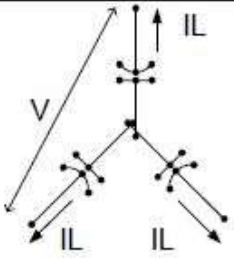
وتحدد قيمة القدرة لمكثفات القوى بالمعادلة التالية:

$$Q = 2\,\pi\,f\,C\,V^2 \times 10^{-9} \quad kVAR$$

يبين قدرة مكثفات القوى لمختلف توصيلات المكثفات

أنواع المكثفات المستخدمة عمليا

في أوائل القرن العشرين استخدمت مكثفات العناصر الاسطوانية المغمورة بالزيت العازل بأحجام تتراوح بين 1.0 إلى 500kVAR وكانت هذه المكثفات تناسب الجهد المتوسط وأخيراً باستخدام مجموعات عناصر التوالي- التوازي أصبحت هذه المكثفات تستخدم حتى 33kV. وفي النصف الثاني من القرن العشرين بدأ استخدام مكثفات الورق المشبع بالزيت وقد طور الأوربيون تصميم المكثفات ليجمع بين إلكترودات الورق المعدني والشرائح الرقيقة من البولي بروبلين والمغموسة في زيت عازل غير ضار بالصحة. تتكون مكثفات القوى من عدد من العناصر الأساسية والتي تبنى بلف طبقتين من شرائح الألمنيوم بين عدد من الطبقات من ورق رقيق عازل أو عازل مختلط من الورق وشريحة بلاستيكية.

الشكل	نوع التوصيل	معادلة حساب القدرة (VAR)
	وجه واحد	VI_L
	وجهان ذوا أربعة أسلاك	$2VI_L$
	وجهان ذوا ثلاثة أسلاك	$2VI_L$
	ثلاثة أوجه متصلة دلتا	$\sqrt{3}VI_L$
	ثلاثة أوجه متصلة نجمة	$\sqrt{3}VI_L$

طرق تحسين معامل القدرة

يمكن استخدام إحدى الطريقتين الآتيتين لتحسين معامل القدرة:

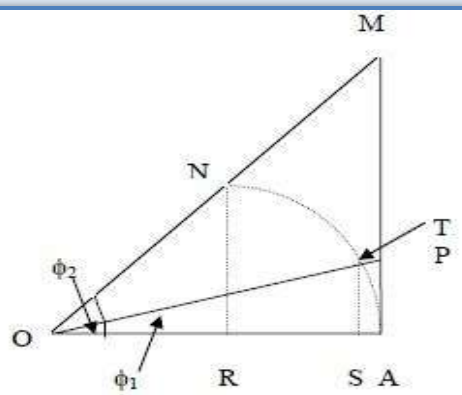
(أ) بتثبيت القدرة الفعالة

(ب) بتثبيت القدرة الظاهرية

(أ) طريقة تثبيت القدرة الفعالة

في هذه الطريقة يتم تثبيت القدرة الفعالة وتغيير القدرة الظاهرية. وبفرض تثبيت قيمة القدرة الفعالة للنظام فإن القدرة المفاعلة للمكثف المطلوبة لرفع معامل القدرة من $\cos\phi_1$ إلى $\cos\phi_2$ هي حاصل ضرب القدرة الفعالة للحمل ومماسات الزوايا ϕ_2 و ϕ_1 كما في الشكل (6.8).

بفرض أن OA يمثل القدرة الفعالة عند معامل قدرة 1.0 و OR و Os يمثلان $\cos\phi_1$ و $\cos\phi_2$ على الترتيب. PM تمثل القدرة المفاعلة للقدرة الفعالة لرفع معامل القدرة من $\cos\phi_1$ إلى $\cos\phi_2$ وبمعنى آخر PM يمثل بمقياس $(\text{Tan}\phi_1\text{-Tan}\phi_2)$.

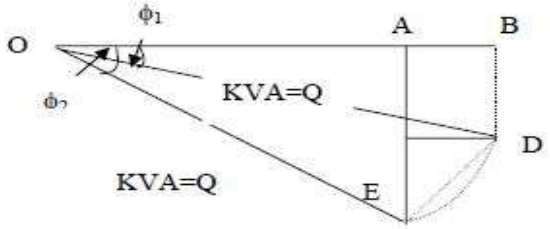


الشكل (6.8) حساب السعة المفاعلة للمكثفات المطلوبة

(أ) طريقة تثبيت القدرة الظاهرية

في هذه الطريقة يتم تثبيت القدرة الظاهرية وتغيير القدرة الفعالة. وبفرض تثبيت قيمة القدرة الظاهرية للنظام فإن القدرة المفاعلة للمكثف المطلوبة نسبة إلى القدرة الظاهرية لرفع معامل القدرة من $\cos\phi_1$ إلى $\cos\phi_2$ هي الفرق بين جيب الزوايا ϕ_2 و ϕ_1 كما في الشكل (6.9).

عند تثبيت القدرة الظاهرية في المركز O ونصف القطر OC يرسم من نقطة C قوساً يقطع المستقيم OD في نقطة D ويرسم DE يوازي OA ليقطع AD في E :



$$CE = Q \sin \phi_1 - Q \sin \phi_2$$
$$= Q (\sin \phi_1 - \sin \phi_2)$$

القدرة الزائدة نتيجة تحسين معامل القدرة هي AB وتعطى بالعلاقة:

$$AB = Q (\cos \phi_1 - \cos \phi_2)$$

أمثلة محلولة

مثال 1 : ارسم مثلث القوى لكل فرع من أفرع الدائرة المبينة في الشكل ثم ارسم مثلث القوى الكلي للدائرة.

الحل: الفرع الأول: تيار الفرع الأول

$$I = \frac{V}{Z_1} = \frac{20\angle 60^\circ}{4\angle 30^\circ} = 5\angle 30^\circ \quad A$$

القدرة الظاهرية

$$S = V\,I^* = 20\angle 60^\circ \; x \; 5\angle -30^\circ = 100\angle 30^\circ \quad VA$$

القدرة الفعالة

$$P = 100 \;\; \cos 30 = 86.6 \quad W$$

القدرة المفاعلة متأخرة

$$Q = 100 \;\; \sin 30 = 50 \quad VAR$$

الفرع الثاني: تيار الفرع الثاني

$$I = \frac{V}{Z_2} = \frac{20\angle 60^\circ}{5\angle 60^\circ} = 4\angle 0^\circ \quad A$$

القدرة الظاهرية

$$S = V\,I^* = 20\angle 60^\circ \; x \; 4\angle 0^\circ = 80\angle 60^\circ \quad VA$$

القدرة الفعالة

$$P = 80 \;\; \cos 60 = 40 \quad W$$

القدرة المفاعلة متأخرة

$$Q = 80 \;\; \sin 60 = 69.2 \quad VAR$$

∴ القدرة الفعالة الكلية

$$P_T = 86.6 + 40 = 126.6 \quad W$$

القدرة المفاعلة الكلية

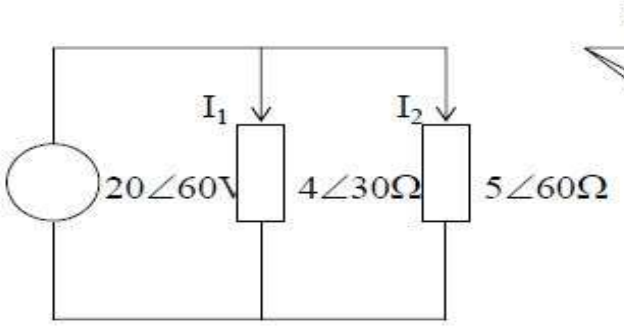
$$Q_T = 50 + 69.2 = 119.2 \quad VA$$

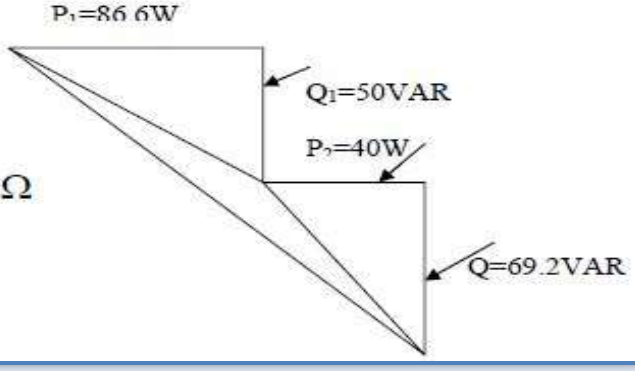
القدرة الظاهرية الكلية

$$S_T = \sqrt{P_T^2 + Q_T^2} = \sqrt{(126.6)^2 + (119.2)^2} = 174 \quad VA$$

معامل القدرة الكلي للدائرة متأخر

$$P.F. = \frac{P_T}{Q_T} = \frac{126.6}{174} = 0.727$$





مثال 2: حدد مكونات القدرة الكهربية الكلية ومعامل القدرة لمجموعة مكونة من ثلاثة أحمال منفصلة لها المواصفات التالية:

حمل رقم 1: 250VA ومعامل قدرة 0.5 متأخر.

حمل رقم 2: 180 watt ومعامل قدرة 0.8 متقدم.

حمل رقم 3: 3300VA و 100VAR متأخر.

الحل: حمل 1: القدرة الفعالة $P = S \times P.F. = 250 \times 0.5 = 125 \quad W$

$P.F. = \cos\phi = 0.5 \qquad \therefore \phi = \cos^{-1}0.5 = 60^\circ$

القدرة المفاعلة $Q = S \times \sin\phi = 250 \times \sin 60 = 216 \quad VAR$

حمل 2: القدرة الظاهرية $S = P \div P.F. = 180 \div 0.8 = 225 \quad VA$

$P.F. = \cos\phi = 0.8 \qquad \therefore \phi = \cos^{-1}0.8 = 36.9^\circ$

القدرة المفاعلة $Q = S \times \sin\phi = 225 \times \sin 36.9 = 135 \quad VAR$

حمل 3: $\sin\phi = Q \div S = 100 \div 300 = 0.3333 \qquad \therefore \phi = 19.5^\circ$

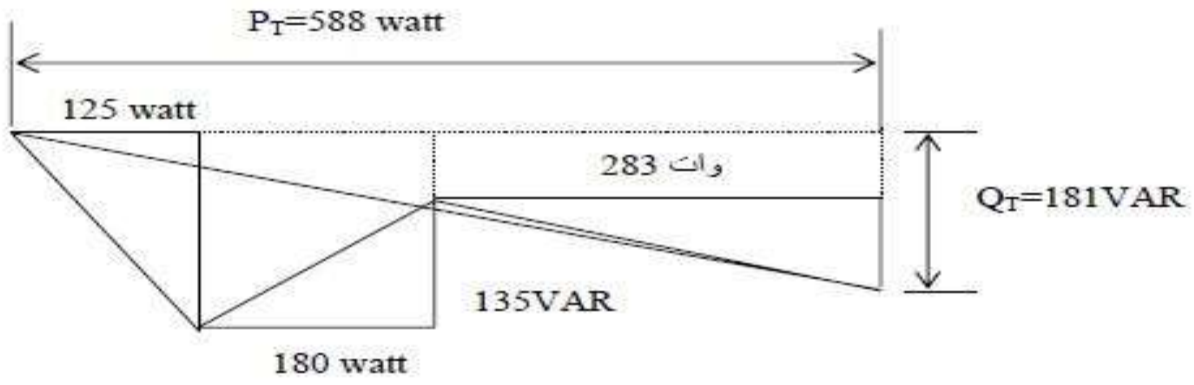
القدرة الفعالة $P = S \times \cos\phi = 300 \times \cos 19.5 = 283 \text{ W}$

∴ القدرة الفعالة الكلية $P_T = 125 + 180 + 283 = 588 \text{ W}$

القدرة المفاعلة الكلية $Q = 216 - 135 + 100 = 181 \quad VAR$ متأخر

القدرة الظاهرية الكلية $S_T = \sqrt{P_T^2 + Q_T^2} = \sqrt{(588)^2 + (181)^2} = 616 \quad VA$

معامل القدرة الكلي $P.F. = P \div S = 588 \div 616 = 0.955$ متأخر



مثال 3: محول قدرته 500 kVA يعمل عند الحمل الكامل بمعامل قدرة 0.6 متأخر. تم تحسين معامل القدرة إلى 0.9 متأخر بإضافة مكثفات. حدد القدرة المفاعلة المطلوبة للمكثفات. بعد تحسين معامل القدرة ما هي نسبة الحمل الكامل التي يحملها المحول؟

الحل: $\phi=\cos^{-1}0.6=53.1$ ، $P = S \times P.F. = 500 \times 0.6 = 300\ kW$

القدرة المفاعلة $Q = S \times \sin\phi = 500 \times \sin 53.1 = 400\ kVAR$

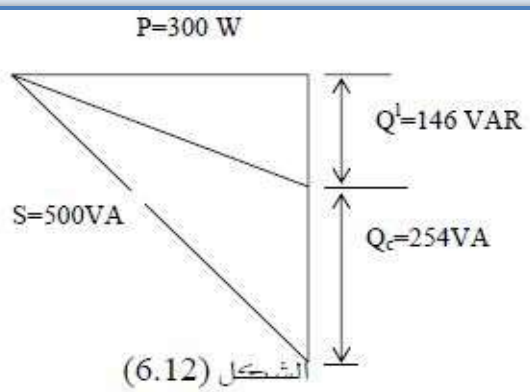
عند تحسين معامل القدرة إلى 0.9 متأخر

$\phi = \cos^{-1}0.9 = 26°$ $S = P \div P.F. = 300 \div 0.9 = 333\ kVA$

القدرة المفاعلة متأخر $Q^1 = S \times \sin\phi = 333 \times \sin 26 = 146\ kVA$

لذلك فإن القدرة المفاعلة للمكثفات $Q_C = Q - Q^1 = 400 - 146 = 254\ kVAR$

نسبة الحمل الكامل = 333 ÷ 500 = 66.7 ٪



الشكل (6.12)

مثال 4: محرك حثي ثلاثي الأوجه له البيانات الآتية: 50h.P و 440V و 50Hz يعمل عند الحمل الكامل بكفاءة 89% ومعامل قدرة 0.85 متأخر. احسب القدرة المفاعلة الكلية للمكثفات لرفع معامل القدرة عند الحمل الكامل إلي 0.95 متأخر. وما هي قيمة سعة المكثفات لكل وجه لو وصلنا المكثفات (أ) على شكل دلتا (ب) على شكل نجمة ؟

الحل: القدرة الداخلة للمحرك $P = 50 \times (746 \div 0.89) = 41910\ W = 41.91\ kW$

- عند معامل القدرة **0.85متاخر** $\phi_1 = \cos^{-1}0.85 = 31.8°$

القدرة المفاعلة للمحرك $Q_1 = P \times \tan\phi_1 = 41.91 \times \tan 31.8 = 25.98\ kVAR$

- عند معامل القدرة **0.95متاخر** $\phi_1 = \cos^{-1}0.95 = 18.2°$

القدرة المفاعلة للمحرك $Q_1 = P \times \tan\phi_1 = 41.91 \times \tan 18.2 = 13.79\ kVAR$

القدرة الكلية المفاعلة للمكثفات $Q_C = Q_1 - Q_2 = 25.98 - 13.79 = 12.19\ kVAR$

∴ القدرة المفاعلة للمكثف الواحد $Q_c = 12.19 \div 3 = 4.063\ kVAR$

(أ) عند توصيل المكثفات على هيئة دلتا فإن الجهد على كل مكثف هو 440V

التيار المار في كل مكثف $I_c = Q_c \div V = 4063 \div 440 = 9.23\ A$

وبما أن $I_c = V \div X_c = V\omega C$

فإن سعة المكثف $C = I_c \div V\omega = 9.23 \div (2\pi \times 50 \times 440) = 66.8 \times 10^{-6}\ F$

(ب) عند توصيل المكثفات على هيئة نجمة فإن الجهد على كل مكثف هو $440/\sqrt{3}=254V$

التيار المار في كل مكثف $I_c = Q_c \div V = 4063 \div 254 = 16 \ A$

سعة المكثف المطلوب $C = I_c \div V\omega = 16 \div (2\pi x50x254) = 200.4x10^{-6} \ F$

ملاحظة: يلاحظ أنه في توصيلة النجمة فإن سعة المكثف المطلوبة تساوي ثلاثة أمثال تلك المطلوبة في حالة التوصيل دلتا.

مثال 5: محول كهربي قدرته 25kVA يغذى حملاً كهربياً 12kW عند معامل قدرة 0.6 متاخر. أوجد نسبة الحمل الكامل التي يحملها المحول. إذا أضيف حمل آخر للمحول عند معامل قدرة 1.0 أوجد قيمة القدرة الفعالة لهذا الحمل حتى يصبح المحول يعمل عند حمله الكامل.

الحل: القدرة الظاهرية للحمل $S = P \div P.F. = 12 \div 0.6 = 20 \ kVA$

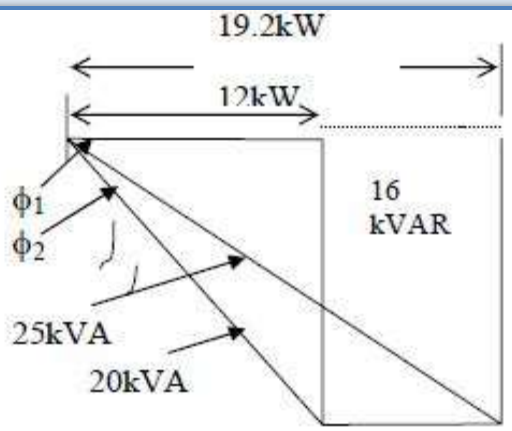
نسبة الحمل الكامل للمحول $= (20 / 25) 100 = 80\%$

$\phi_1 = \cos^{-1}0.6 = 53.1^\circ$ $\quad Q = S \times \sin \phi_1 = 20 \times \sin 53.1 = 16 \ kVAR$

$\phi_2 = \sin^{-1}(16 \div 25) = 39.8^\circ$

القدرة الفعالة الكلية $P_T = S \times \cos \phi_2 = 25 \times \cos 39.8 = 19.2 \ kW$

قيمة الحمل المضاف $P = 19.2 - 12 = 7.2 \ kW$

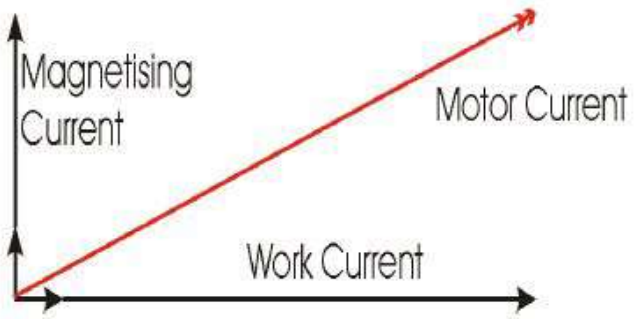


الحمل المضاف

تصحيح معامل القدرة للمحركات الكهربية

تستخدم المكثفات في عمليات تحسين معامل القدرة للدوائر الكهربية التي تحتوي على محركات حثية كوسيلة لتقليل المركبة الحثية للتيار ولذلك يقل الفقد في مصدر التغذية الكهربي ولكن يجب ألا يؤثر هذا على تشغيل المحرك نفسه. تسحب المحركات الحثية تياراً من المصدر مكوناً من مركبتين إحدهما مركبة حثية والأخرى مركبة مقاومات وهما: (أ) تيار الحمل (ب) تيار الفقد

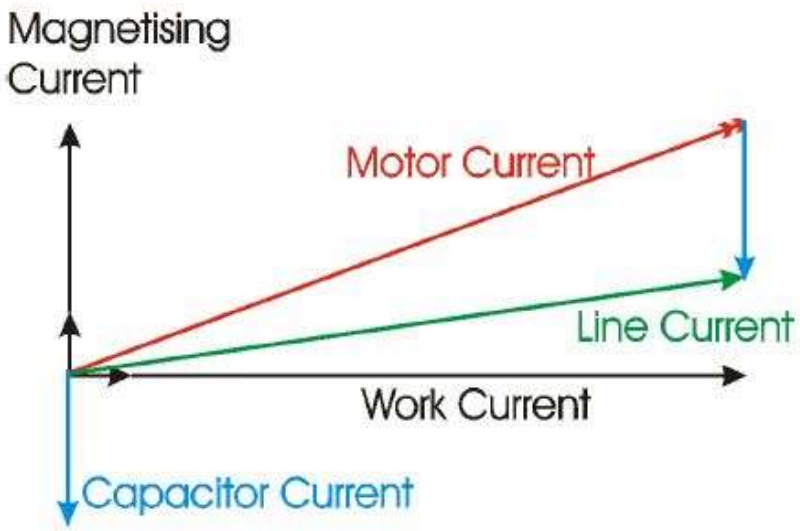
ومكونات المركبة الحثية هي: (أ) مفاعلة الفيض المتسرب (leakage reactance) (ب) تيار التمغنط (magnetizing current)



التيار المار في مفاعلة الفيض المتسرب يعتمد على قيمة التيار الكلي المسحوب بواسطة المحرك ولكن تيار التمغنط لا يعتمد على الحمل الموجود على المحرك إذ هو التيار المطلوب لتثبيت الفيض المغناطيسي في الحديد وهذا هام جداً لعمل المحرك ولا يساهم تيار التمغنط في العمل الحقيقي الناتج من المحرك. وتقع قيمة تيار التمغنط بين 20% إلى 60% من القيمة المقننة للحمل الكامل للمحرك. تيار التمغنط ومفاعلة الفيض المتسرب يعتبران مركبات حاملة للتيار الكهربي وهما لا يؤثران على القدرة المسحوبة بواسطة المحرك ولكن يساهمان في القدرة المفقودة في مصدر التغذية ونظام التوزيع الكهربي. على سبيل المثال، محرك يسحب تياراً مقداره 100 أمبير بمعامل قدرة مقداره 0.75 ومركبة المقاومات للتيار هي 75 أمبير فما هي قيمة الطاقة الكهربية المقاسه للمحرك؟ القيمة العالية للتيار الكهربي ينتج عنها زيادة في مفقودات التوزيع الكهربي بمقدار (75x75) ÷ (100x100) وهي تساوي 1.777 أو 78% زيادة في مفقودات مصدر التغذية الكهربي. في إطار الاهتمام بتقليل الفقد في نظم التوزيع الكهربي تضاف معدات لتحسين معامل القدرة وذلك لمعادلة الجزء الخاص بتيار التمغنط للمحرك. ويقع معامل القدرة

المصحح بين 0.92 إلى 0.95. وتحث بعض شركات التوزيع الكهربي على استخدام معامل قدرة أفضل من 0.9 بينما بعض الشركات تعاقب المستهلكين ذوي معامل القدرة المنخفض. يذكر أن هناك عدة طرق للمعايرة ولكن النتيجة النهائية لخفض الطاقة المفقودة في نظم التوزيع الكهربي هي تشجيع المستهلك لاستخدام معدات تصحيح معامل القدرة.

ومن الممكن إنجاز تصحيح معامل القدرة بإضافة مكثفات على التوازي مع دوائر المحرك ويمكن وضعها عند بادئ التشغيل أو عند لوحة المفاتيح أو لوحة التوزيع الكهربي. ويستخدم التيار السعوي المتقدم الناتج لمعادلة التيار الحثي المتأخر القادم من المصدر.

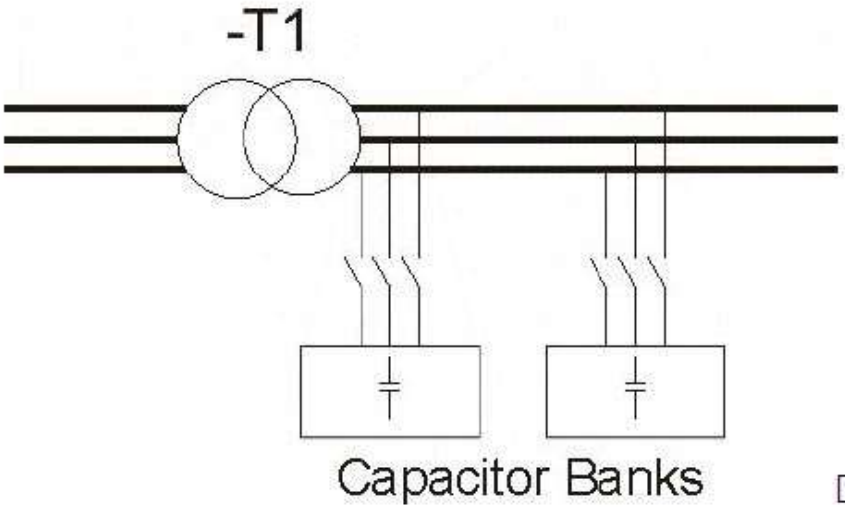


تسمي طريقة توصيل المكثفات عند كل بادئ تشغيل والتحكم فيها بواسطة بادئ التشغيل "تصحيح معامل القدرة الإستاتيكي" بينما تسمي طريقة توصيل المكثفات عند لوحة التوزيع الكهربي ويتحكم فيها بطريقة منفصلة من بادئات التشغيل الفردية "التصحيح الكلي" (bulk correction).

التصحيح الكلي Overall Correction

معامل القدرة للتيار الكلي الذي يغذى لوحة التوزيع يتتبع بمتحكم والذي يشغل المكثفات بطريقة تلقائية للحفاظ على معامل قدرة أفضل من القيمة الموجودة. القيمة الفعلية لمعامل القدرة المصحح هي 0.95

بينما القيمة المثالية لأفضل معامل قدرة تقترب من الواحد الصحيح قدر الإمكان. وليس هناك أي مشكلة من استخدام طريقة التصحيح الكلي عند معامل قدرة مقداره 1.0.



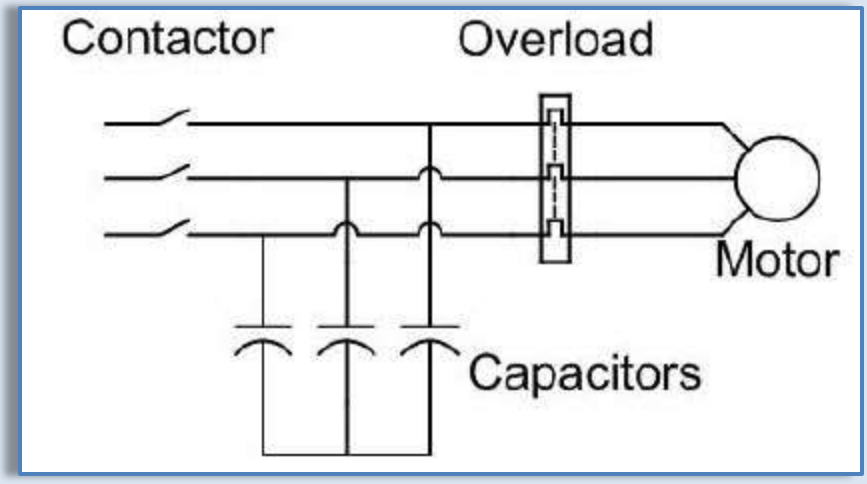
□

التصحيح الاستاتيكي Static Correction

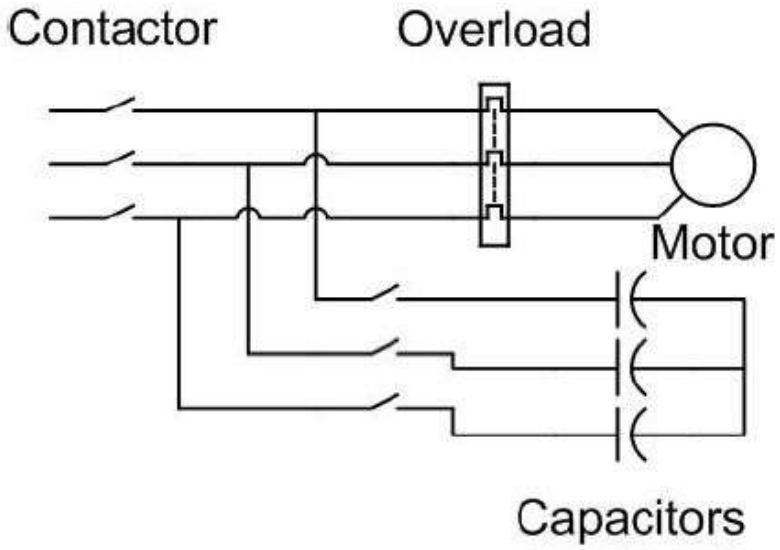
حيث أن الجزء الأكبر من التيار الحثي أو المتأخر على مصدر التغذية الكهربي ناتج عن تيار التمغنط للمحركات الحثية فإنه من السهل تصحيح معامل القدرة لكل محرك وذلك بتوصيل مكثفات عند بادئات تشغيل المحرك. عند استخدام التصحيح الاستاتيكي فمن المهم أن يكون التيار السعوي أقل من تيار التمغنط الحثي للمحرك. في معظم التركيبات التي تستخدم التصحيح الاستاتيكي وتوصل المكثفات مباشرة على التوازي مع ملفات المحرك. عند فصل المحرك تفصل أيضا مكثفات التصحيح وعند توصيل المحرك بالمصدر الكهربي توصل أيضا المكثفات لتعطي تصحيحاً دائماً لمعامل القدرة للمحرك. وهذا يلغي متطلبات أن يكون هناك أجهزة رصد معامل القدرة المكلفة وكذلك معدات التحكم. وفي هذا الإطار يبقى المكثف مرتبطاً بأطراف المحرك عندما تنخفض سرعة المحرك. يبدأ تشغيل المحرك عند توصيله بالمصدر عن طريق المجال المغناطيسي الدوار في العضو الثابت للمحرك (stator) والذي يولد تيارا حثيا في العضو الدوار للمحرك (rotor). وعند فصل المحرك من المصدر يكون هناك لفترة زمنية مجال مغناطيسي مرتبط بالعضو الدوار للمحرك ويتولد جهد كهربي على أطراف المحرك بتردد يعتمد على سرعة المحرك وتكون المكثفات المتصلة على أطراف المحرك دائرة رنين مع

المعاوقة الحثية للمحرك. وعند وضع المكثفات لتصحيح معامل القدرة إلى 1.0 (التصحيح الحرج) تتساوي المعاوقة الحثية مع المعاوقة السعوية عند تردد الخط الكهربي وعندئذ يكون تردد الرنين مساوياً لتردد الخط. إذا كان تردد الجهد المتولد من المحرك لحظة فصله تتساوى لحظياً مع تردد الرنين للمحرك فسيمر تيار عالٍ ويرتفع الجهد على دائرة المحرك والمكثفات والذي يمكن أن يؤدي إلى انهيار خطير للمكثفات والمحرك. لذلك لابد من التأكد من أن معامل القدرة للمحركات لا تصحح بقيمة أعلى أو إلى القيمة الحرجة عند تطبيق التصحيح الاستاتيكي . ولابد أن يوفر تصحيح معامل القدرة الاستاتيكي تياراً سعوياً يساوي ٨٠% من تيار التمغنط وهو بالضرورة تيار اللاحمل للمحرك.

يمكن تغيير تيار التمغنط للمحركات بصورة كبيرة حيث إن تيار التمغنط للمحركات الكبيرة ذات القطبين حوالي ٢٠% من التيار المقنن للمحرك بينما المحركات الصغيرة ذات السرعات المنخفضة يكون تيار التمغنط لها حوالي ٦٠% من تيار الحمل الكامل المقنن للمحرك. وعملياً فإن استخدام الجداول القياسية لتصحيح معامل القدرة للمحركات الحثية تعطي التصحيح الأمثل لجميع المحركات. وتتسبب الجداول في تصحيح أقل لمعظم المحركات وفي بعض الأحوال لا تعطي تصحيحاً أكبر. ومن الخطورة أن يبنى التصحيح على خصائص الحمل الكامل للمحرك وكما في بعض الحالات تظهر بعض المحركات معاوقة متسربة عالية وتصحيح لمعامل القدرة يصل إلى 0.95 عند الحمل الكامل ويتسبب ذلك في تصحيح زائد عن الحد عند اللاحمل أو عند حالات الفصل.



التصحيح الاستاتيكي شائع التطبيق باستخدام مفاتيح الفصل الأوتوماتيكي (contactors) للتحكم في كل من المحرك والمكثفات. ومن الأفضل عملياً استخدام اثنين من مفتاح الفصل الأوتوماتيكي أحدهما للمحرك والآخر للمكثفات لتجنب مشاكل الرنين بين المحرك والمكثفات.



مغيرات التيار

لا يجب استخدام طريقة التصحيح الاستاتيكي لمعامل القدرة عندما تستخدم معدات تغيير السرعة أو مغيرات التيار للتحكم في المحركات. ويمكن أن يتسبب توصيل المكثفات عند خرج مغيرات التيار في مشاكل كبيرة لمغيرات التيار والمكثفات بسبب الجهد عالي التردد على خرج مغيرات التيار.

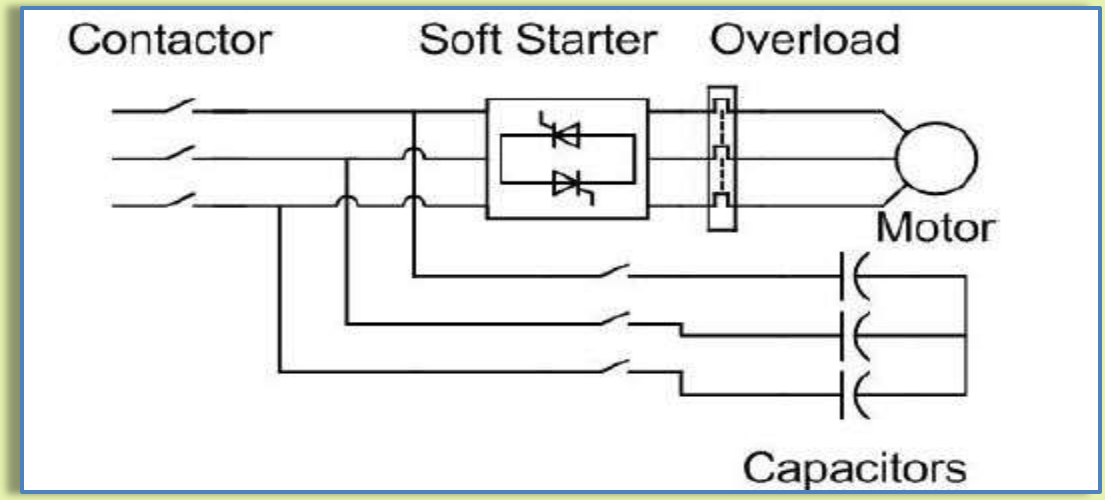
التيار المسحوب بواسطة مغيرات التيار له معامل قدرة منخفض وخاصة عند الأحمال المنخفضة، لكن تيار المحرك يعزل عن مصدر التغذية الكهربي بواسطة مغير التيار. وتكون زاوية الوجه للتيار المسحوب بواسطة مغير التيار من مصدر التغذية قريبة من الصفر وتتسبب في تيار حثي صغير جداً بدون النظر للمحرك الكهربي لذلك فإن مغير التيار يعمل دائماً عند معامل قدرة منخفض، حيث إن التيار المار في مغيرات التيار يكون غير جيبي والتوافقيات الناتجة عنها تتسبب في وجود معامل قدرة قريباً من 0.7 معتمداً على التصميم الداخلي لمغير التيار. ولذلك تحث دائما شركات الكهرباء مصنعي مغيرات التيار

لتحسين معامل القدرة لأفضل من 0.95. مغيرات التيار التي لها محاثات دخل (input reactors) و محاثات قضبان التيار المستمر (DC bus reactors) يكون معامل قدرتها أفضل من تلك التي بدون.

توصيل المكثفات قريباً من دخل مغير التيار يمكن أن يتسبب في فقدان مغير التيار لأن المكثفات تتسبب في تكبير الجهود العابرة (transients) مما يتسبب في جهد دفعي عالٍ على دوائر الدخل لمغير التيار وطاقة الجهد الدفعي أكبر من طاقة التخزين للمكثف مما قد يؤدي لتدمير مغير التيار. ويفضل أن توضع المكثفات على بعد حوالي 75 متر من مغير التيار لتقليل أضرار الجهد الدفعي بواسطة معاوقة الموصل بين المكثفات ومغير التيار. ويمكن أن يتسبب استخدام المكثفات ذات مفاتيح الغلق والفتح اليدوية أو الأوتوماتيكية في وجود جهد عابر يمكن أن يدمر دوائر الدخل لمغير التيار وتتناسب الطاقة مع قيمة السعة للمكثف.

بادئ التشغيل الناعم باستخدام المعدات الإلكترونية

لا يجب توصيل مكثفات التصحيح الاستاتيكي لمعامل القدرة عند خرج بادئ التشغيل الناعم باستخدام المعدات الإلكترونية ولكن يجب التحكم فيها بمفتاح فصل أوتوماتيكي منفصل ويبدأ إدخالها بالدائرة عندما يصل جهد الخرج لبادئ التشغيل لقيمة جهد الخط. ويمكن أن يتسبب توصيل المكثفات بالقرب من دخل بادئ التشغيل في تدميره إذا لم يستخدم مفتاح فصل أوتوماتيكي عازل. وتتسبب المكثفات في تكبير الجهود العابرة مما ينتج عنها جهود دفعية عالية لذلك فينصح بوضع المكثفات على بعد لا يقل عن 50 متراً من بادئ التشغيل.



اختيار المكثفات

يجب أن يعادل التصحيح الاستاتيكي لمعامل القدرة أقل من ٨٠% من تيار التمغنط للمحرك وإذا كان التصحيح عالياً فهناك احتمالية كبيرة لفشل المعدات وتدمير المحرك والمكثفات. في المقابل فإن تيار التمغنط للمحرك الحثي يتغير بتغير تصميم المحرك ويكون تيار التمغنط حوالي ٢٠% من تيار الحمل الكامل للمحرك ويمكن أن يصل إلى ٦٠% من تيار الحمل الكامل للمحرك. معظم تصحيح معامل القدرة يكون من خلال الجداول المنشورة بواسطة عدد من المصادر وهذه الجداول تفترض أقل قيمة لتيار التمغنط وتستنتج المكثف لهذا التيار. في الواقع يمكن أن يعني هذا في الغالب أقل من نصف القيمة التي يجب عليها.

توافقيات المصدر Supply Harmonics

التوافقيات على المصدر تتسبب في تيار زائد يمر في المكثفات وذلك لأن معاوقة المكثف تقل مع زيادة التردد وهذه الزيادة تتسبب في تسخين إضافي للمكثف ويقلل ذلك من عمره الافتراضي. وتتولد هذه التوافقيات من وجود أحمال غير خطية مثل متحكمات السرعة المتغيرة ومفاتيح مصدر التغذية الكهربي ويمكن التقليل من توافقيات الجهد باستخدام معوضات التوافقيات وهي عبارة عن مغيرات تيار كبيرة وكذلك يمكن استخدام مرشحات التوافقيات السلبية (passive harmonic filters) والمكونة من مقاومات وملفات ومكثفات.

وللتقليل من الأضرار على المكثفات الناتجة عن تيارات التوافقيات أصبح من الشائع الآن استخدام مفاعلات حثية على التوالي مع المكثفات وهذه المفاعلات الحثية تجعل دائرة التصحيح حثية عند الترددات العالية (أعلى من التوافقيات الثالثة third harmonics). والهدف من استعمالها هو جعل دائرة التصحيح حثية قدر الإمكان عند التوافقيات الخامسة وأعلى وسعوية عند تردد القوى.

رنين مصدر التغذية الكهربي

تصحيح معامل القدرة باستخدام المكثفات المتصلة على أطراف لمصدر يمكن أن تتسبب في حدوث حالة الرنين بين المصدر والمكثفات. فإذا كان تيار القصر للمصدر عالياً جداً فإن تأثير الرنين سيكون أقل ولكن عندما يكون المصدر حثياً بصورة كبيرة وله معاوقة عالية فيكون تأثير الرنين خطير جداً ويؤدي لتدمير المعدات الموجودة. الجهود العالية والعابرة والتي تكون أضعاف جهد المصدر غير معتادة مع مصادر التغذية الضعيفة وخاصة عندما يكون الحمل على المصدر منخفضاً. كما هو الحال في أنظمة الرنين فالتغير المفاجئ أو العابر في التيار ينتج طنيناً في دوائر الرنين وتوليداً للجهد العالي.

ولتقليل مشاكل رنين مصادر التغذية يمكن تتبع بعض الخطوات مع الأخذ في الاعتبار كل ما هو متعلق بمصدر التغذية.

١- تقليل قيمة تصحيح معامل القدرة خاصة عندما يكون الحمل خفيفاً. ويقلل تصحيح معامل القدرة من الفقد في مصدر التغذية.

٢- التقليل من الجهود العابرة عند عمليات الفتح. ويمكن إلغاء عمليات الفتح العابرة باستخدام مفاتيح المصدر متعاقبة التشغيل وبعض بادئات التشغيل الكهرو ميكانيكية مثل بادئ التشغيل نجمة/دلتا.

٣- توصيل المكثفات مع المصدر في خطوات عديدة صغيرة بدلاً من خطوات كبيرة وقليلة.

٤- يتم إدخال المكثفات على المصدر بعد إدخال الأحمال وكذلك فصل المصدر قبل أو مع فصل الأحمال.

ملاحظات هامة:

- تصحيح معامل القدرة للتوافقيات لا يطبق للدوائر التي تسحب تياراً له موجات متقطعة و مشوهة.
- معظم المعدات الإلكترونية تشتمل على وسائل لإيجاد تيار مستمر بتوحيد الجهد المتردد، وهذا يتسبب في وجود تيارات للتوافقيات. وفي بعض الحالات يكون تيار التوافقيات غير ملحوظ بالنسبة لتيار الحمل الكامل ولكن في العديد من التركيبات الكهربية فإن جزءاً كبيراً من التيار المسحوب من المصدر يكون غنياً بالتوافقيات. فإذا كان تيار التوافقيات كبيراً بدرجة كافية فسوف ينتج تشوهاً لموجة مصدر التغذية والتي يمكن أن تتداخل مع التشغيل الصحيح للمعدات الأخرى. ويتسبب تيار التوافقيات في زيادة الفقد في مصدر التغذية.
- تصحيح معامل القدرة لمصادر التغذية ذات الجهد المشوه لا يمكن تحقيقه بإضافة مكثفات. ويمكن التقليل من التوافقيات بتصميم المعدات مستخدماً موحدات الجهد وإضافة مرشحات خاملة (passive filters LCR) أو بإضافة مغيرات الجهد الإلكترونية لتصحيح معامل الجهد والتي تعيد موجة الجهد إلى حالتها غير المشوهة.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

مسائل

١) استنتج مثلث القوى الكلي للأحمال الثلاثة الآتية: الحمل الأول 1200VA عند معامل قدرة 0.7 متأخر، الحمل الثاني 350VA عند معامل قدرة 0.5 متأخر، الحمل الثالث 3275VA عند معامل قدرة 1.0.

(الإجابة: متأخر P=590W, Q=446VAR, S=740VA, p.f.=0.798)

٢) حمل مقداره 300 kW ومعامل قدرة 0.65 متأخر تم تحسين معامل القدرة إلى 0.9 متأخر بإضافة مكثفات على التوازي. احسب القدرة المفاعلة للمكثفات المطلوبة ونسبة الخفض في القدرة الظاهرية الكلية.

(الإجابة: 204VAR, 28%)

٣) محرك حثي 2000VA ومعامل قدرته 0.8 متأخر يعمل على التوازي مع محرك تزامني 500VA إذا كان معامل القدرة الكلي 0.9 متأخراً أوجد معامل القدرة للمحرك التزامني.

(الإجابة: 0.92 متقدم)

٤) محول كهربي 100 kVA يعمل عند 80% من تيار الحمل الكامل ومعامل قدرة 0.85 متأخر احسب القدرة الظاهرية المطلوبة عند معامل قدرة 0.6 متأخر للوصول إلى الحمل الكامل للمحول الكهربي.

(الإجابة: 21.3kVA)

٥) محول كهربي 250 kVA يعمل عند الحمل الكامل بمعامل قدرة 0.8 متأخر . صحح معامل القدرة إلى 0.9 متأخر باستخدام مكثفات على التوازي احسب

(أ) القدرة المفاعلة للمكثفات المطلوبة.

(ب) قيمة الحمل عند معامل قدرة 1.0 والذي يضاف الآن بدون الزيادة عن الحمل الكامل المقنن للمحول.

(الإجابة: 52.5 kVAR, 30kW)