

تقنية التوزيع الكهربائي

معامل القدرة وطرق تحسينه

معامل القدرة وطرق تحسينه

(6-1) مقدمة

بفرض أن هناك حمل يسحب تياراً مقداره i والجهد على أطرافه هو v حيث إن:

$$v = V_m \sin (\omega t + \phi) \quad (6-1)$$

$$i = I_m \sin \omega t \quad (6-2) \quad \text{و}$$

حيث أن ϕ هي زاوية الطور والتي بها يتقدم الجهد على التيار.

القدرة المطلوبة للحمل عند أي لحظة تقدر بالقيمة:

$$p = v i \quad (6-3)$$

بالتعويض عن قيمتي الجهد والتيار نجد أن :

$$p = V_m I_m \sin \omega t \sin (\omega t + \phi) \quad (6-4)$$

باستخدام العلاقات المثلثية يمكن كتابة معادلة القدرة كالتالي:

$$p = VI \cos \phi (1 - \cos 2\omega t) + VI \sin \phi (\sin 2\omega t) \quad (6-5)$$

حيث أن V و I هما القيمة الفعالة للجهد والتيار حيث إن:

$$V = V_m / \sqrt{2} \quad , \quad I = I_m / \sqrt{2}$$

(٦ - ١ - ١) دوائر المقاومات Resistive Circuits

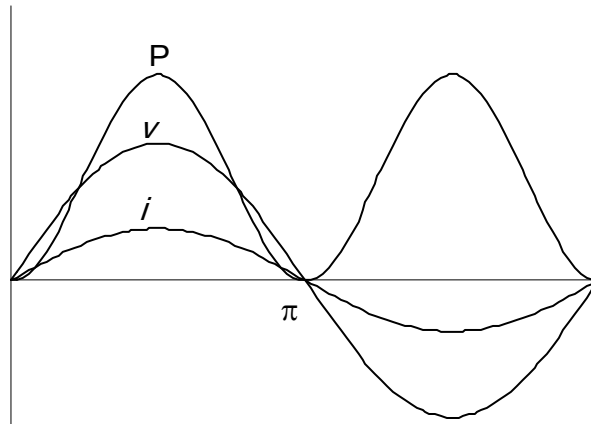
في دوائر المقاومات فقط فإن الجهد والتيار يكونان في نفس الطور أي أن زاوية الطور بين الجهد والتيار ϕ في دوائر المقاومات فقط تساوي صفراً. وبالتعويض في المعادلة (6-5) نجد أن :

$$\begin{aligned} p &= VI \cos(0) (1 - \cos 2\omega t) + VI \sin(0) (\sin 2\omega t) \\ &= VI - VI \cos 2\omega t \end{aligned} \quad (6-6)$$

حيث إن VI هو المتوسط أوجد التيار المستمر و $-VI\cos 2\omega t$ هو سالب جيب تمام الموجة مع ضعف تردد المصدر. يوضح الشكل (6.1) القدرة الكهربائية للحمل. متوسط القدرة من المعادلة (6-6) هي VI .

$$P_{av} = VI = V_m I_m / 2 \quad (6-7)$$

يبين شكل (6.1) أن موجة القدرة في الاتجاه الموجب فقط لذلك فإن القدرة الكلية المعطاة بالمصدر تفقد



شكل (6.1)

داخل المقاومة ولا تعاد أي قدرة للمصدر.

(6-1-2) الدوائر الحثية Inductive Circuits

في الدوائر الحثية يسبق الجهد التيار بزاوية مقدارها 90° لذلك فإن ϕ تساوي 90° وبالتعويض في المعادلة (6-5) فإن :

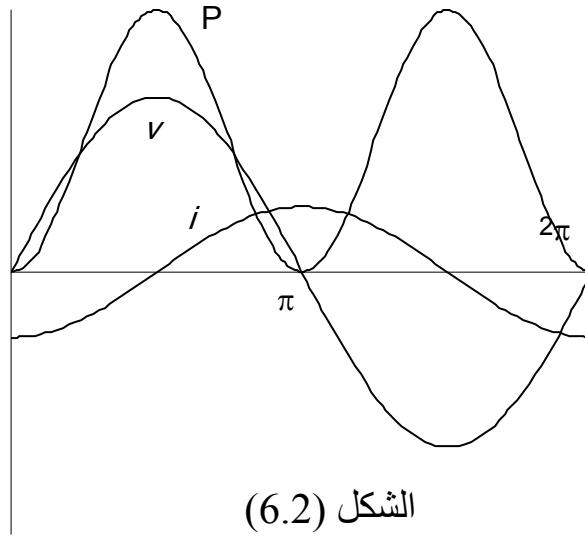
$$p_L = VI \cos(90) (1 - \cos 2\omega t) + VI \sin(90) (\sin 2\omega t) \\ = 0 + VI \sin 2\omega t$$

$$p_L = VI \sin 2\omega t \quad \text{أو} \quad (6-8)$$

ويوضح الشكل (6.2) القدرة الكهربائية للحمل في الدوائر الحثية.

يلاحظ من الشكل خلال موجة كاملة أن المساحة أعلى المحور الأفقي تساوي بالضبط المساحة أسفل المحور الأفقي وهذا يشير إلى أنه خلال موجة كاملة فإن القدرة المعطاة بالمصدر للملف تساوي بالضبط

القدرة المعتادة للمصدر بواسطة الملف. لذلك فإن القدرة المعطاة للملف الخالص تساوي صفراً أي أن الملف لا يستهلك قدرة كهربائية أي أن $P_L=0$.



الشكل (6.2)

عامة فإن القدرة المفاعلة، Q ، المصاحبة لأي دائرة تعرف بـ $VI \sin \phi$ الموجودة بالمعادلة (6-1) لذلك فإن:

$$Q_L = VI \sin \phi$$

للملف فإن ϕ تساوي 90°

$$Q_L = VI$$

(6-9)

(6-1-3) الدوائر السعوية Capacitive Circuits

في الدوائر السعوية فقط يسبق التيار الجهد بزاوية مقدارها 90° لذلك فإن ϕ تساوي -90° وبالتعويض في

المعادلة (6-5) فإن :

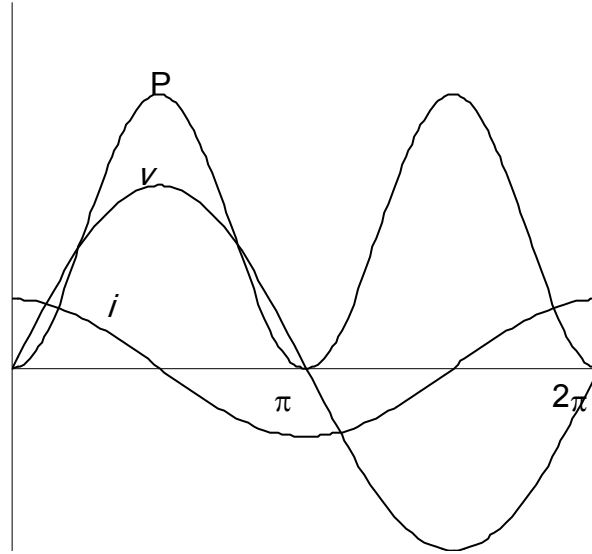
$$\begin{aligned} p_C &= VI \cos(-90) (1 - \cos 2\omega t) + VI \sin(-90) (\sin 2\omega t) \\ &= 0 - VI \sin 2\omega t \end{aligned}$$

$$p_C = -VI \sin 2\omega t$$

(6-10)

أو

حيث أن $-VI \sin 2\omega t$ هي موجة جيبية سالبة ترددها ضعف تردد المصدر ويوضح شكل (6.3) القدرة الكهربائية للحمل السعوي.



الشكل (6.3)

ويوضح الشكل أن القدرة المعطاة من المصدر للمكثف تساوي بالضبط القدرة المعادة للمصدر من المكثف وذلك خلال موجة كاملة أي أن القدرة المتوسطة تساوي صفراً $P_C=0$.
القدرة المفاعلة المصاحبة للمكثف تساوي القيمة العظمى لمنحنى القدرة في الشكل (6.3).

$$Q_C = VI \quad (6-11)$$

(6-2) القدرة الظاهرية Apparent Power

مما سبق تعرفنا إلى نوعين من القدرة الكهربائية هما القدرة الفعالة وهي التي تستهلك كلية في المقاومات في الدائرة الكهربائية ويرمز لها بالرمز P والقدرة المفاعلة ويرمز لها بالرمز Q وهي القدرة الممتصة أو المعادة بواسطة الملفات أو المكثفات في الدوائر الكهربائية. وحيث إن التيار والجهد على المقاومات يكونان في نفس الطور بينما يسبق الجهد التيار بزاوية 90° في حالة الملف ويتأخر الجهد عن التيار بزاوية 90° فإن

القدرة المفاعلة تكون متعامدة على القدرة الفعالة. وهنا نتعرف على نوع ثالث من القدرة الكهربائية وتسمى بالقدرة الظاهرية وهي القدرة الكهربائية الكلية التي يغذي بها المصدر الدوائر الكهربائية المحتواة على جميع العناصر الكهربائية ويرمز لها بالرمز S.

$$S = VI \quad (6-12)$$

(6-3) مثلث القوى Power Triangle

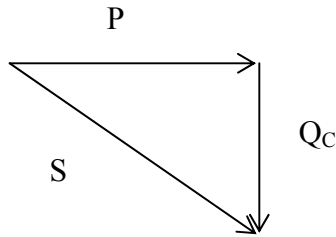
الكميات الثلاث ، القدرة الفعالة (active power) والقدرة المفاعلة (reactive power) والقدرة الظاهرية (apparent power) يمكن كتابة العلاقة بينهما بالعلاقة الاتجاهية الآتية:

$$S = P + jQ$$

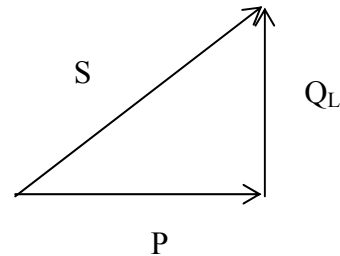
$$P = P \angle 0^\circ , \quad Q_L = Q_L \angle 90^\circ , \quad Q_C = Q_C \angle -90^\circ \quad \text{مع}$$

للحمل الحثي يمكن كتابة متجه القدرة الظاهرية كالتالي:

$$S = P + jQ_L$$



شكل (6.4b) مخطط القوى لحمل سعوي



شكل (6.4a) مخطط القوى لحمل حثي

عندما تحتوي الدائرة الكهربائية على كل من العناصر الحثية و السعوية فإن المركبة المفاعلة لمثلث القوى تتحدد بالفرق بين القدرة المفاعلة لكل منها.

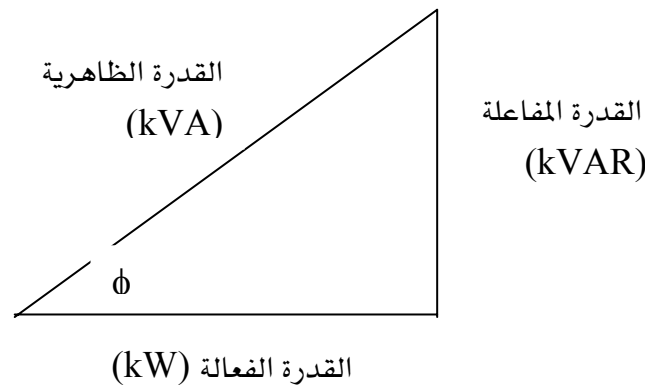
(6-4) معامل القدرة Power Factor

معامل القدرة هو النسبة بين القدرة الفعالة والتي تستهلك فعلاً بالأحمال وتقاس بالكيلو واط (kW) و القدرة الكلية المطلوبة والتي تسمى القدرة الظاهرية وتقاس بالكيلو فولت أمبير. القدرة الفعالة هي التي تنجز العمل الحقيقي مثل إنتاج الحرارة، الضوء، الحركة.... إلخ. أما القدرة المفاعلة فهي التي تساعد على وجود المجال الكهرومغناطيسي وتقاس بالكيلو فولت أمبير مفاعلة (KVAR). القدرة الكلية وتسمى القدرة الظاهرية وهي مزيج من القدرة الفعالة والقدرة المفاعلة وتقاس بالكيلو فولت أمبير (kVA).

$$\text{معامل القدرة} = \cos \phi = \frac{\text{القدرة الفعالة}}{\text{القدرة الكلية}}$$

i.e. $\cos \phi = P / S$ (6-13)

ويقاس معامل القدرة فعالية نظام القدرة الكهربائي المستخدم ويعني معامل القدرة العالية أن النظام الكهربائي يستخدم بفعالية كبيرة بينما معامل القدرة المنخفض يشير إلى الاستخدام السيئ للنظام الكهربائي. فعندما يكون معامل القدرة مساوياً الواحد فإن ذلك يعني أن كل القدرة المنتجة بواسطة النظام الكهربائي تستهلك لإنتاج العمل الفعال. على الجانب الآخر فإن المعدات المفاعلة هي المعدات التي تستخدم الملفات الحثية أو المكثفات مثل المحركات الكهربائية والمحولات.... إلخ.



شكل (6-5) مثلث القوى

وهناك نسبة كبيرة من الآلات الكهربائية المستخدمة في الصناعة لها معامل قدرة منخفض. فأي منشأة صناعية تحتوي على أنواع المعدات والآلات الكهربائية الآتية يكون لها معامل قدرة منخفض والتي تتطلب خطوات لتحسين معامل القدرة.

- أ) كل أنواع المحركات الحثية والتي تمثل معظم الأحمال الصناعية
 - ب) ثيراستور القوى والذي يستخدم للتحكم في محركات التيار المستمر والعمليات الكهرو كيميائية.
 - ت) محولات القوى ومنظمات الجهد.
 - ث) آلات اللحام الكهربائي.
 - ج) أفران القوس الكهربائي والأفران الحثية.
 - ح) الملفات الخانقة والأنظمة المغناطيسية.
 - خ) كشافات الفلورسنت والنيون.
- ويعطى جدول (1-6) معاملات القدرة للصناعات المختلفة.

جدول (6-1)

الصناعة	معامل القدرة
صناعة النسيج	0.65/0.75
صناعة الكيماويات	0.75/0.85
اللحام بالقوس الكهربائي	0.35/0.4
أفران القوس الكهربائي	0.7/0.9
أعمال الأسمنت	0.78/0.8
مصانع الملابس	0.35/0.6
الأعمال المعدنية	0.6/0.85
الثلاجات الكبيرة الحافظة	0.7/0.8
سباكة المعادن	0.5/0.7
صناعات البلاستيك	0.6/0.75
معدات الطباعة	0.55/0.7
المحاجر	0.5/0.7
الدرفلة (باستخدام ثيراستور القوى)	0.3/0.75

(6-5) تأثيرات معامل القدرة

- (أ) سعة النظام الكهربائي : الكيلو فولت أمبير هي القدرة الكلية المتاحة في النظام الكهربائي. القدرة الفعالة=القدرة الكليةXمعامل القدرة، أي أن معامل القدرة العالي يعني زيادة سعة النظام الكهربائي المتاح ومع زيادة سعة النظام الكهربائي يصبح الجهد أكثر استقراراً عند توصيل وفصل الأحمال الكهربائية وكذلك يمكن إضافة أحمال أكثر للنظام الكهربائي عند الاحتياج.
- (ب) مفاقيد النظام الكهربائي : مع معامل القدرة العالي فإن التيار الكهربائي 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 الكهربائي عالياً وذلك لزيادة كفاءة النظام الكهربائي 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 الكهربائي: يزداد التيار المار في خط النقل الكهربائي عندما يقل معامل القدرة الكهربائية وذلك بتثبيت القدرة الكهربائية الفعالة المنقولة على الخط الكهربائي وبذلك لابد من زيادة مساحة مقطع موصلات خط النقل مما يتسبب في زيادة تكاليف الخط. وأيضاً بزيادة التيار الكهربائي تزداد مفاويز خط النقل الكهربائي مما يقلل من كفاءة خط النقل وكذلك يتسبب ارتفاع التيار في زيادة انخفاض الجهد على الخط.
- (هـ) التأثير على المحولات الكهربائية: 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 الكهربائية عند نفس قيمة القدرة الكهربائية المنقولة عند معامل القدرة المنخفض.
- (ز) التأثير على المولدات الكهربائية : 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 الكهربائي 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.

(6-6) مميزات تحسين معامل القدرة

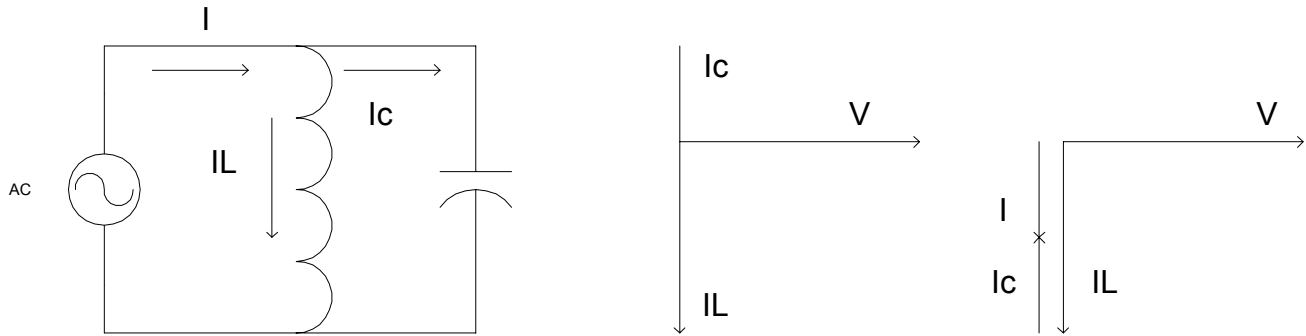
- عند عمل الشبكات الكهربائية بمعامل قدرة منخفض تزداد التكاليف الرئيسية لمحطات التوليد وأنظمة النقل والتوزيع الكهربائي. ولذلك فمن المستحسن للمستهلك والمغذي أن تعمل الشبكات الكهربائية عند معامل قدرة مرتفع. وتلخص النقاط التالية فوائد تحسين معامل القدرة:
- (أ) الاستخدام الأفضل لسعة القدرة الفعالة للمحرك المبدئي للمولد.

- (ب) زيادة سعة القدرة الفعالة للمولد الكهربائي.
- (ج) زيادة سعة القدرة الفعالة للمحول الكهربائي.
- (د) زيادة كفاءة كل الوحدات في الشبكة الكهربائية.
- (هـ) تقليل تكاليف الوحدات في الشبكة.
- (و) تحسين تنظيم الجهد على خطوط النقل الكهربائي.

(6-7) 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 الكهربائي. ومع التسليم بأن معظم الأحمال في أنظمة التوزيع الكهربائي الحديثة أحمال حثية والتي تعني أنها تحتاج لمجال كهرو مغناطيسي لعملها لذلك فإن أبسط الطرق لتحسين معامل القدرة هي إضافة المكثفات لمحطة التوزيع الكهربائية. وتعمل مكثفات القوى كمولدات تيار مفاعلة. وبإضافة تيار المكثفات المفاعلة فإن التيار الكلي للنظام الكهربائي سيقبل.

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



الشكل (6.6) وضع مكثف على التوازي مع ملف

التيار الأولى بالدائرة قبل توصيل المكثف هو I_L ويتأخر عن جهد المصدر بزاوية 90° 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° 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° من I_L . لذلك فإن القدرة المفاعلة الكلية في هذه الحالة تساوي :

$$Q = V (I_L - I_C) = Q_L - Q_C \quad (6-14)$$

وبالنظر 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.

(6-8) المكثفات الكهربائية Electrical Capacitors

المكثف الكهربائي عبارة عن موصلين كهربيين بينهما عازل كهربائي. سعة المكثف والجهد على الموصلات الكهربائية هي العوامل المحددة لكمية الشحنات الكهربائية التي تخزن في المكثف الكهربائي:

$$C = \frac{Q}{V} \quad \text{farad} \quad (6-15)$$

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

سعة مكثف كهربائي ذي لوحين متوازيين بينهما عازل هي:

$$C = \frac{\epsilon_o \epsilon_r A}{d} = \frac{\epsilon A}{d} \quad \text{farad} \quad (6-16)$$

حيث أن ϵ هي النفاذية المطلقة لمادة العزل و A مساحة اللوح المعدني و d هي المسافة بين اللوحين. ويبين جدول (6-2) 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 الكهربائي. وتلعب درجة الحرارة والتردد اللذان يعمل عندهما المكثف دوراً هاماً في اختيار نوعية العازل المستخدم.

جدول (6-2)

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
الميك	5.60	80-100	150
البولي بروبيلين	2.20	48-52	650
البوليستر	2.90	not used in a.c.	158

وتحدد قيمة القدرة لمكثفات القوى بالمعادلة التالية:

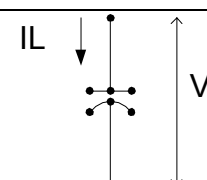
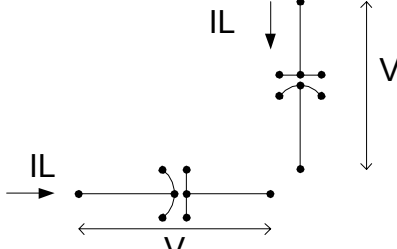
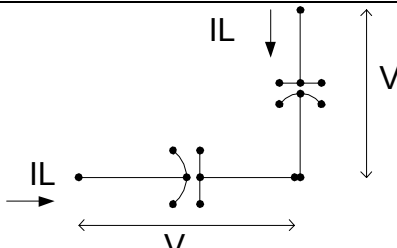
$$Q = 2 \pi f C V^2 \times 10^{-9} \quad \text{kVAR} \quad (6-17)$$

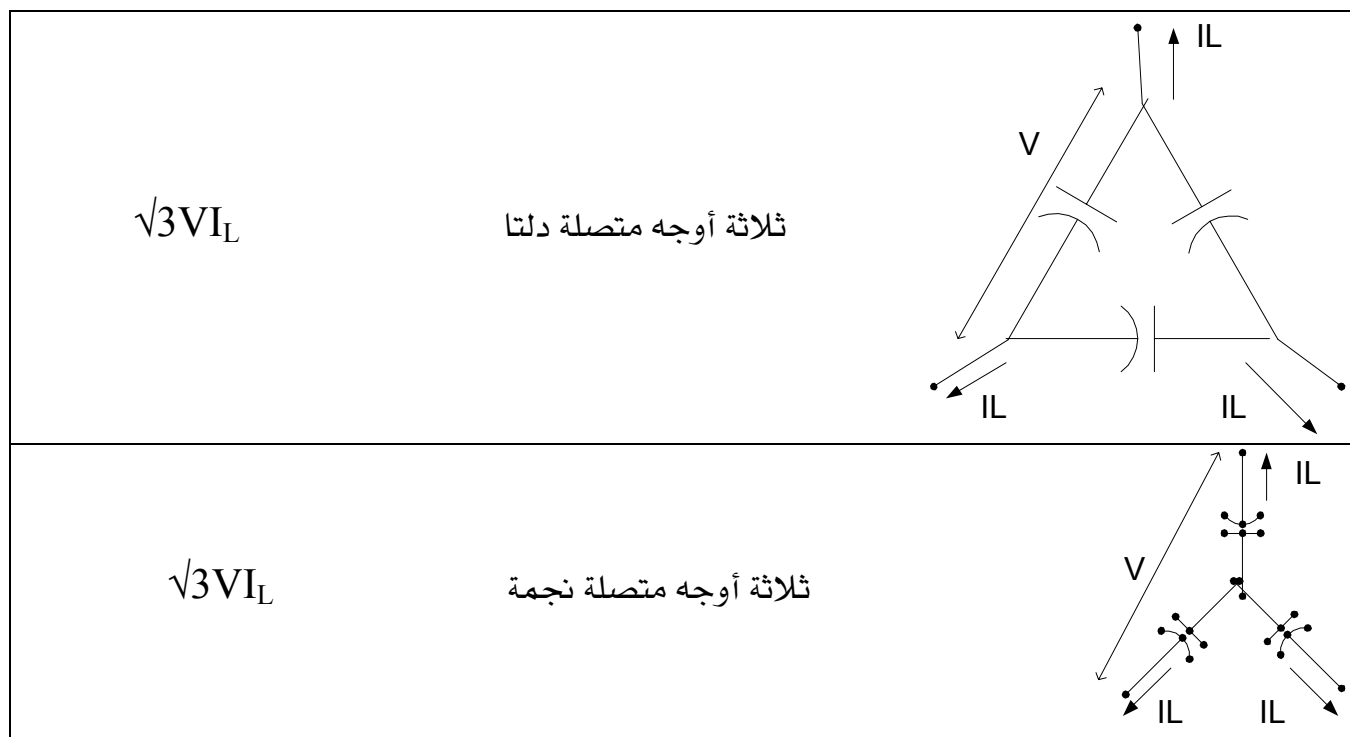
ويبين الشكل (6.7) يبين قدرة مكثفات القوى لمختلف توصيلات المكثفات.

(6-8-1) أنواع المكثفات المستخدمة عملياً

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 إلكترونيات الورق المعدني والشرائح الرقيقة من البولي بروبيلين والمغموسة في زيت عازل غير ضار بالصحة. تتكون مكثفات القوى من عدد من العناصر الأساسية والتي تبني بلف طبقتين من شرائح الألمنيوم بين عدد من الطبقات من ورق رقيق عازل أو عازل مختلط من الورق وشريحة بلاستيكية.

الشكل (6.7)

الشكل	نوع التوصيل	معادلة حساب القدرة (VAR)
	وجه واحد	VI_L
	وجهان ذوا أربعة أسلاك	$2VI_L$
	وجهان ذوا ثلاثة أسلاك	$2VI_L$



(6-9) طرق تحسين معامل القدرة

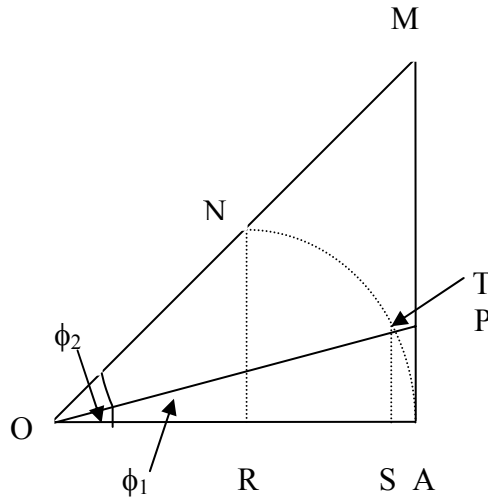
يمكن استخدام إحدى الطريقتين الآتيتين لتحسين معامل القدرة:

(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_1 و ϕ_2 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 $(\tan\phi_1 - \tan\phi_2)$.

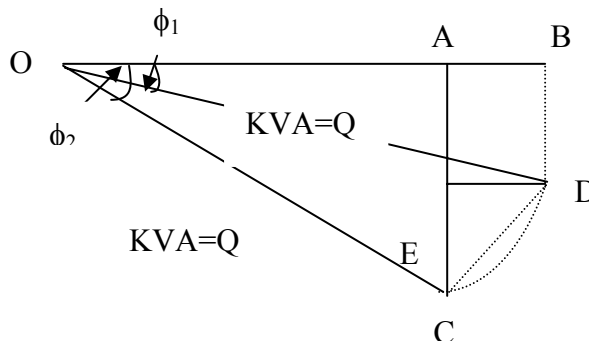


الشكل (6.8) حساب السعة المفاعلة للمكثفات المطلوبة

(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_1 و ϕ_2 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 :



الشكل (6.9)

$$\begin{aligned} CE &= Q \sin \phi_1 - Q \sin \phi_2 \\ &= Q (\sin \phi_1 - \sin \phi_2) \end{aligned}$$

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.

$$I = \frac{V}{Z_1} = \frac{20 \angle 60^\circ}{4 \angle 30^\circ} = 5 \angle 30^\circ \quad A \quad \text{الحل: الفرع الأول: تيار الفرع الأول}$$

$$S = V I^* = 20 \angle 60^\circ \times 5 \angle -30^\circ = 100 \angle 30^\circ \quad VA \quad \text{القدرة الظاهرية}$$

$$P = 100 \cos 30 = 86.6 \quad W \quad \text{القدرة الفعالة}$$

$$Q = 100 \sin 30 = 50 \quad VAR \quad \text{القدرة المفاعلة متأخرة}$$

$$I = \frac{V}{Z_2} = \frac{20 \angle 60^\circ}{5 \angle 60^\circ} = 4 \angle 0^\circ \quad A \quad \text{الفرع الثاني: تيار الفرع الثاني}$$

$$S = V I^* = 20 \angle 60^\circ \times 4 \angle 0^\circ = 80 \angle 60^\circ \quad VA \quad \text{القدرة الظاهرية}$$

$$P = 80 \cos 60 = 40 \quad W \quad \text{القدرة الفعالة}$$

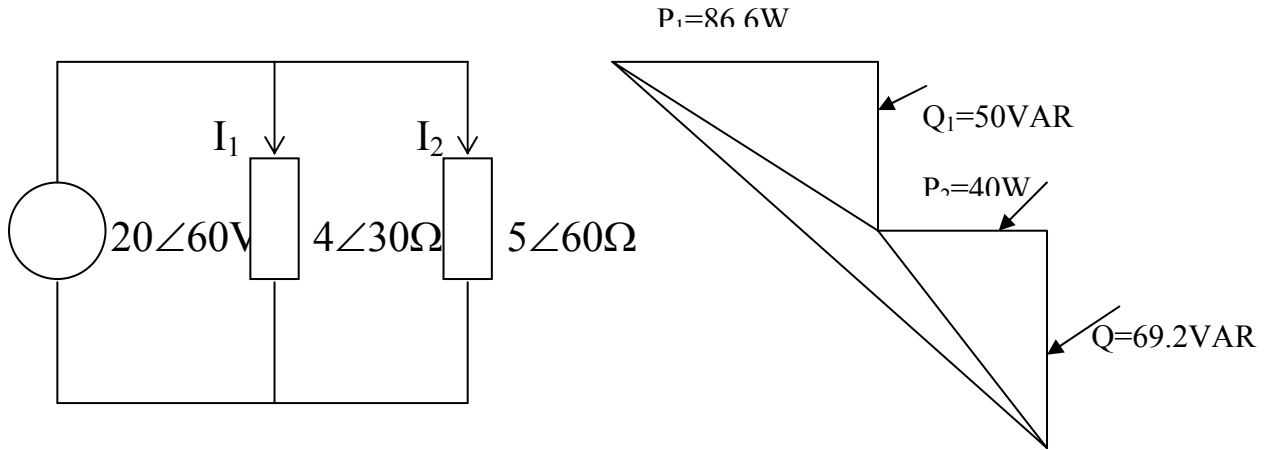
$$Q = 80 \sin 60 = 69.2 \quad VAR \quad \text{القدرة المفاعلة متأخرة}$$

$$P_T = 86.6 + 40 = 126.6 \quad W \quad \therefore \text{القدرة الفعالة الكلية}$$

$$Q_T = 50 + 69.2 = 119.2 \quad VA \quad \text{القدرة المفاعلة الكلية}$$

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

$$P.F. = \frac{P_T}{Q_T} = \frac{126.6}{174} = 0.727 \quad \text{متأخر} \quad \text{معامل القدرة الكلي للدائرة}$$



الشكل (6.10)

مثال 2: حدد مكونات القدرة الكهربائية 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 $P = S \times \text{P.F.} = 250 \times 0.5 = 125 \text{ W}$

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

القدرة المفاعلة $Q = S \times \sin \phi = 250 \times \sin 60 = 216 \text{ VAR}$

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

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

القدرة المفاعلة $Q = S \times \sin \phi = 225 \times \sin 36.9 = 135 \text{ VAR}$

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

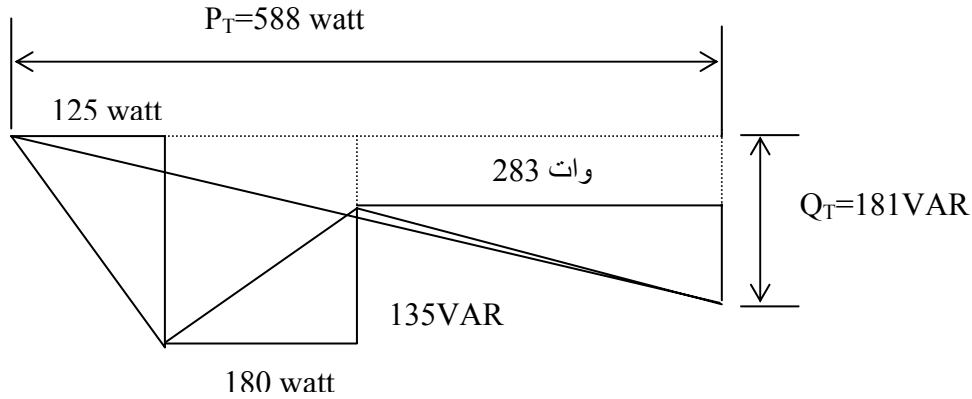
القدرة الفعالة $P = S \times \cos \phi = 300 \times \cos 19.5 = 283 \text{ W}$

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

القدرة المفاعلة الكلية متأخر $Q = 216 - 135 + 100 = 181 \text{ VAR}$

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

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



الشكل (6.11)

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

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

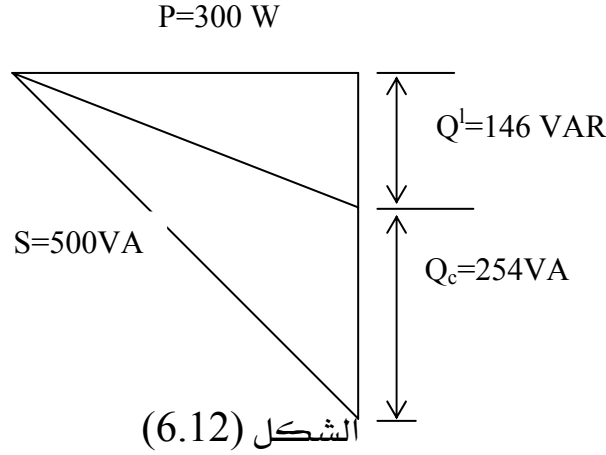
عند تحسين معامل القدرة إلى 0.9 متأخر

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

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

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

نسبة الحمل الكامل $= 500 \div 333 = 66.7\%$



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 إلى 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 $P = 50 \times (746 \div 0.89) = 41910 \text{ W} = 41.91 \text{ kW}$

- عند معامل القدرة 0.85 متأخر $\phi_1 = \cos^{-1} 0.85 = 31.8^\circ$

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

- عند معامل القدرة 0.95 متأخر $\phi_1 = \cos^{-1} 0.95 = 18.2^\circ$

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

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

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

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

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

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

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

(ب) عند توصيل المكثفات على هيئة نجمة فإن الجهد على كل مكثف هو

$$440/\sqrt{3}=254V$$

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

$$C = I_c \div V\omega = 16 \div (2\pi \times 50 \times 254) = 200.4 \times 10^{-6} \text{ F} \quad \text{سعة المكثف المطلوب}$$

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

مثال 5: محول كهربائي قدرته 25kVA يغذي حملاً كهربائياً 12kW عند معامل قدرة 0.6 متأخر. 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 حملة الكامل.

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

نسبة الحمل الكامل للمحول = $(25 / 20) = 125\%$

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

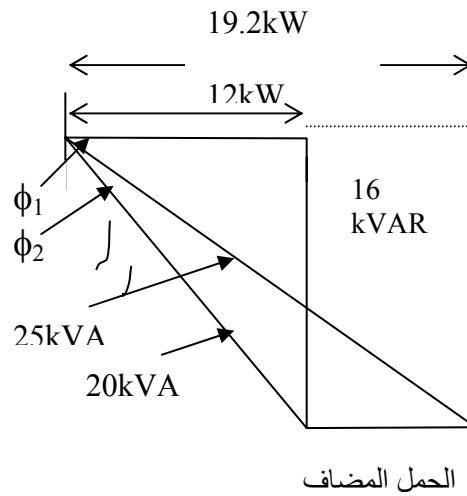
$$\phi_2 = \sin^{-1} (16 \div 25) = 39.8^\circ$$

$$P_T = S \times \cos \phi_2 = 25 \times \cos 39.8 = 19.2 \text{ kW}$$

$$P = 19.2 - 12 = 7.2 \text{ kW}$$

القدرة الفعالة الكلية

قيمة الحمل المضاف



الشكل (6.13)

(6-10) طريقة الجداول

وهي من الطرق الشائعة الاستعمال وتعطي مقنن المكثف المطلوب لتحسين معامل القدرة من معامل القدرة الموجود بالفعل إلى معامل القدرة المراد الوصول إليه.

بفرض أن معامل القدرة المراد تحسينه هو PF_1 يمكننا كتابة المعادلات الآتية:

$$PF_1 = \cos \phi_1$$

$$P = S_1 \times \cos \phi_1$$

$$Q_1 = S_1 \times \sin \phi_1$$

$$\therefore Q_1 = P \times \tan \phi_1$$

وبفرض أن معامل القدرة تم تحسينه إلى PF_2 فإن :

$$PF_2 = \cos \phi_2$$

$$P = S_2 \times \cos \phi_2$$

$$Q_2 = S_2 \times \sin \phi_2$$

$$\therefore Q_2 = P \times \tan \phi_2$$

$$\cos \phi_2 = PF_2 = \text{معامل القدرة}$$

$$Q_c = Q_1 - Q_2 \quad \text{لذلك فإن قدرة المكثف المطلوبة}$$

$$= P (\tan \phi_1 - \tan \phi_2)$$

$$= P (M)$$

$$\tan \phi_2 - \tan \phi_1 = (M) \quad \text{معامل الضرب أي أن}$$

ويبين الجدول (6-8) معامل الضرب لتحسين معامل القدرة من قيمة لآخري.

مثال 6: حمل كهربائي قدرته الفعالة 400kW بمعامل قدرة 0.8 متأخر. حدد القدرة الظاهرية المقننة للمكثف لرفع معامل القدرة إلى 0.9 متأخر باستخدام طريقة الجداول.

الحل: معامل القدرة المراد تحسينه = 0.8 معامل القدرة المراد الوصول إليه = 0.9

من الجدول نجد أن معامل الضرب = 0.266

$$\therefore \text{القدرة الظاهرية المطلوبة للمكثف} \quad Q_c = P \times M = 400 \times 0.266 = 106.4 \text{ kVAR}$$

مثال 7: مغذٍ كهربائي قدرته الفعالة 1000 كيلو واط وعامل القدرة له 0.75 متأخر. حدد القدرة الظاهرية المقننة للمكثف لرفع معامل القدرة للمغذي إلى 0.95 متأخر باستخدام طريقة الجداول.

الحل: معامل القدرة المراد تحسينه = 0.75 معامل القدرة المراد الوصول إليه = 0.95

من الجدول نجد أن معامل الضرب = 0.553

∴ القدرة الظاهرية المطلوبة للمكثف $Q_c = P \times M = 1000 \times 0.553 = 553 \text{ kVAR}$

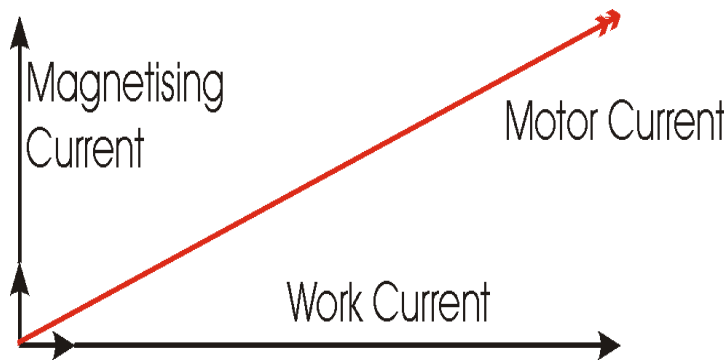
جدول (6-8)

معامل الضرب لتحسين معامل القدرة إلي:									معامل القدرة المراد تحسينه
0.80	0.85	0.90	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1.00	
3.122	3.252	3.338	3.543	3.580	3.621	3.669	3.729	3.872	0.25
2.964	3.094	3.230	3.385	3.422	3.463	3.511	3.571	3.714	0.26
2.816	2.945	3.082	3.237	3.274	3.315	3.353	3.423	3.566	0.27
2.679	2.809	2.945	3.100	3.137	3.178	3.226	3.286	3.429	0.28
2.550	2.680	2.816	2.971	3.008	3.049	3.097	3.157	3.300	0.29
2.431	2.561	2.697	2.852	2.889	2.930	2.978	3.038	3.181	0.30
2.315	2.445	2.581	2.736	2.773	2.814	2.862	2.992	3.065	0.31
2.210	2.340	2.476	2.631	2.667	2.709	2.757	2.817	2.960	0.32
2.111	2.241	2.377	2.532	2.569	2.610	2.658	2.718	2.861	0.33
2.015	2.145	2.281	2.436	2.473	2.514	2.562	2.662	2.765	0.34
1.927	2.057	2.193	2.348	2.385	2.426	2.474	2.534	2.677	0.35
1.842	1.972	2.108	2.263	2.300	2.341	2.389	2.449	2.592	0.36
1.761	1.891	2.027	2.182	2.219	2.260	2.308	2.363	2.511	0.37
1.684	1.814	1.950	2.105	2.142	2.183	2.231	2.291	2.434	0.38
1.162	1.742	1.878	2.033	2.070	2.111	2.159	2.219	2.362	0.39
1.541	1.671	1.807	1.962	1.999	2.040	2.088	2.148	2.291	0.40
1.475	1.605	1.741	1.896	1.933	1.974	2.022	2.082	2.225	0.41
1.411	1.541	1.677	1.832	1.869	1.910	1.958	2.018	2.161	0.42
1.530	1.480	1.616	1.771	1.808	1.849	1.897	1.957	2.100	0.43
1.291	1.421	1.556	1.712	1.749	1.790	1.838	1.898	2.410	0.44
1.234	1.364	1.500	1.655	1.692	1.733	1.781	1.841	1.984	0.45
1.180	1.310	1.446	1.601	1.638	1.679	1.727	1.787	1.930	0.46
1.128	1.258	1.394	1.549	1.586	1.627	1.675	1.635	1.878	0.47
1.078	1.208	1.344	1.499	1.536	1.577	1.625	1.685	1.828	0.48
1.029	1.159	1.295	1.450	1.487	1.528	1.576	1.636	1.779	0.49
0.892	1.221	1.248	1.403	1.440	1.481	1.529	1.589	1.732	0.50
0.936	1.066	1.202	1.357	1.394	1.435	1.483	1.543	1.686	0.51
0.893	1.023	1.159	1.314	1.351	1.392	1.440	1.500	1.643	0.52
0.850	0.980	1.116	1.271	1.308	1.349	1.397	1.457	1.600	0.53
0.809	0.939	1.075	1.230	1.267	1.303	1.356	1.416	1.559	0.54
0.769	0.899	1.035	1.190	1.227	1.268	1.316	1.376	1.519	0.55
0.730	0.860	0.996	1.151	1.188	1.229	1.277	1.336	1.480	0.56
0.692	0.822	0.958	1.113	1.150	1.190	1.239	1.229	1.442	0.57
0.655	0.785	0.921	1.076	1.113	1.154	1.202	1.262	1.405	0.58
0.619	0.749	0.885	1.040	1.077	1.118	1.166	1.226	1.369	0.59
0.583	0.713	0.849	1.004	1.041	1.082	1.130	1.190	1.333	0.60
0.549	0.679	0.815	0.970	1.007	1.048	1.096	1.156	1.229	0.61

0.515	0.645	0.781	0.936	0.973	1.014	1.062	1.122	1.265	0.62
0.483	0.613	0.749	0.904	0.941	0.982	1.030	1.090	1.233	0.63
0.451	0.581	0.717	0.872	0.909	0.950	0.998	1.058	1.201	0.64
0.419	0.549	0.685	0.840	0.877	0.918	0.966	1.026	1.169	0.65
0.388	0.518	0.654	0.809	0.846	0.887	0.935	0.995	1.138	0.66
0.358	0.488	0.624	0.779	0.816	0.857	0.905	0.965	1.108	0.67
0.328	0.458	0.594	0.749	0.786	0.827	0.875	0.935	0.078	0.68
0.299	0.429	0.565	0.720	0.757	0.798	0.846	0.906	1.049	0.69
0.270	0.499	0.536	0.691	0.728	0.769	0.817	0.877	1.020	0.70
0.242	0.372	0.508	0.663	0.700	0.741	0.789	0.849	0.992	0.71
0.214	0.344	0.470	0.635	0.672	0.713	0.761	0.821	0.964	0.72
0.186	0.316	0.452	0.606	0.644	0.685	0.733	0.793	0.936	0.73
0.159	0.289	0.425	0.580	0.617	0.658	0.706	0.766	0.909	0.74
0.132	0.262	0.398	0.553	0.590	0.631	0.679	0.739	0.882	0.75
0.105	0.235	0.371	0.526	0.563	0.604	0.652	0.712	0.855	0.76
0.079	0.209	0.345	0.500	0.537	0.578	0.626	0.686	0.829	0.77
0.052	0.182	0.381	0.473	0.510	0.551	0.559	0.659	0.802	0.78
0.026	0.156	0.292	0.447	0.484	0.525	0.573	0.633	0.776	0.79
-----	0.130	0.266	0.421	0.458	0.499	0.547	0.607	0.750	0.80
-----	0.104	0.240	0.395	0.432	0.473	0.521	0.581	0.724	0.81
-----	0.078	0.214	0.369	0.406	0.447	0.495	0.555	0.698	0.82
-----	0.052	0.188	0.343	0.380	0.421	0.469	0.529	0.672	0.83
-----	0.026	0.162	0.317	0.354	0.395	0.443	0.503	0.646	0.84
-----	-----	0.136	0.291	0.328	0.369	0.417	0.477	0.620	0.85
-----	-----	0.109	0.264	0.301	0.342	0.390	0.450	0.592	0.86
-----	-----	0.083	0.238	0.275	0.316	0.364	0.424	0.567	0.87
-----	-----	0.056	0.211	0.248	0.289	0.337	0.397	0.540	0.88
-----	-----	0.028	0.183	0.220	0.261	0.309	0.369	0.512	0.89
-----	-----	-----	0.155	0.192	0.233	0.281	0.341	0.484	0.90
-----	-----	-----	0.127	0.164	0.205	0.253	0.313	0.456	0.91
-----	-----	-----	0.097	0.134	0.175	0.223	0.283	0.426	0.92
-----	-----	-----	0.066	0.103	0.144	0.192	0.252	0.395	0.93
-----	-----	-----	0.034	0.071	0.112	0.160	0.220	0.363	0.94
-----	-----	-----	-----	0.037	0.078	0.126	0.186	0.329	0.95
-----	-----	-----	-----	-----	0.041	0.089	0.149	0.292	0.96
-----	-----	-----	-----	-----	-----	0.048	0.108	0.251	0.97
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	0.060	0.203	0.98
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	0.143	0.99

(6-11) تصحيح معامل القدرة للمحركات الكهربائية

تستخدم المكثفات في عمليات تحسين معامل القدرة للدوائر الكهربائية التي تحتوي على محركات حثية كوسيلة لتقليل المركبة الحثية للتيار ولذلك يقل الفقد في مصدر التغذية الكهربائي ولكن يجب ألا يؤثر هذا على تشغيل المحرك نفسه. تسحب المحركات الحثية تياراً من المصدر مكوناً من مركبتين إحداهما مركبة حثية والأخرى مركبة مقاومات وهما: (أ) تيار الحمل (ب) تيار الفقد ومكونات المركبة الحثية هي: (أ) مفاعلة الفيض المتسرب (leakage reactance) (ب) تيار التمهبط (magnetizing current)

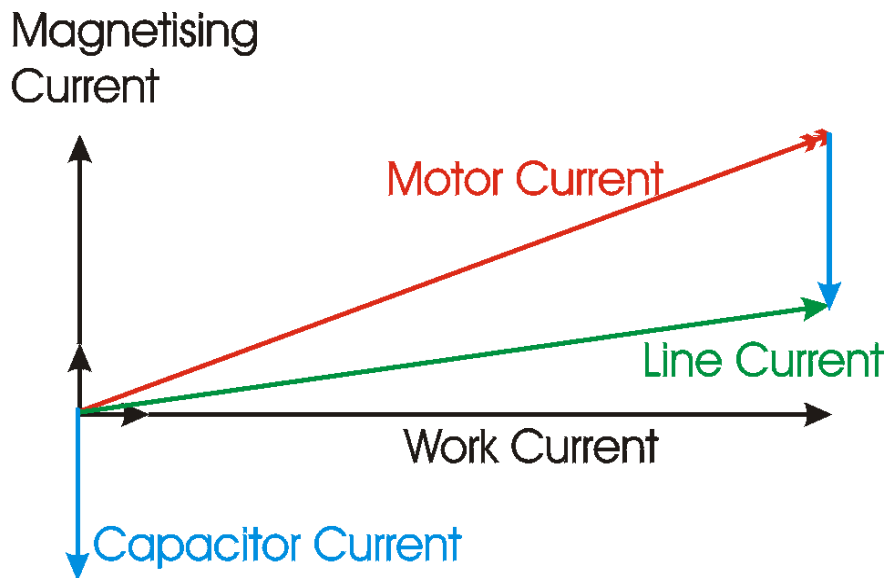


الشكل (6.14)

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

المصحح بين 0.92 إلى 0.95. وتحت بعض شركات التوزيع الكهربائي 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 الكهربائي 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 الكهربائي. ويستخدم التيار السعوي المتقدم الناتج لمعادلة التيار الحثي المتأخر القادم من المصدر.



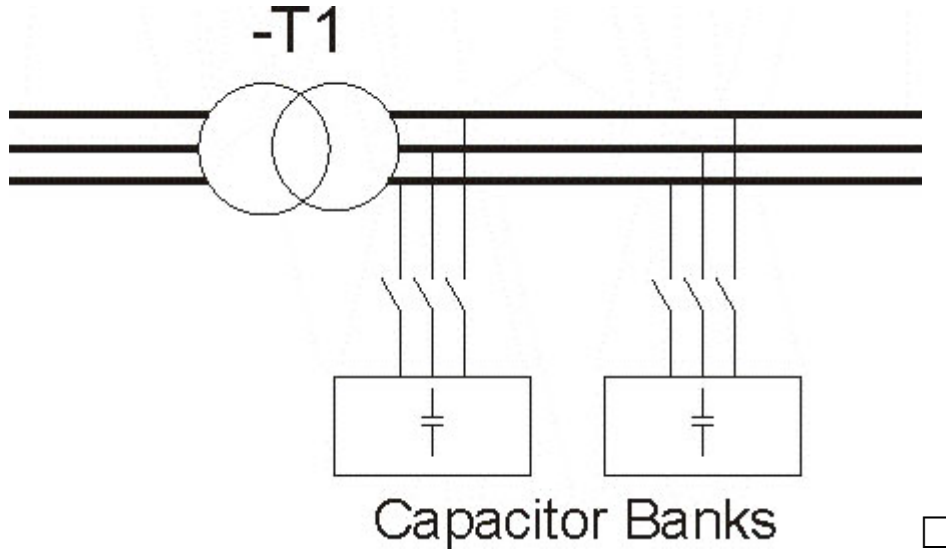
الشكل (6.15)

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

(6-11-1) 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.



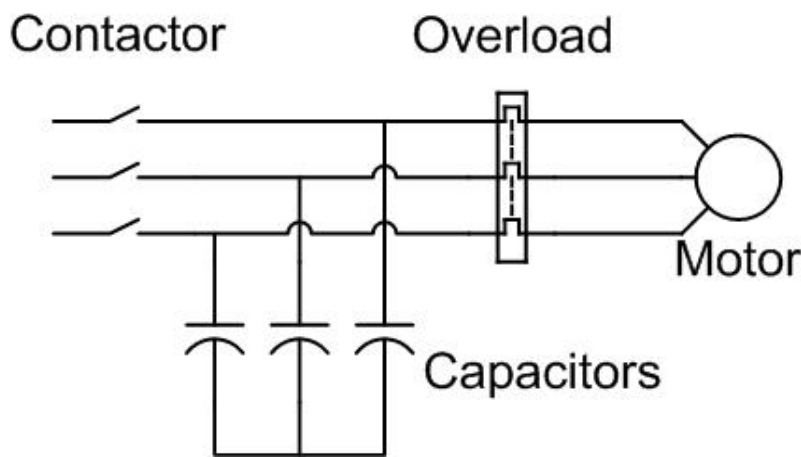
شكل (6-16)

(6-11-2) التصحيح الاستاتيكي Static Correction

حيث أن الجزء الأكبر من التيار الحثي أو المتأخر على مصدر التغذية الكهربائي ناتج عن تيار التماغنط 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 التماغنط الحثي للمحرك. في معظم التركيبات التي تستخدم التصحيح الاستاتيكي وتوصل المكثفات مباشرة على التوازي مع ملفات المحرك. عند فصل المحرك تفصل أيضاً مكثفات التصحيح وعند توصيل المحرك بالمصدر الكهربائي توصل أيضاً 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 تياراً حثياً في العضو الدوار للمحرك (rotor). وعند فصل المحرك من المصدر يكون هناك لفترة زمنية مجال مغناطيسي مرتبط بالعضو الدوار للمحرك ويتولد جهد كهربائي على أطراف المحرك بتردد يعتمد على سرعة المحرك وتكون المكثفات المتصلة على أطراف المحرك دائرة رنين مع

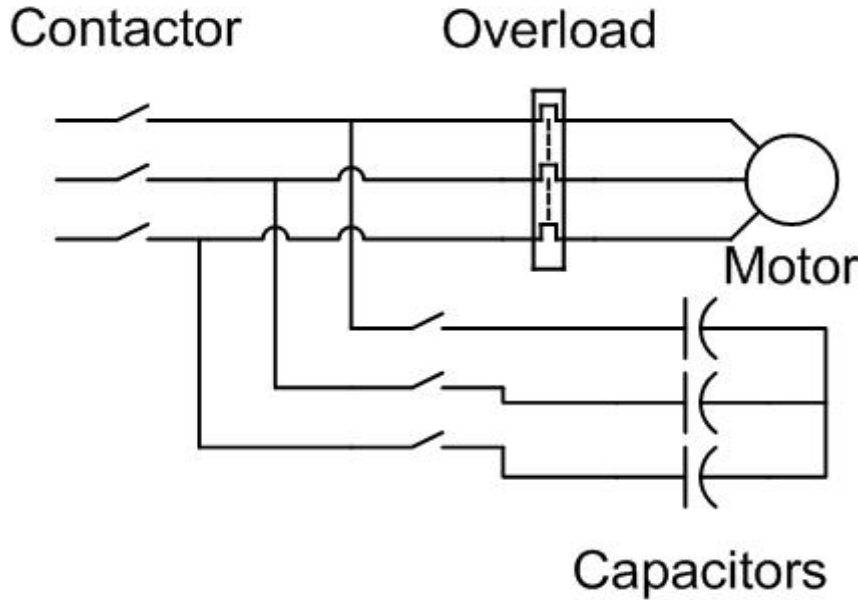
المعاوقة الحثية للمحرك. وعند وضع المكثفات لتصحيح معامل القدرة إلى 1.0 (التصحيح الحرج) تتساوي المعاوقة الحثية مع المعاوقة السعوية عند تردد الخط الكهربائي وعندئذ يكون تردد الرنين مساوياً لتردد الخط. إذا كان تردد الجهد المتولد من المحرك لحظة فصله تتساوى لحظياً مع تردد الرنين للمحرك فسيمر تيار عالٍ ويرتفع الجهد على دائرة المحرك والمكثفات والذي يمكن أن يؤدي إلى انهيار خطير للمكثفات والمحرك. لذلك لا بد 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 التمهيط وهو بالضرورة تيار اللاحمل للمحرك.

يمكن تغيير تيار التمهيط للمحركات بصورة كبيرة حيث إن تيار التمهيط للمحركات الكبيرة ذات القطبين حوالي ٢٠% من التيار المقنن للمحرك بينما المحركات الصغيرة ذات السرعات المنخفضة يكون تيار التمهيط 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 يبني التصحيح على خصائص الحمل الكامل للمحرك وكما في بعض الحالات تظهر بعض المحركات معاوقة متسرية عالية وتصحيح لمعامل القدرة يصل إلى 0.95 عند الحمل الكامل ويتسبب ذلك في تصحيح زائد عن الحد عند اللاحمل أو عند حالات الفصل.



الشكل (6-17)

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



شكل (6.18)

(6-11-3) 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.

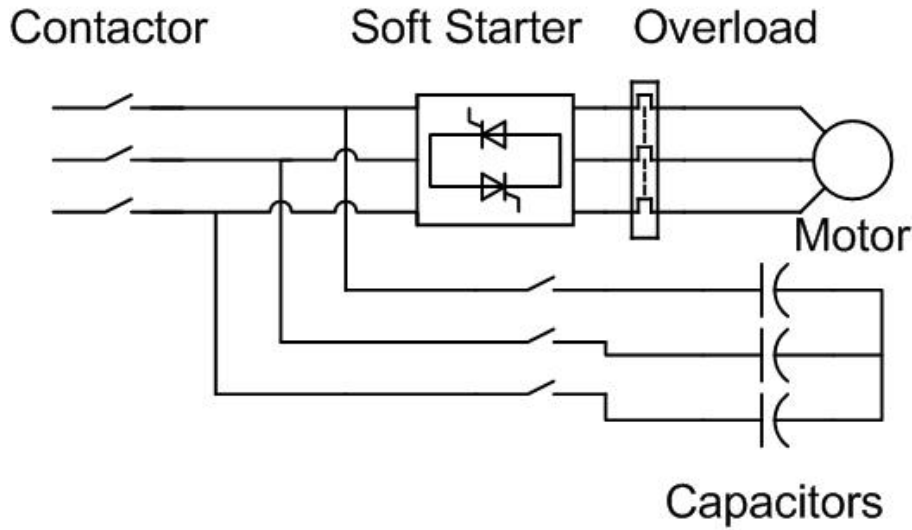
التيار المسحوب بواسطة مغيرات التيار له معامل قدرة منخفض وخاصة عند الأحمال المنخفضة، لكن تيار المحرك يعزل عن مصدر التغذية الكهربائي بواسطة مغير التيار. وتكون زاوية الوجه للتيار المسحوب بواسطة مغير التيار من مصدر التغذية قريبة من الصفر وتتسبب في تيار حثي صغير جداً بدون النظر للمحرك الكهربائي لذلك فإن مغير 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 تحت دائماً شركات الكهرباء مصنعين 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.

(6-11-4) 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 لباءئ 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.



شكل (6.19)

(6-11-5) اختيار المكثفات

يجب أن يعادل التصحيح الاستاتيكي لمعامل القدرة أقل من ٨٠% من تيار التمرغظ للمحرك وإذا كان التصحيح عالياً فهناك احتمالية كبيرة لفشل المعدات وتدمير المحرك والمكثفات. في المقابل فإن تيار التمرغظ للمحرك الحثي يتغير بتغير تصميم المحرك ويكون تيار التمرغظ 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 التمرغظ وتستنجد المكثف لهذا التيار. في الواقع يمكن أن يعني هذا في الغالب أقل من نصف القيمة التي يجب عليها.

(6-11-6) 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 الكهربائي 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.

(6-11-7) رنين مصدر التغذية الكهربائي

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 خطيراً 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 الكهربائية 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 موحّدات الجهد وإضافة مرشحات خاملة (passive filters LCR) أو بإضافة مغيرات الجهد الإلكترونية لتصحيح معامل الجهد والتي تعيد موجة الجهد إلى حالتها غير المشوهة.

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: 28%, 204VAR)
- (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 كهربائي 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 الكهربائي.
- (الإجابة: 21.3kVA)
- (٥) محول كهربائي 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: 30kW, 52.5 kVAR)