



المكتشفات و معامل القدرة

الخبرة العملية فـ المكتشفات
ونصديح معامل القدرة لنظم القوى
الكهربائية

مجموعة من المهندسين جزاهم الله خيرا

هذا المحتوى خاص بقناة دليل طلبة الدراسات العليا قسم الهندسة الكهربائية \العراق ع التليغرام م. احمد العزاوي

الملف الأول

تحسين معامل القدرة

م.موسى سعيد موسى أبو خطوة

الملف الثاني

كتاب المكثفات (تحسين معامل القدرة)

د. عبد المنعم موسى

الملف الثالث

**الدليل الارشادي لتطبيق الكود المصري لأسس تصميم وشروط تنفيذ (التوصيلات
والتركيبات الكهربائية في المباني) المجلد الأول: أعمال التصميم**

تصميم لوحات تحسين معامل القدرة

الملف الرابع

الاتجاهات العملية لتحسين معامل قدرة الاحمال الكهربائية

د. محمد زكي صادق

الملف الخامس

معامل القدرة

م. محمد الحريري

الملف السادس

تحسين معامل القدرة

م. نجاة عثمان

الملف السابع

تصحيح معامل القدرة اوتوماتيكيا

د.علاء بيومي عبد العظيم

وزارة الكهرباء والطاقة
الشركة القابضة لكهرباء مصر
شركة جنوب الدلتا لتوزيع الكهرباء



E.Mossa Abo Khatwa

POWER FACTOR CORRECTION

E.Moussa

فوائد تحسين معامل القدرة

- تحسين معامل القدرة يمكن المشتركين من استخدام محولات ومعدات قطع (CB قواطع الدائره) وكابلات أصغر حجماً

Savings due to increased energy loss

- تخفيض الفقد الكهربى فى الكابلات والأسلاك الهوائيه

Line and transformer loss reductions

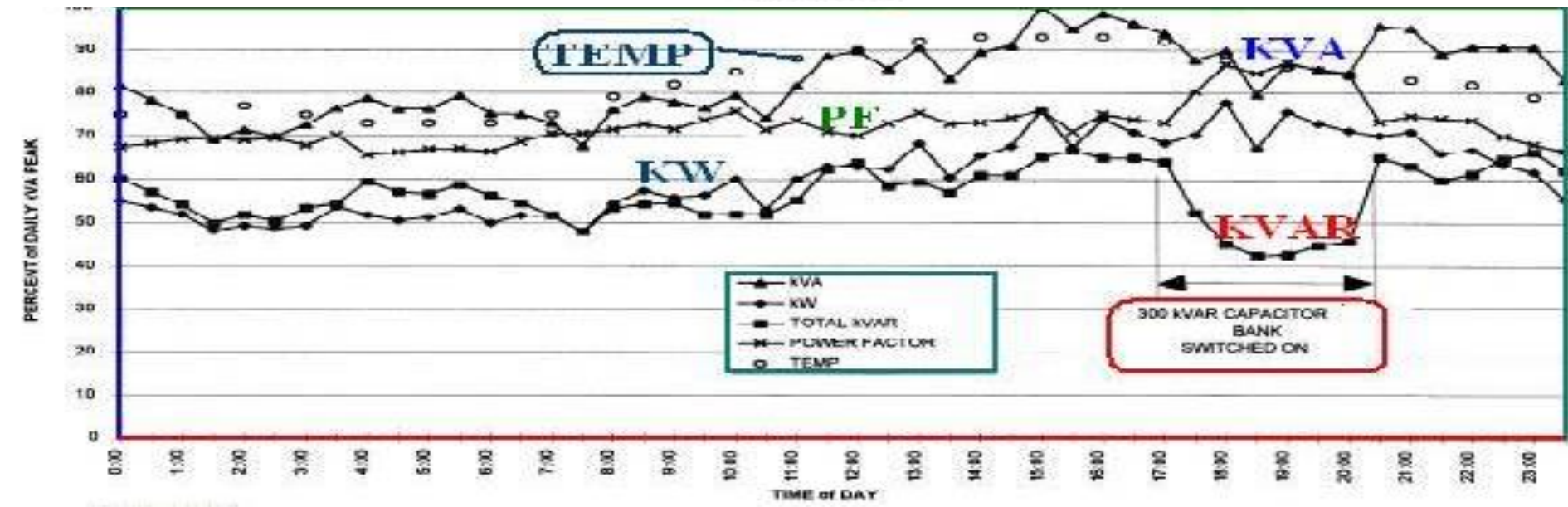
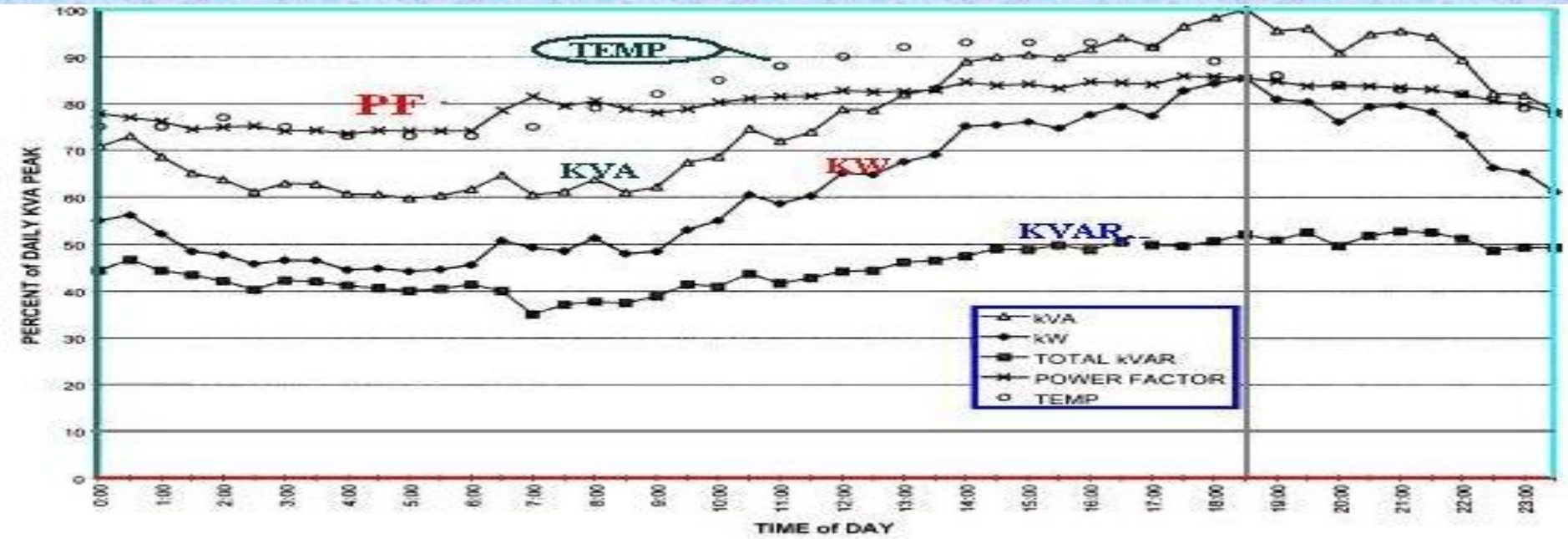
➤ خفض قيمة الهبوط فى الجهد بسبب خفض قيمة التيار الغير فعال

Load profile improvements المار بالموصلات

← زيادة القدرة الظاهريه المتاحة المأخوذه من المحول KVA

Release of power system capacity

المنحنيات توضح قياسات القدره قبل وبعد المكثفات خلال ٢٤ ساعه



← توضيح

◀ تحتاج جميع أنواع الآلات الكهربيه إلى نوعين من القدره الكهربائيه.

□ القدره الفعاله KW وهى المستنفذه فى الآله الكهربيه على هيئة حراره وتؤدى إلى الحركه.

□ القدره الغير فعاله وتسمى KVAR وهى قدره ضروريه للآلات التى تعمل بالمجال المغناطيسى (محولات – محركات)

■ حساب قدرة المكثفات المطلوب تركيبها :

يمكن حساب قيمة (قدرة المكثفات) الواجب تركيبها لتحسين معامل القدرة بإحدى الطرق الآتية :

➤ حساب قيمة غرامة معامل القدرة لدى مشتركى القوى المحركة.

➤ قياس قيمة متوسط معامل القدرة المقاس وتحديد قيمة معامل القدرة المطلوب الوصول لها.

➤ تحديد قيمة قدرة المحركات الكهربائيـة المركبة.

➤ تحديد قيمة قدرة المحول المركب

ماهى الطاقة الفعاله والطاقة الغير فعاله

■ توفر نظم التيار المتردد التغذية الكهربائيه على نوعين من الطاقة الكهربيه:

■ الطاقة الفعاله : وتقاس بالكيلو وات ساعه KWH وتتحول الطاقة الفعاله داخل المعده على هيئة شغل ميكانيكى أو حراره أو إضاءة الخ.

■ الطاقة الغير فعاله : وهى الطاقة التى تتطلبها الدوائر الكهربيه التأثيريه (مثل المحركات والمحولات وخلافه)

■ الطاقة الغير فعاله السعويه : وهى الطاقة التى تتطلبها الدوائر السعويه مثل (المكثفات والكابلات ومكثفات القوى.... الخ).

S

Apparent Power □

القدرة الظاهريه

VA (الفولت أمبير)

P

Active Power

Real Power

القدرة الفعاله

Watt

Q

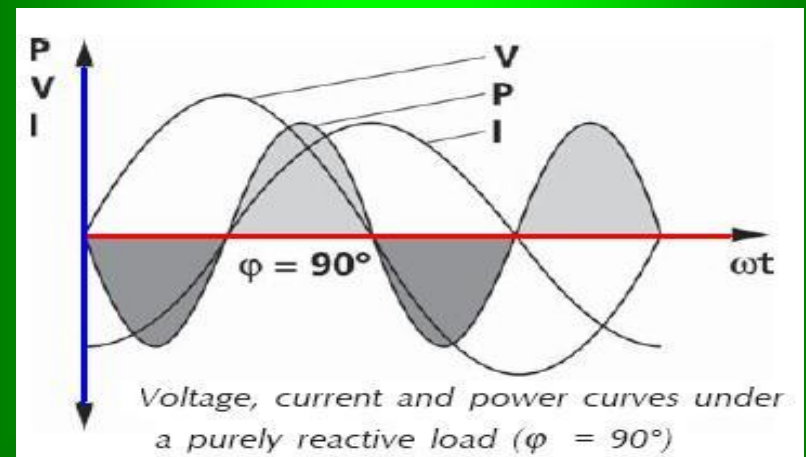
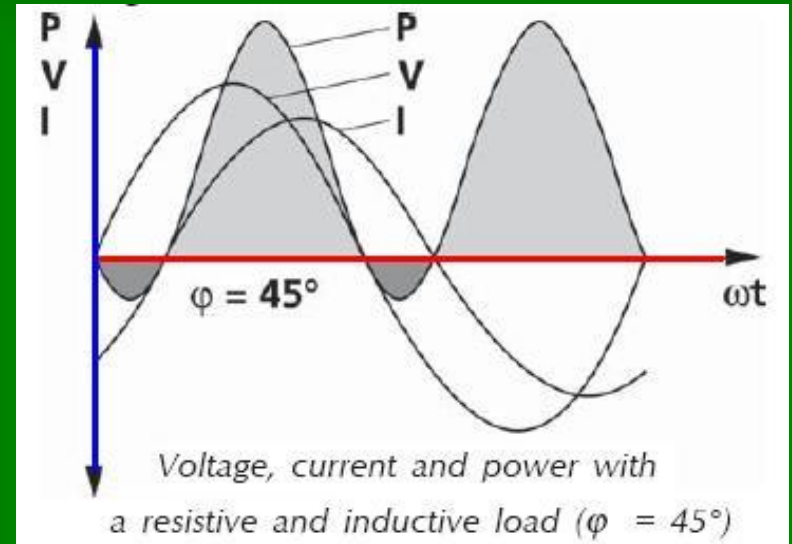
Reactive Power

القدرة الغير فعاله

VAR

ماهو معامل القدره

- $VA = I \times V$
- $\text{Watts} = V \times I \times \cos \phi$
- $PF = \cos \phi = \frac{\text{Watts}}{V \times I}$



عوامل معامل القدرة وكيفية حسابه

معامل القدرة " Cos φ "

تُقاس عادة قيمة "القدرة الغير فعاله" لأي شبكة كهربائية ذات تيار متردد جيبى "بقية" "معامل القدرة" والذي يساوى :

$$PF = \frac{\text{القدرة الفعالة (kW)}}{\text{القدرة الظاهرية (kVA)}} = \frac{P \text{ (kW)}}{S \text{ (kVA)}} = \cos \phi$$

◀ علماً بأن هذه القيمة تتراوح بين " $0 \leq \cos \phi \leq 1$ " .

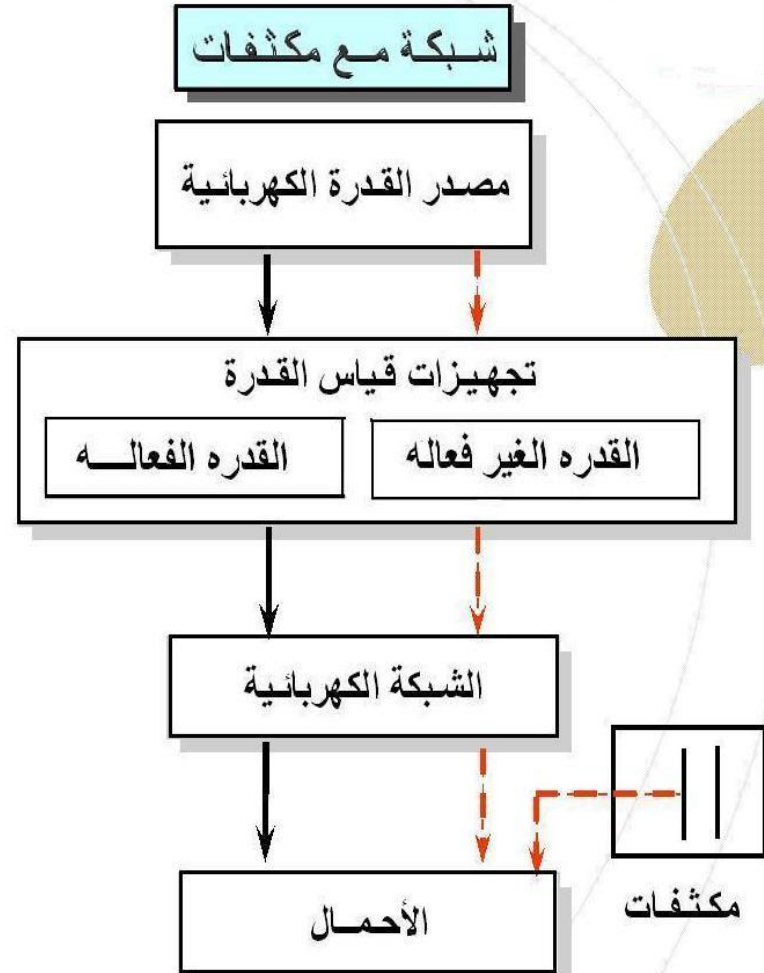
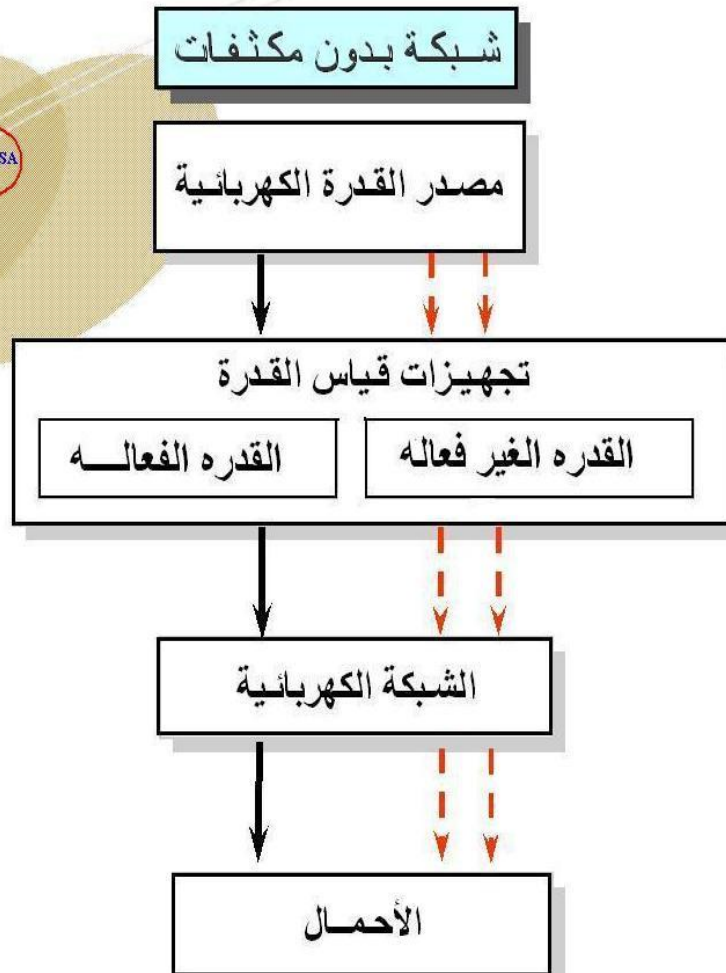
تدل قيمة " Cos φ " في أنظمة التيار المتردد الجيبى على قيمة الطاقة

KVARH

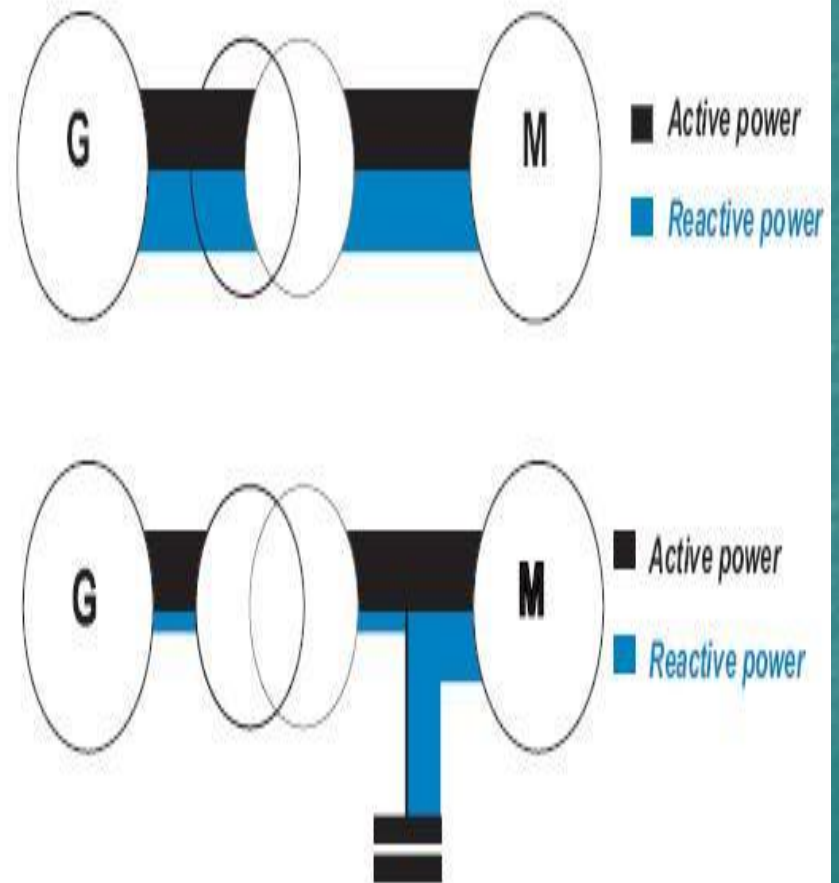
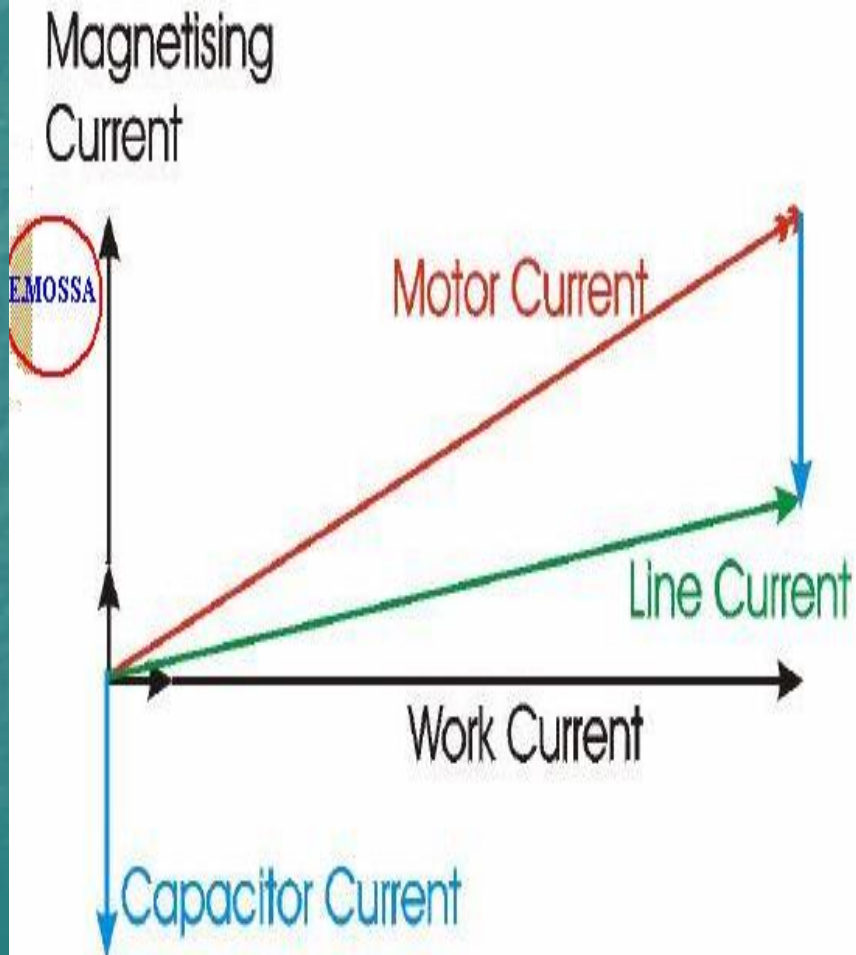
الغير فعالة المستهلكة

مخطط يبين شبكه بدون مكثفات وأخرى بمكثفات

EMOSSA

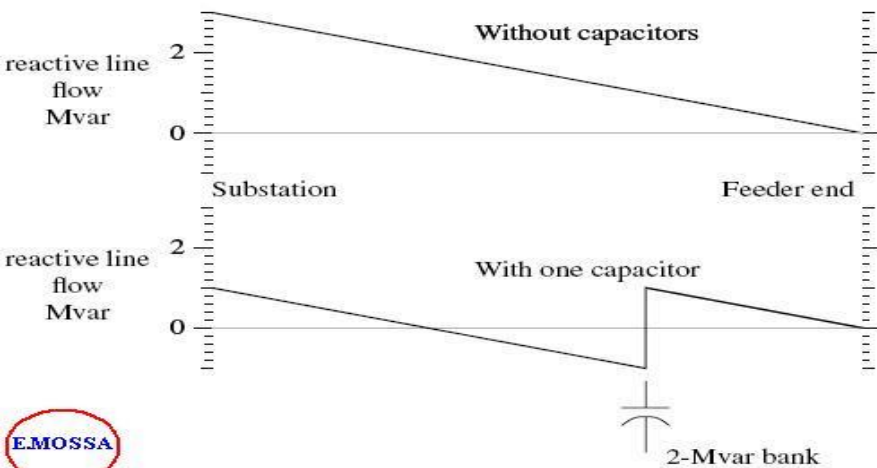


تأثير المكثفات في تحسين معامل القدرة

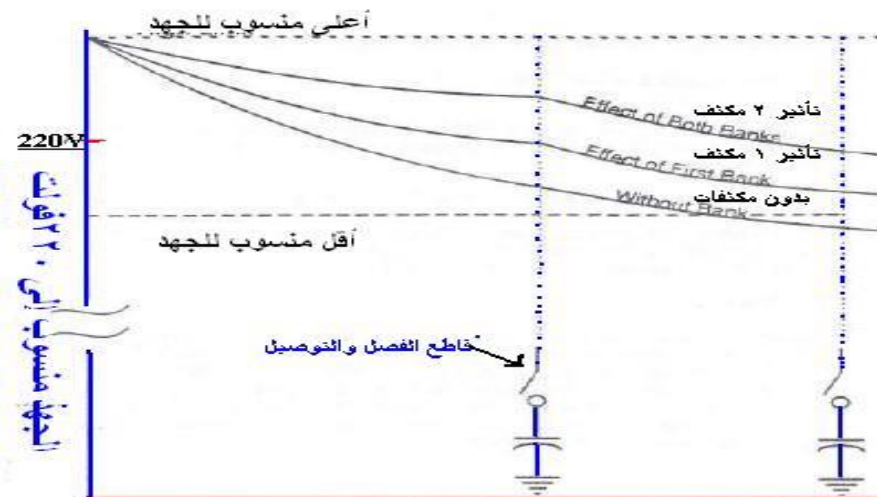


المنحنيات توضح تأثير المكثفات على الخطوط الهوائية

Uniform load—2/3's rule for placing one capacitor

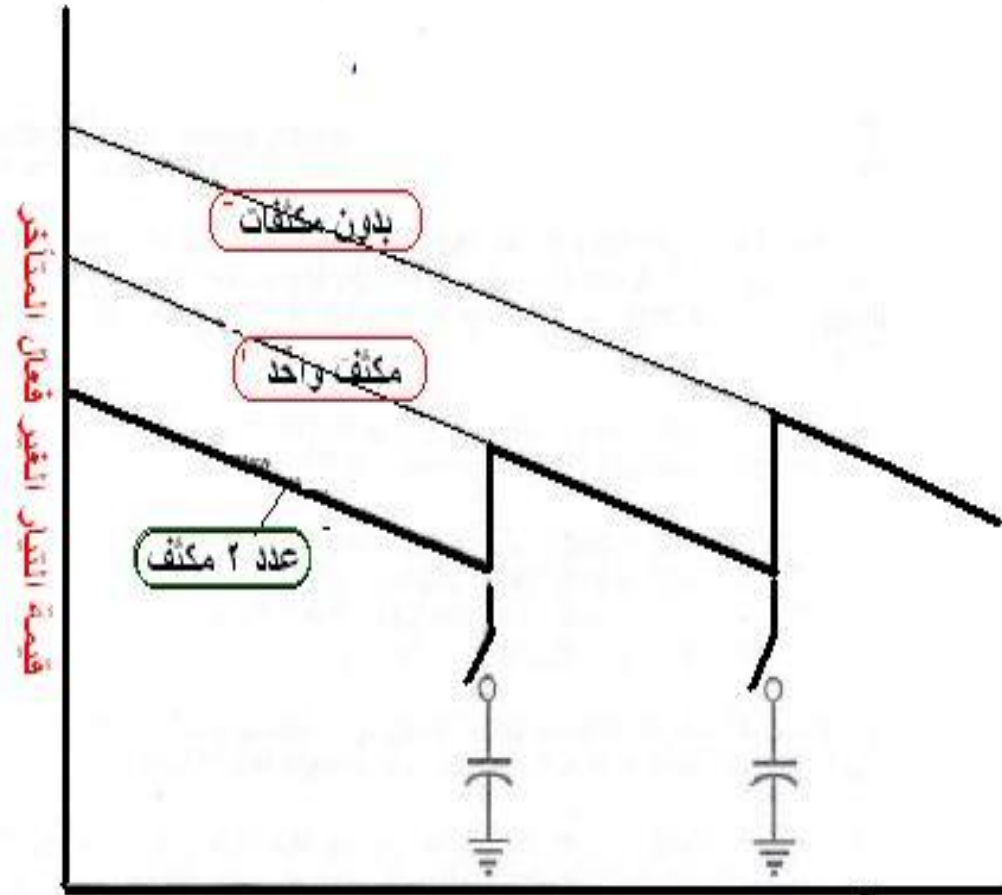


EMOSSA



المسافة من محطة التغذية

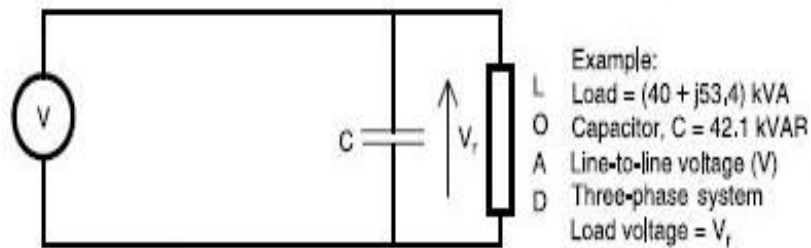
الرسم يبين تأثير عدد ٢ وحدة مكثفات على منحنى الجهد



المسافة من مصدر التغذية لأحمال خطية

الرسم يبين تأثير مراحل المكثفات على التيار الغير فعال

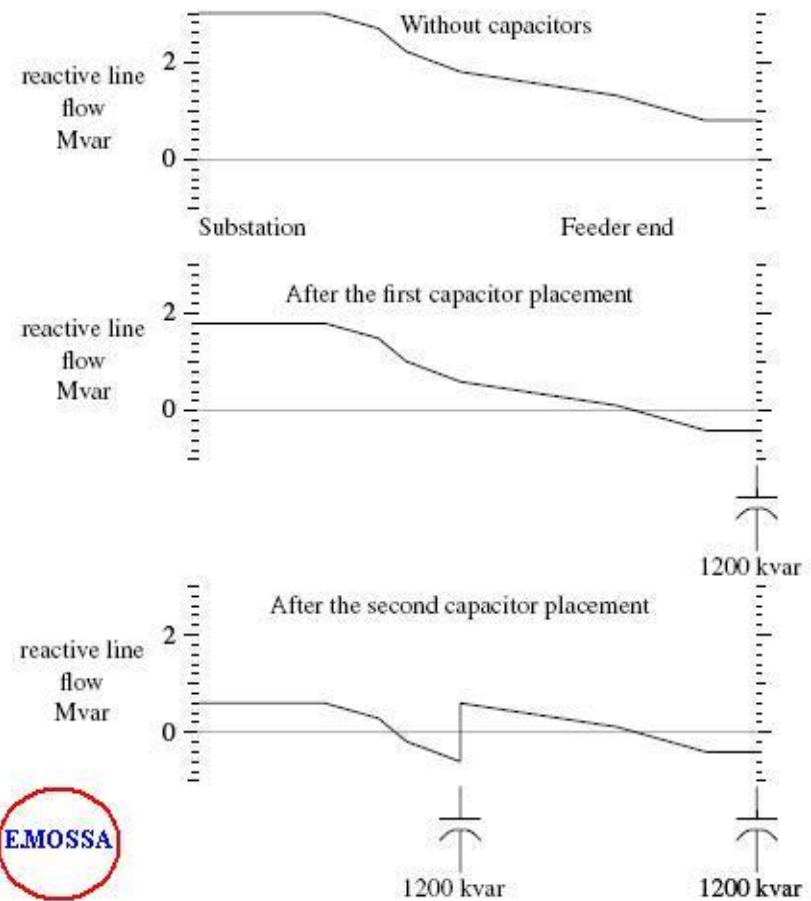
دراسة لبيان تأثير المكثفات على خط جهد منخفض



Per phase diagram of three-phase radial system.

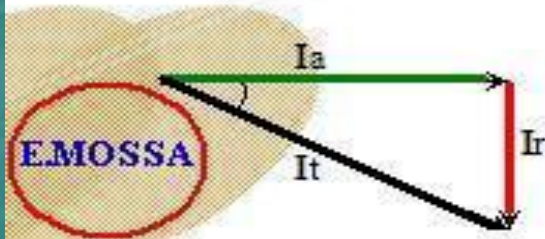
Example Load Flows in a Three-Phase Radial System

Description	Without Shunt Capacitor	With Shunt Capacitor
Power, kW	40	40
Reactive power, kVAR	53.4	13.1
kVA	66.7	42.1
Power factor	0.6	0.95
Line current, A	83.7	52.8



طريقة حساب القدره الغير فعاله

تحديد قيمة القدره الغير فعاله :-



" I_t " : التيار الظاهري
 " I_a " : التيار الفعال
 " I_r " : التيار الغير فعال

$$I_t = \sqrt{I_a^2 + I_r^2}$$

$$I_a = I_t \times \cos \varphi$$

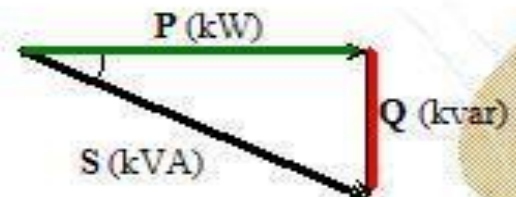
$$I_r = I_t \times \sin \varphi$$

PF = power factor

$$PF = \frac{P}{S} = \cos \varphi$$

$$\tan \varphi = \frac{Q}{P}$$

$$S = U \times I_t$$



" S " : القدره الظاهريه

" P " : القدره الفعاله

" Q " : القدره الغير فعاله

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$S = U \times I_t$$

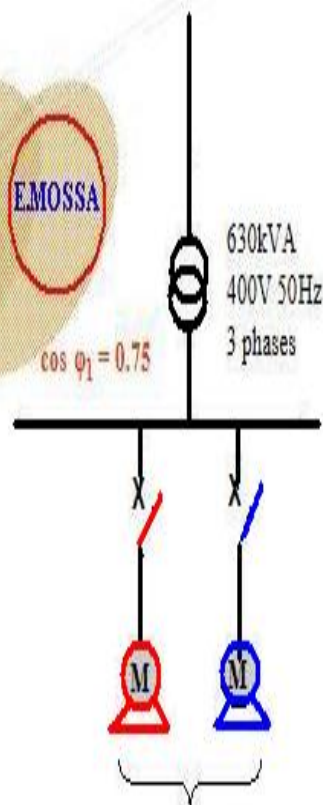
$$P = U \times I_t \times \cos \varphi = U \times I_a$$

$$Q = U \times I_t \times \sin \varphi = U \times I_r$$

فوائد تحسين معامل القدرة

فوائد تحسين معامل القدرة :- (1)

قبل تحسين معامل القدرة



← محول ذات قدره كليـه "630 kVA" تغذي محركين لكل منهما:

$$P = 250 \text{ kW} , \cos \phi_1 = 0.75$$

← وبالتالي، القـدرـه اللازمـة للمحركين:

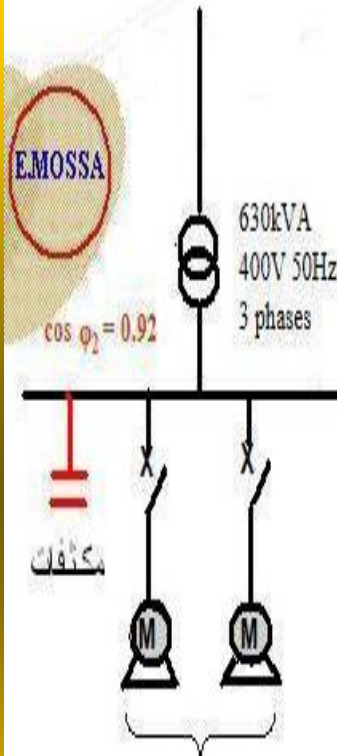
$$S = \frac{P}{\cos \phi} = 665 \text{ kVA}$$

$$\text{kVA (Load)} > \text{kVA (Tr)}$$

← أي أن المحول ذات **حمولة زائدة**.

فوائد تحسين معامل القدرة :- (2)

بعد تحسين معامل القدرة



← بعد تركيب "المكثفات" وتحسين معامل القـدرـه إلى " $\cos \phi_2 = 0.92$ " تصبح القـدرـه اللازمـة:

$$S = \frac{500}{0.92} = 543 \text{ kVA}$$

$$\text{kVA (Load)} < \text{kVA (Tr)}$$

وبالتالي:

← حمولة المحول ليست زائدة عن القـدرـه

← وجود قـدرـه فائضـة "87 kVA".

← تخفيض قيمة الفاتوره.

الهبوط في الجهد وبيان تخفيضه

تخفيض قيمة هبوط الجهد :

مثال : حساب قيمة هبوط الجهد

← خط نقل **جهد** هوائي له المواصفات التالية :

← **الجهد** " Voltage : 90 kV " ، الطول " Length : 40 km "

← الموصل من الألمنيوم ذو مقطع " 366 mm² "

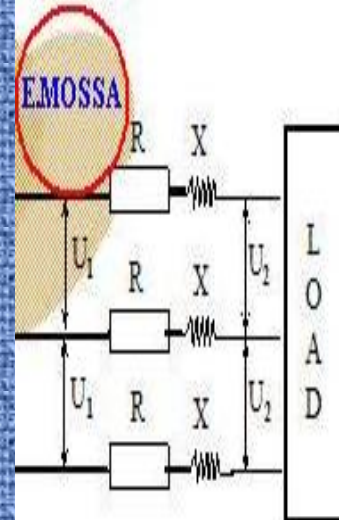
← مملحة الموصل " Z (Ohm) = R + jX = 3.6 + j15.2 "

بتطبيق العلاقة السابقة مع اعتبار الأحمال كالتالي :

$$\Delta U = \frac{3.6 \times 30 + 15.2 \times 30}{90} = 6.3kV(7\%) \quad : P = 30 \text{ MW}, Q = 30 \text{ MVAR} \leftarrow$$

$$\Delta U = \frac{3.6 \times 30 + 15.2 \times 10}{90} = 2.9kV(3.2\%) \quad : P = 30 \text{ MW}, Q = 10 \text{ MVAR} \leftarrow$$

هبوط الجهد :



← إذا كانت معطيات خط نقل قدره هي التالية :

← " R " : المقاومة الأومية للخط

← " X " : المفاعلة الأومية للخط

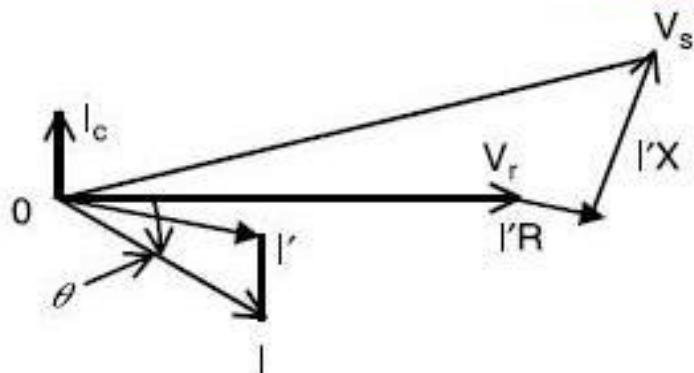
← " P " : القدرة الفعالة للحمل

← " Q " : القدرة الغير فعالة للحمل

فإن القيمة التقريبية لهبوط الجهد :

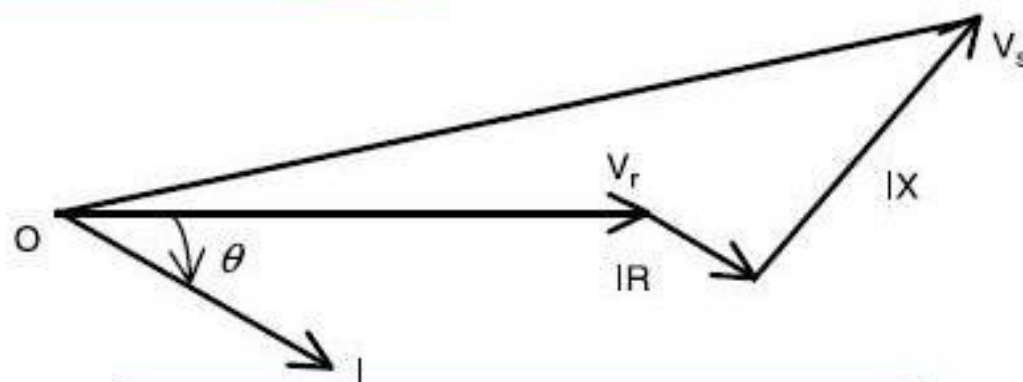
$$\Delta U = U_1 - U_2 \cong \frac{RP + XQ}{U_2}$$

VOLTAGE PROFILE IMPROVEMENTS



Phasor diagram of the system with shunt capacitor

$$I' = I(\cos \theta \pm j \sin \theta) - jI_C$$



Phasor diagram of the system without shunt capacitor

$$V_R = V_S - I (\cos \theta \pm j \sin \theta) (R + jX)$$

V_S = Sending end voltage/phase

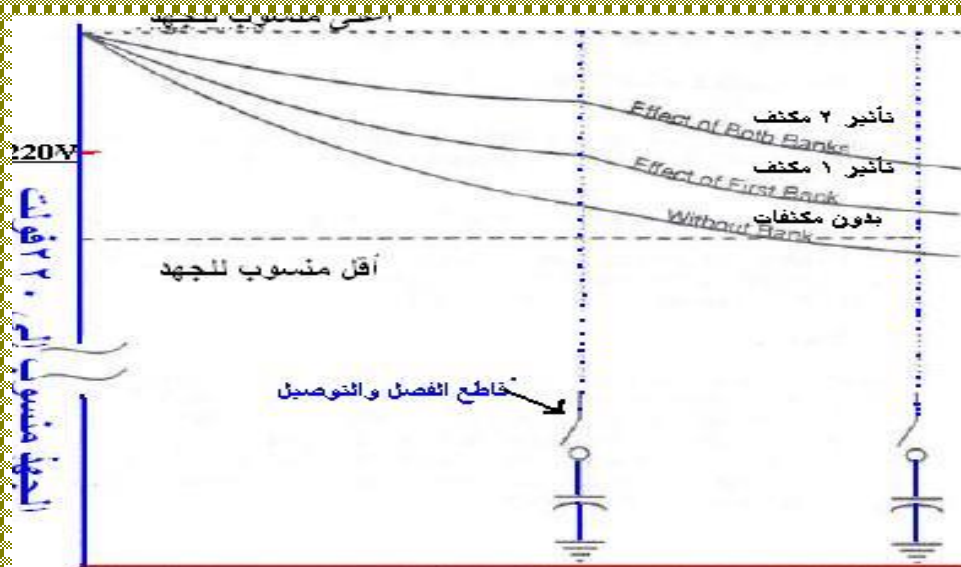
V_R = Receiving end voltage/phase

I = Current, A

R = Resistance, Ω /phase

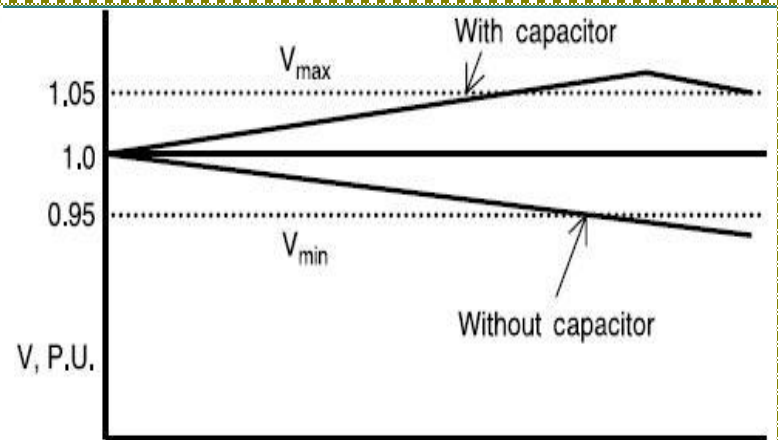
X = Reactance, Ω /phase

θ = Power factor angle, degrees



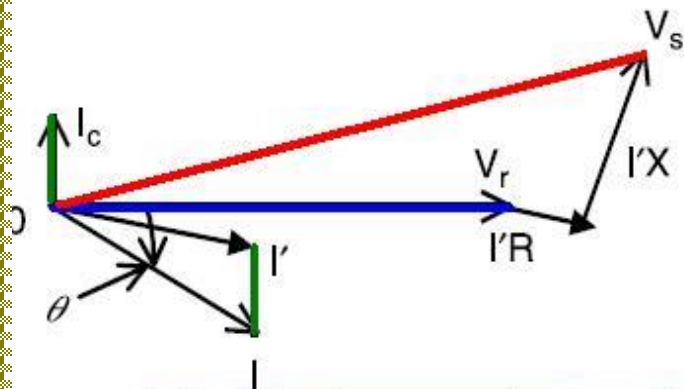
المسافة من محطة التغذية

الرسم يبين تأثير عدد ٢ وحدة مكثفات على منحنى الجهد



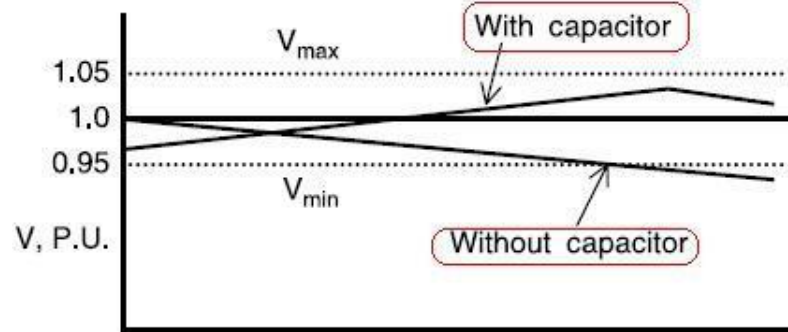
Feeder length, P.U.

الشكل يبين منحنى الجهد على الخط في حالة أحمال إناره



Phasor diagram of the system with shunt capacitor.

متجهات الجهد بعد تركيب مكثفات



Feeder length, P.U.

الشكل يبين المنحنى الخطي للجهد

أحمال مختلفه

الشكل يبين المنحنى الخطي للجهد

حساب القدرة المفقودة وتقليل قيمتها

حساب الفقد في الطاقة : (2) - مثال : حساب قيمة الفقد بالجول

(Losses)

خط نقل كهربائي له المواصفات التالية :

موصل من الألمنيوم ، ذو مقطع " 95 mm² " ، طول الموصل " L = 100 m "

القدرة الكلية للأحمال " P = 100 kW "

الفترة الزمنية للعمل خلال عام كامل " t = 2500 hours "

بتطبيق العلاقة السابقة باعتبار قيمتين مختلفتين لمعامل القدرة :

" cos φ = 0.8 " : تكون قيمة **الفقد بالجول** خلال عام " Wj = 9 800 kWh "

" cos φ = 1 " : تكون قيمة **الفقد بالجول** خلال عام " Wj = 6 300 kWh "

القدرة المفقودة بالجول (1)

EMOSSA

يتم حساب " الفقد بالجول " لموصل وخلال فترة زمنية بالعلاقة التالية :

$$W_j = \frac{10^3 RL}{U^2} \times \frac{P^2}{\cos^2 \varphi} \times t$$

حيث أن :

" R " : قيمة المقاومة لكل Km (Ω/km)

" L " : طول الموصل (km)

" P " : القدرة الفعلية (kW)

" t " : الفترة الزمنية (hours)

Line and transformer loss reductions

- When shunt capacitors are installed for power factor correction, the line current magnitude is decreased. In industrial power systems, the I^2R Losses vary from 3-8% of the rated load current depending on the hours of full load operation, conductor size, length of the feeder circuit, and transformer impedance. The load on most electric circuit will vary depending on the time of the day. In order to account for the average load, the load factor is defined as:

- Load factor (LDF) =

$$\frac{\text{Average KW demand}}{\text{Peak KW demand}}$$

- Loss factor (LF) = $0.15\text{LDF} + 0.85 \text{LDF}^2$
- Average loss = $3(I^2R)$ (Loss factor).

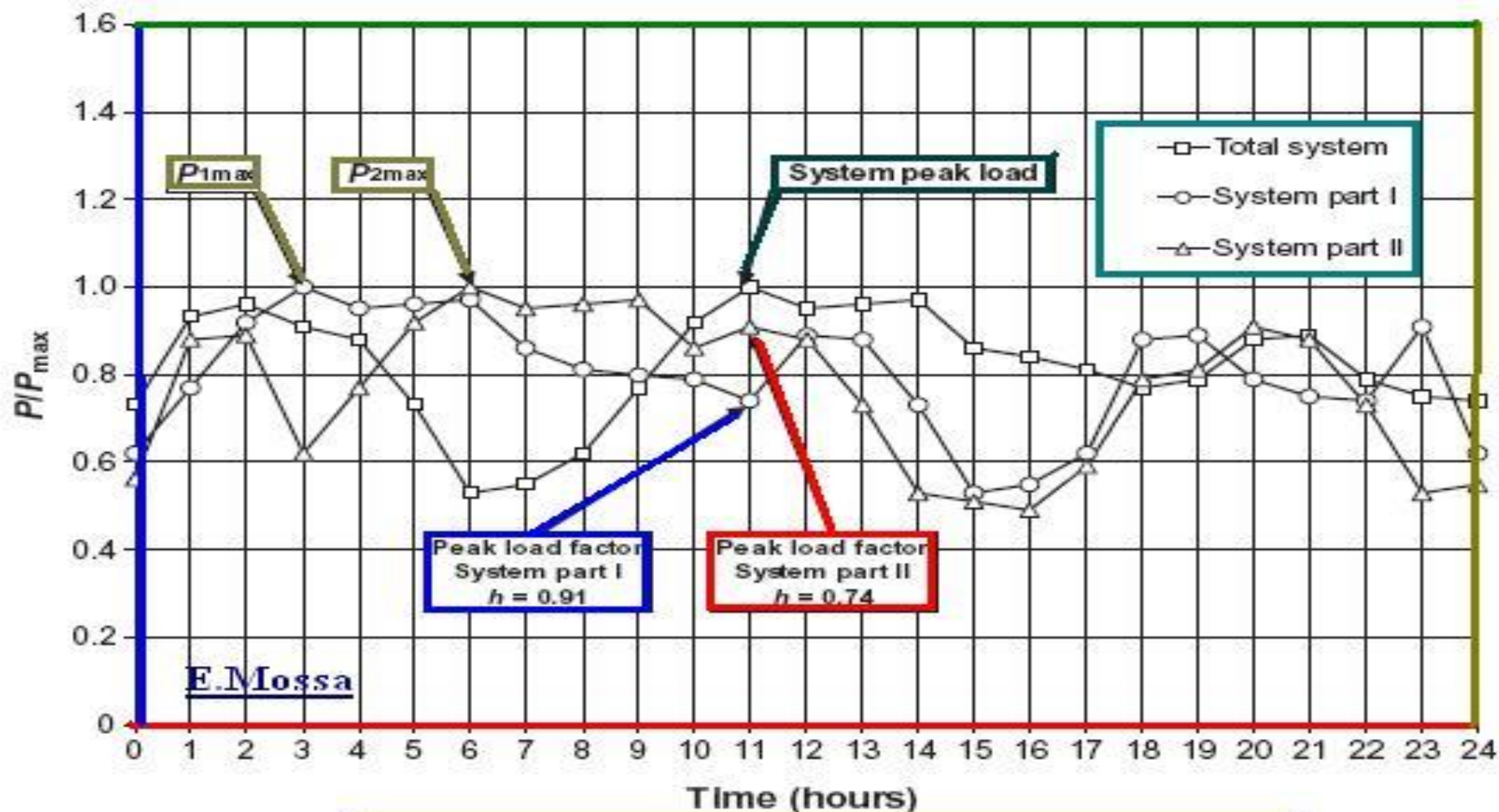
Savings due to Reduced Energy losses

- If the reactive compensation is provided in a feeder circuit, then the current through the feeder and the transformer circuit is reduced. If I_1 and I_2 are the currents through the feeder before and after compensation and if R is the resistance of the circuit, then the cost of energy savings (C_L) due to reduced losses per year is given by :

- $$C_L = 3 (C_W) (I_1^2 - I_2^2) R (8,760) (LF) 10^{-3}$$

Where LF is the load factor, $8,760$ is the number of hours in a year, and C_W is the cost of the electric energy per KWH.

المنحنيات توضح معامل التحميل على مدار ٢٤ ساعة

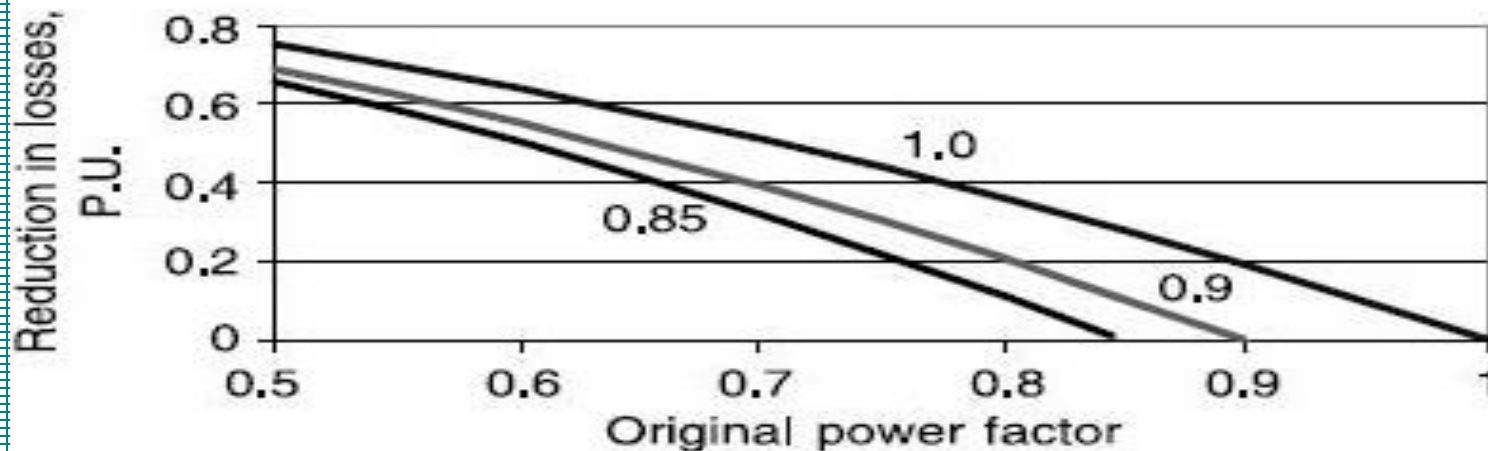


Correlation of system load and load of one piece of equipment with regard to the maximum load portion h [8].

Loss Reduction due to Improved power factor

$$KW \text{ Losses} \propto \left(\frac{\text{Original PF}}{\text{Improved PF}} \right)^2$$

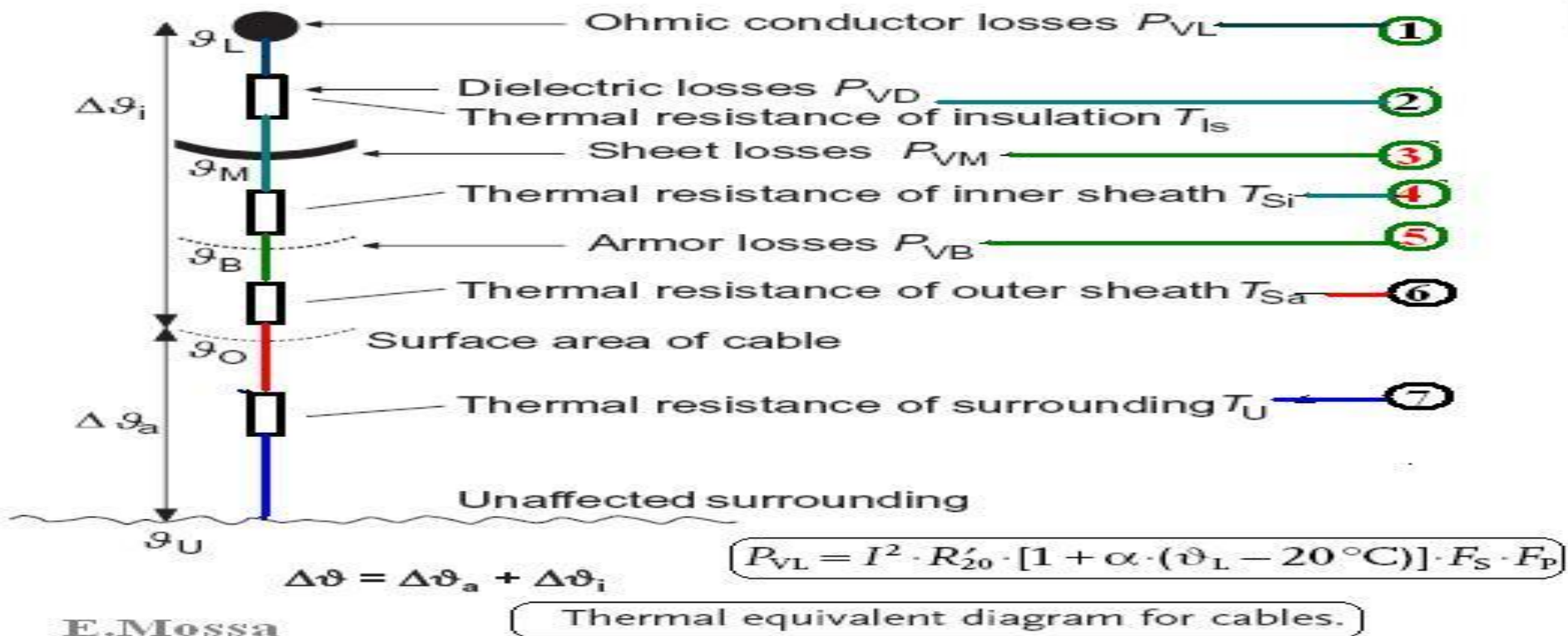
$$\text{Loss reduction} = 1 - \left(\frac{\text{Original PF}}{\text{Improved PF}} \right)^2$$



Reduction in losses due to improved power factor

تقليل قيمة الفقد باستخدام تحسين معامل القدرة

الرسم المرفق بين المفقودات بالكابلات



R'_{20} = DC resistance per unit length at 20°C

I = conductor current


α = temperature coefficient

ϑ_L = conductor temperature in $^\circ\text{C}$

F_S = factor of skin effect (to be considered with cross-sections above 185 mm^2)

F_P = factor of proximity effect (to be considered with cross-sections above 185 mm^2).

CONCLUSIONS

 The benefits of power factor correction were identified. The local reactive power support, voltage profile improvements, Line and transformer loss reductions, release of power system capacity, and increased power flow capability can be achieved by use of shunt capacitors.

POWER FOR IMPROVEMENT

تقوية للمحور

الطرق المختلفة لتحديد قدرة المكثفات المطلوبة

■ تحديد قدرة المكثفات تبعاً لقيمة قدره الغير فعاله الطرق المتبعه لإصدار فواتير الإستهلاك .

$$Q_c = \frac{KVARH}{T}$$

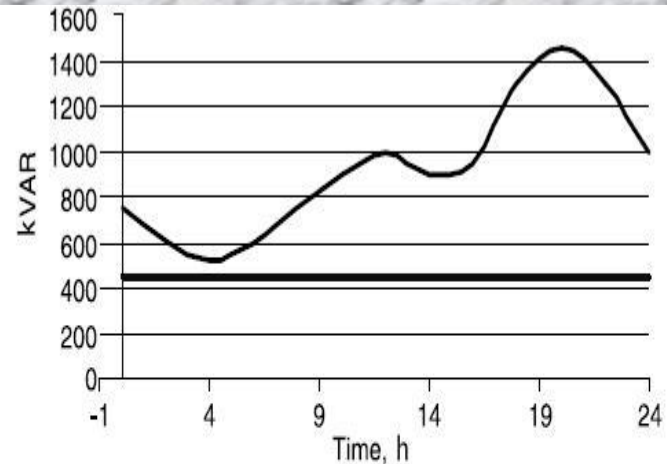
■ الطرق المتبعه لتوزيع قدره الكهربيه

■ معرفة القدره الغير فعاله المستهلكه خلال فتره رميه محدده تساعد على

تحديد قدرة المكثفات

Typical Power Factor of Some Industrial Plants

Industry	% Power Factor	Industry	% Power Factor
Chemical	80-85	Arc welding	35-60
Coal mine	65-80	Machine shop	45-60
Electroplating	65-70	Arc furnace	75-90
Hospital	75-80	Spraying	60-65
Office building	80-90	Weaving	60-75
Cement	80-85	Clothing	30-60
Textile	65-75	Machining	40-65
Foundry	75-80	Plastic	75-80



Distribution curve showing the base reactive power requirement (for fixed capacitors) and peak kVAR needs (for switched capacitors)

الجدول يوضح معامل القدره للأحمال الصناعيه

المنحنى يوضح تغير القدره الغير فعاله على خط هوائى على مدار ٢٤ ساعه

تحديد قدرة المكثفات : تبعاً لقيمة معاملات قدره

بمعرفة القيم التالية :

← " Pa " : القدره الفعلية للأحمال المركبة (kW) .

← " $\cos \varphi_1$ " : قيمة عامل القدره الأولي .

← " $\cos \varphi_2$ " : قيمة عامل القدره النهائي (المرغوب الوصول إليه) .

يتم حساب قيمة " **ظل الزاوية - tg** " لكل من القيمتين السابقتين ، أي " $\text{tg } \varphi_1$ " و " $\text{tg } \varphi_2$ " وبعدها تطبيق العلاقة التالية :

$$Q_c = Pa (\text{tg} \varphi_1 - \text{tg} \varphi_2)$$

← ملاحظة : إذا حصلنا على قيمة " $Q_c > 800 \text{ kVAR}$ " فإنه من الأفضل أن يتم تحسين جزئي لعامل القدره في جهة التوتر المتوسط .

تابع كيفية تحديد قدرة المكثفات

تحديد قدرة المكثفات المطلوبة: تبعاً لقيمة معامل القدرة

Power Factor and Q/P Ratio

Power Factor %	Angle Degree	Q/P Ratio
100	0	0.00
95	11.4	0.20
90	26.8	0.48
85	31.8	0.62
80	36.8	0.75
70.7	45.0	1.00
60	53.1	1.33
50	60.0	1.73

بمعرفة القيم التالية:

← "Pa": القدرة الفعالة للأحمال المركبة (kW).

← "cos φ₁": قيمة معامل القدرة الأولي.

← "cos φ₂": قيمة معامل القدرة النهائي (المطلوب الوصول إليه).

يتم حساب قيمة "ظل الزاوية - tg" لكل من القيمتين السابقتين، أي "tg φ₁" و "tg φ₂" وبعدها تطبق العلاقة التالية:

$$Q_c = Pa (tg \phi_1 - tg \phi_2)$$

← ملاحظة: إذا حصلنا على قيمة "Q_c > 800 kVAR" فإنه من الأفضل أن يتم تحسين جزئي لمعامل القدرة من ناحية الجهد المتوسط MV.

الجدول يبين قيمة ظل الزاوية عند اختلاف معامل القدرة

تابع حسابات قيمة قدرة وحدات تحسين معامل القدرة

ظل الزاوية "tg φ" :

- ← في أكثر الأحيان ، يستخدم "ظل الزاوية - tg φ" عوضاً عن "Cos φ" **EMOSSA**
- ← تحسب قيمة "tg φ" من العلاقة التالية :

$$\tan \varphi = \frac{\text{القدرة الغير فعاله}}{\text{القدرة الفعالة}} = \frac{Q \text{ (kvar)}}{P \text{ (kW)}}$$

- ← يمكن أن تعبر هذه القيمة خلال فترة زمنية محددة عن قيمة إستهلاك القدرة الغير فعاله

$$\tan \varphi = \frac{W_r}{W_a} = \frac{\text{لطاقه الغير فعاله (kVARh)}}{\text{الطاقه الفعالة (kWh)}}$$

Power factor $\cos \theta$ after improvement

[illegible]

تحديد قدرة المكثفات : تبعاً لـ قدرة المحرك (1)

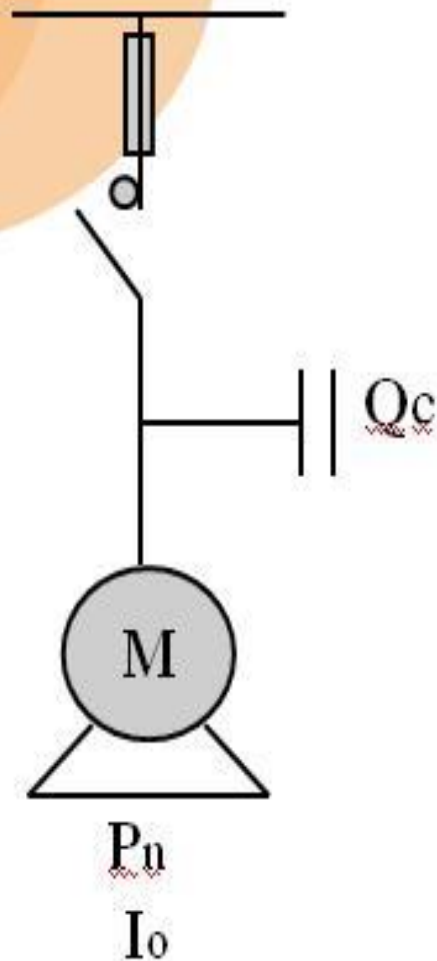
← بمعرفة استطاعة المحرك " P_n " وقيم عامل الاستطاعة الأولي والنهائي ، يمكن حساب "قدرة المكثفات" بالعلاقة التالية :

$$Q_c = P_n (\tan \phi_1 - \tan \phi_2)$$

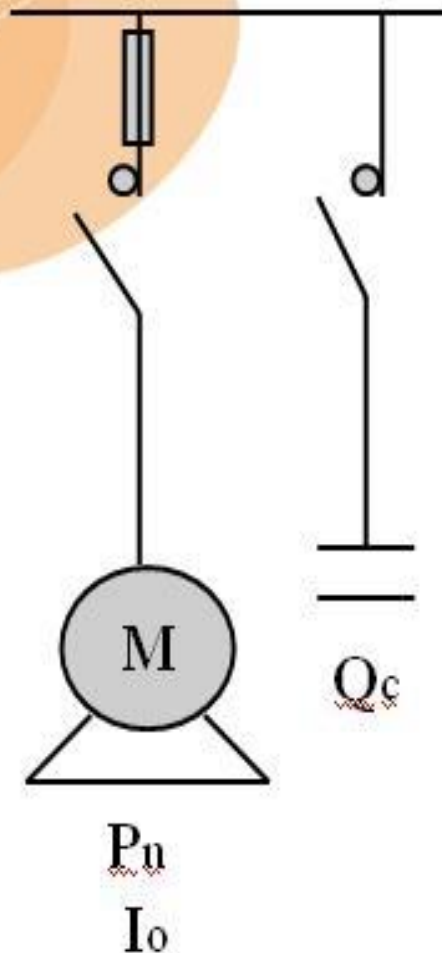
← عندما يتم تركيب المكثفات بشكل مباشر على أطراف المحركات غير متزامنه " asynchronous motor " فإنه يجب الإنتباه لخطر التهيج الذاتي " Self-Excitation " ولمنع حدوثه ، يجب الإنتباه لما يلي :

← تيار المكثف : " $I_c \leq 0.9 I_0$ "

← قدرة المكثف : " $Q_c = 2 \times P_n (1 - \cos \phi_n)$ "



تحديد قدرة المكثفات : تبعاً لقدرة المحرك (2)



إذا تم وصل المكثف مباشرة على أطراف التغذية بواسطة " قاطع أو كونتكتور " خاص (كما في الشكل) ، فإن ذلك يؤدي :

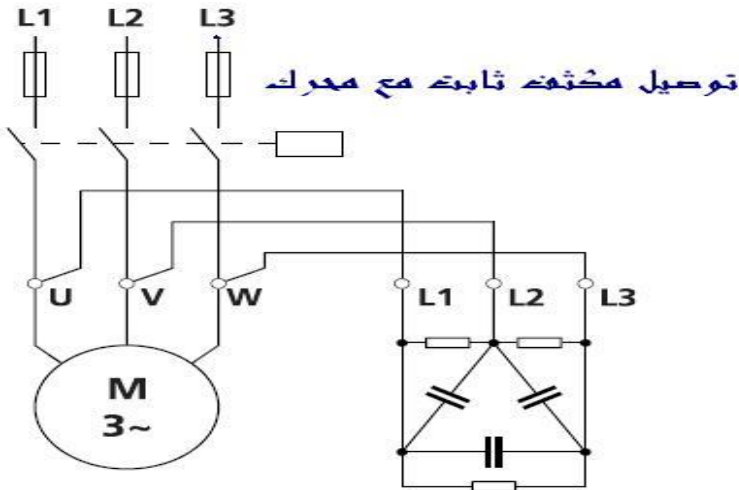
- ◀ لمنع حدوث التهيج الذاتي " Self-Excitation "
- ◀ يمكن عندها حساب قيمة قدرة المكثف تبعاً للقيم الاسمية لقدرة المحرك وعامل قدره .
- في هذه الحالة يجب الإنتباه لما يلي :
- ◀ زمن التفريغ للمكثف " $50 \text{ ms} \approx$ " .
- ◀ إذا تم وصل عدد من المكثفات إلى طرف تغذية واحد ، عندها يجب استخدام " مخمدات - Reactors " للحد من تيارات البدء للمكثفات لحظة الوصل .

المكثفات الثابتة للمحركات

MOTOR SIZE (KW)	CORRECTION (KVAR)	CAPACITOR FUSING (Amps)
3.0	1.5	4
4.0	2.0	4
5.5	2.5	6
7.5	3.0	6
11	5.0	10
15	6.25	16
18.5	8.0	16
22	10.0	20
30	12.5	25
37	15.0	32
45	15.0	32
55	20.0	40
75	20.0	40
90	25.0	50
110	25.0	50
132	30.0	63
150	35.0	80
185	40.0	80
220	45.0	100
250	50.0	100

Approximate values specified by the VDEW for individual power factor correction of motors

Motor nominal rating in kW	Capacitor power rating in kVar
1 to 1.9	0.5
2 to 2.9	1
3 to 3.9	1.5
4 to 4.9	2
5 to 5.9	2.5
6 to 7.9	3
8 to 10.9	4
11 to 13.9	5
14 to 17.9	6
18 to 21.9	7.5
22 to 29.9	10
30 to 39.9	approx. 40% of motor power
40 or above	approx. 35% of motor power



25 kW induction motor 10 kVar power capacitor

المكثفات الثابتة لزوم المحركات

تحديد قيمة المكثف الثابت للمحول

تحديد قدرة المكثفات الثابتة : تبعاً لقدرة المحول (١)

EMOSSA

يتم حساب " قدرة المكثفات " اللازمة للمحول- كما يلي :

$$Q_0 = S_n \times i_0'$$

← المحول بدون حمل " no Load "

$$Q_{ch} = S_n \times \left(\frac{S}{S_n} \right)^2 \times U_{sc}$$

← المحول على حمل " on Load " :

$$Q_c = Q_0 + Q_{ch} = S_n \left[i_0' + \left(\frac{S}{S_n} \right)^2 \times U_{sc} \right]$$

وبالتالي فالقدرة الكلية للمكثفات :

حيث :

👉 " S_n " : القدرة الظاهرية للمحول " S " : القدرة الظاهرية للحمل

👉 " i_0' " : تيار المحول بدون حمل (%) . " U_{sc} " : جهد دائرة القصر للمحول (%)

تحديد قدرة المكثف الثابت للمحول



تحديد قدرة المكثفات الثابتة : تبعاً لقدرة المحول (2) - مثال

EMOSSA

محول لها المواصفات التالية :

◀ القدرة الظاهرية " $S_n = 1250 \text{ kVA}$ "

◀ قيمة تيار اللاحمل " $i_0 = 2\%$ "

◀ قيمة جهد القصر " $U_{sc} = 6\%$ "

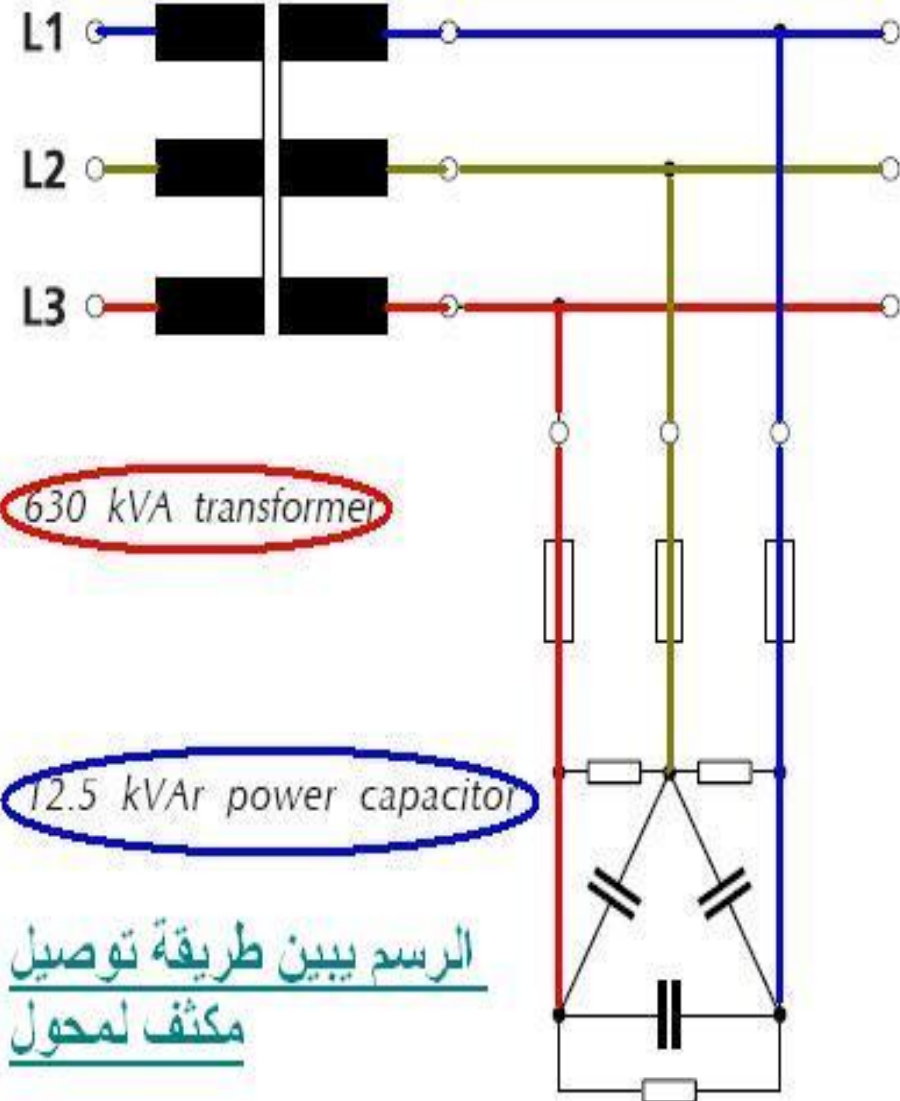
◀ القدرة الظاهرية للأحمال " $S = 1000 \text{ kVA}$ "

◀ بتطبيق العلاقات السابقة لحساب استطاعت المكثفات اللازمة للمحول نحصل على :

◀ قدرة المكثفات والمحول بدون أحمال " $Q_0 = 25 \text{ kVAR}$ " :

◀ قدرة المكثفات والمحول بحمل (١٠٠٠ ك ف أ) : " $Q_{ch} = 48 \text{ kVAR}$ "

◀ القدرة الكلية للمكثفات اللازمة لمحول ٢٥٠ ك ف أ : " $Q_c = 73 \text{ kVAR}$ "



جداول NEMA للمكثفات الثابتة

القيم التقريبية للمكثفات الخاصة بالمحولات في حالة اللاحمل

Transformer nominal rating in kVA	Capacitor power rating in kVAr
100 - 160	2.5
200 - 250	5
315 - 400	7.5
500 - 630	12.5
800	15
1000	20
1250	25
1600	35
2000	40

VDE الجدول يوضح قيمة المكثفات للمحولات طبقاً للنظام الألماني

KVAR required for power factor correction of the losses without load of a MV/LV transformer

Transformer power KVA	PRIMARY VOLTAGE	
	6 + 15 kV	16 + 30 kV
100	5	10
160	10	15
200	10	15
250	15	20
315	20	20
400	20	25
500	25	30
630	25	35
800	30	40
1000	40	50
1250	50	60
1600	70	80
2000	80	100

جدول يوضح قيمة المكثفات الثابتة للمحولات

حساب قيمة تيار المكثف :

حساب قيمة التيار للمكثفات :

← يتم حساب قيمة تيار المكثف بالعلاقة التالية :

$$I_c (A) = \frac{Q_c (VAR)}{\sqrt{3} \cdot U (V)} \quad \leftarrow \text{المكثفات الثلاثية}$$

$$I_c (A) = \frac{Q_c (VAR)}{V (V)} \quad \leftarrow \text{المكثفات الأحادية}$$

← مكثف ثلاثي الأوجه : " U : 400 V ، Q : 60 kVAR "

وبالتالي فتيار المكثف : " I_c = 86.70 A "

CAPACITOR DEFINITION & APPLICATION DATA

DEFINITIONS

- C: Capacitance (farads)
- KW: Kilowatts, measure of active power
- KVA: Kilovolt-amperes, measure of apparent power
- KVAR: Kilovolt-amperes reactive
- μF: Microfarads, measure of capacitance (farads x 10⁻⁶)
- f: Frequency of voltage or current in Hz
- I_c: Capacitor current in amperes
- W: Dissipated power, in watts
- V: Voltage (Volts)
- I or A: Current (Amperes)
- R: Resistance (ohms)

BASIC RELATIONS

$$PF = \frac{KW}{KVA} = \cos \theta$$

$$KVAR = \sqrt{KVA^2 - KW^2}$$

$$C \text{ in } \mu F = \frac{KVAR \times 10^3}{(2 \pi f) \times (KV)^2}$$

$$W = I^2 R$$

$$KVA = \frac{\sqrt{3} \times V \times A}{10^3} \text{ (3-phase)}$$

$$I_c = \frac{KVAR \times 10^3}{\sqrt{3} \times V} \text{ (3-phase)}$$

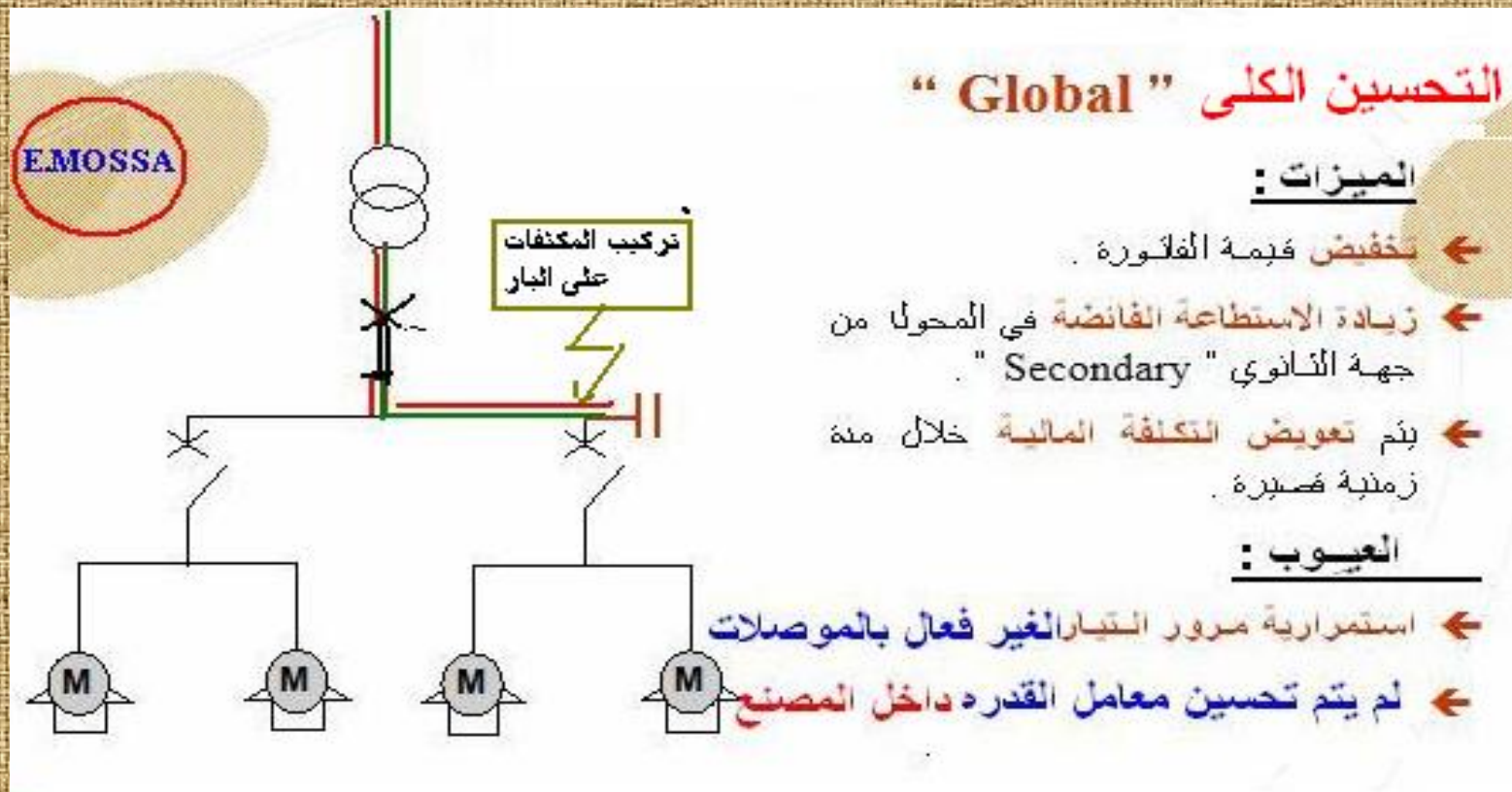
Applied Voltage	208V	240V	480V	600V
Amps / KVAR	2.78	2.41	1.20	0.96

□ ثلاثة طرق لتحسين معامل القدره :

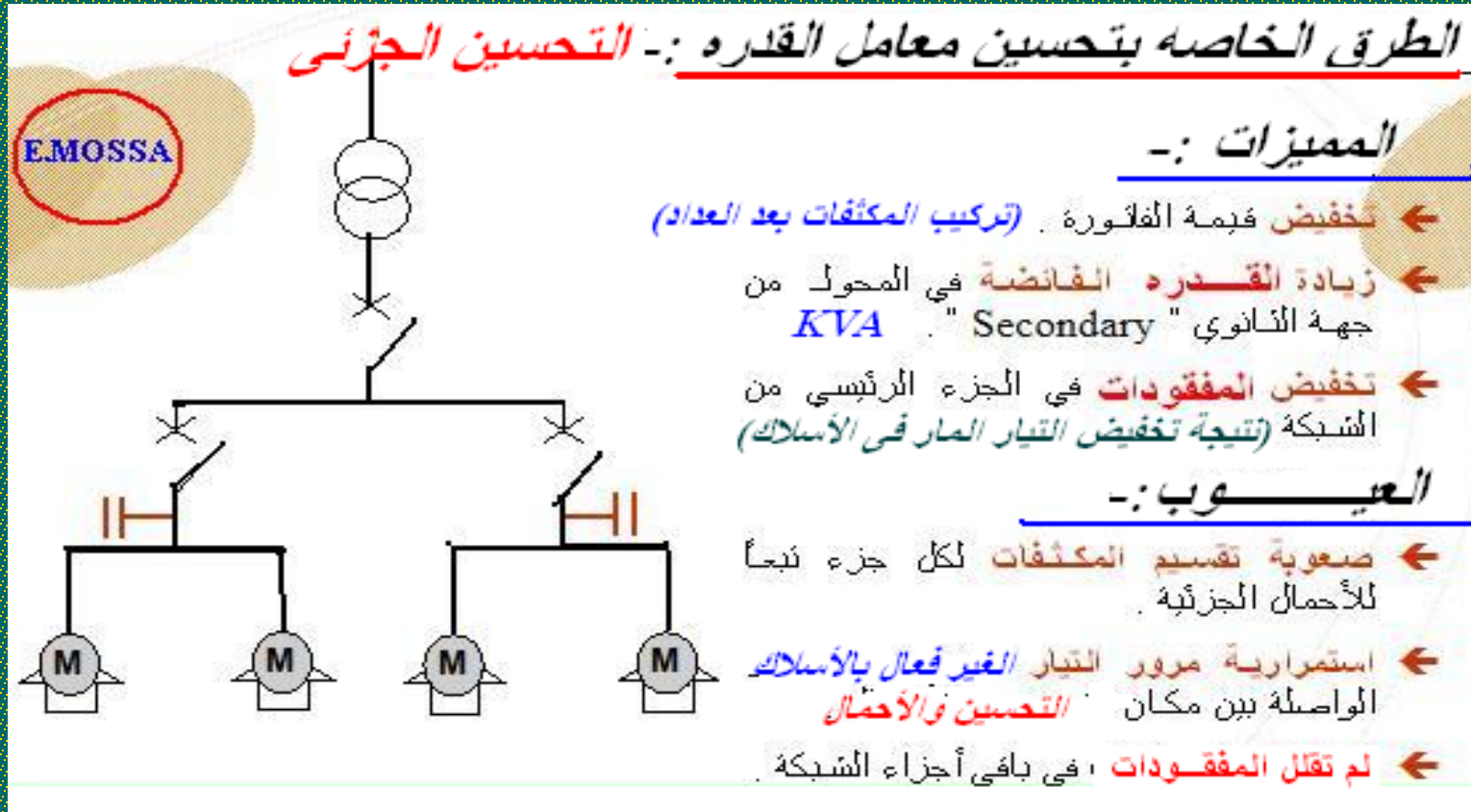
يوجد ثلاثة طرق لتحسين معامل القدره: 

- التحسين الكلى لمعامل القدره “ **Global Compensation** ”
➤ وفى هذه الطريقه يتم تركيب المكثفات على البار العمومى (اللوحة الرئيسيه)
- التحسين الجزئى “ **Sector Compensation** ”
➤ وفى هذه الطريقه يتم تركيب المكثفات على اللوحات الفرعيه.
- التحسين المستقل “ **Individual Compensation** ”
➤ فى هذه الطريقه يتم تركيب مكثف ثابت لكل جزء على حده .

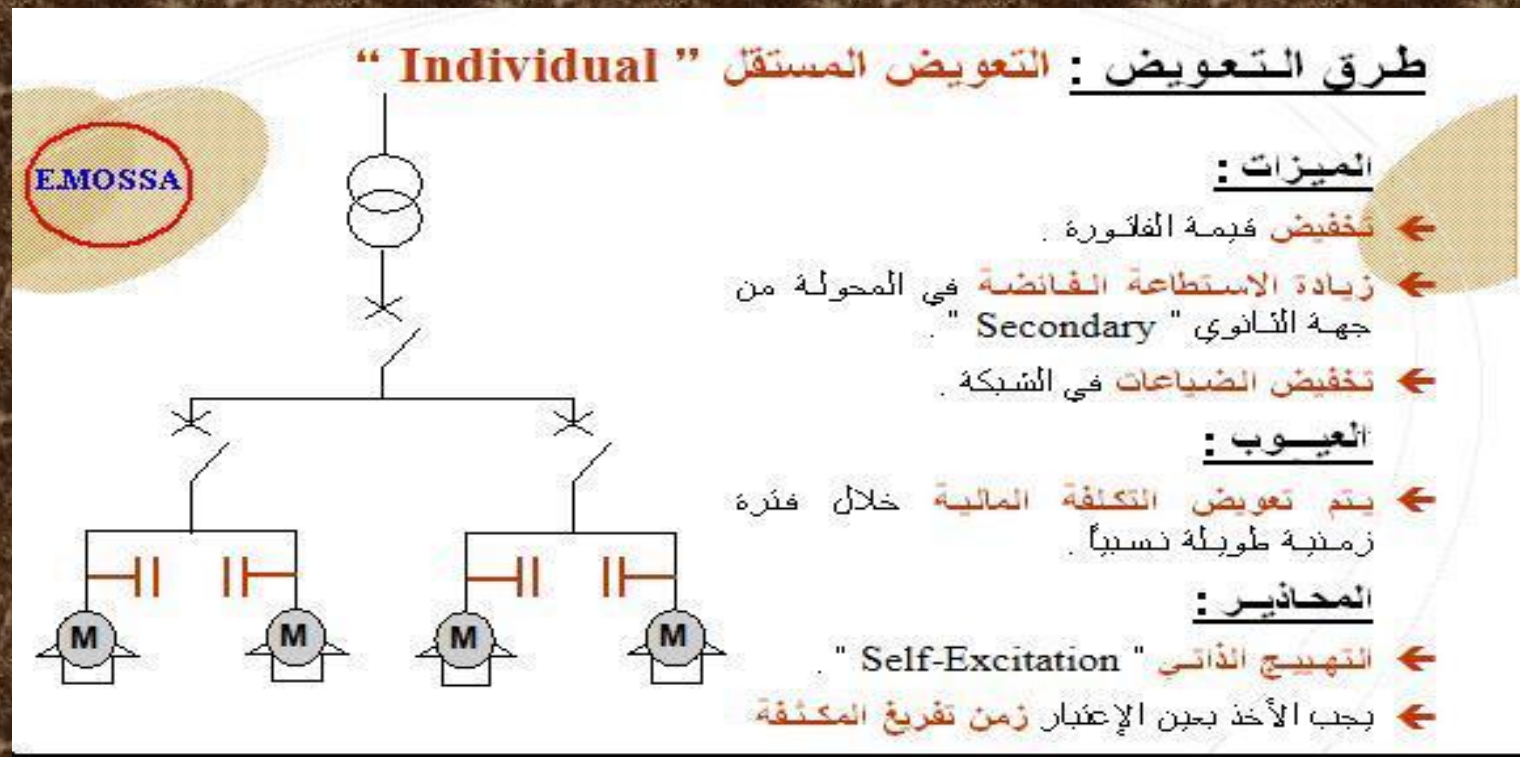
طريقة التحسين الكلى "Global" ➤



طريقة التحسين الجزئي "Sector"



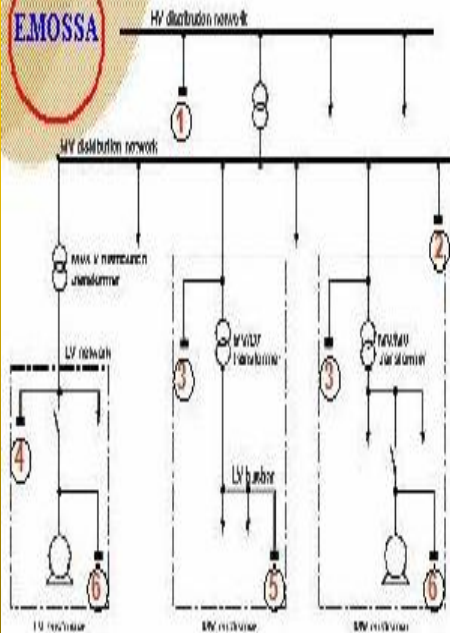
➤ (التحسين المستقل) " Individual " .



تحديد أماكن تركيب وحدات تحسين معامل القدرة

أين تركيب المكثفات :

EMOSSA



١. مكثفات الجهد العالي تركيب على خطوط نقل

الجهد العالي

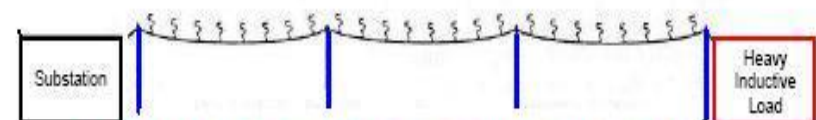
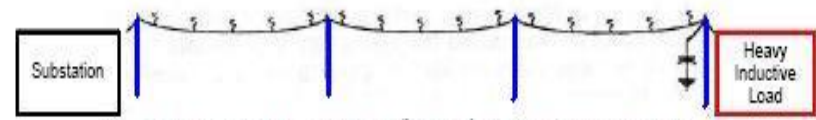
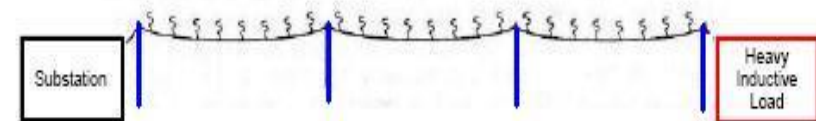
٢. مكثفات الجهد المتوسط " MV " تركيب لشبكات توزيع الجهد المتوسط.

٣. مكثفات الجهد المتوسط " MV " تركيب في محطات التحويل " MV/LV أو MV/MV "

٤. مكثفات الجهد المنخفض " LV " كلبة أو آلية تركيب للأحمال التي تعمل على الجهد المنخفض

٥. مكثفات الجهد المنخفض " LV " تركيب في محطات التحويل " MV/LV " من جهة الجهد المنخفض.

٦. مكثفات الجهد المنخفض " LV " أو المتوسط " MV " تركيب للتعويض المستقل



الرسم يوضح الطرق المختلفة لتركيب المكثفات

تابع أماكن تركيب المكثفات



المميزات التقنية (من تركيب مكثفات)

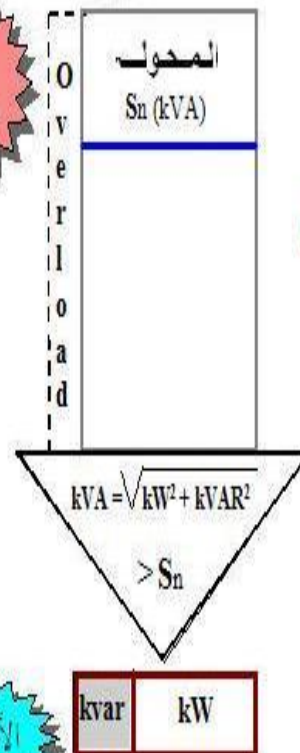
الميزة التقنية: (1)

← إن التوسع في منشأة ذات معامل **أقل** منخفض قد يؤدي إلى أن تصبح **القدرة** الظاهرية للأحمال **أكبر** من **قدرة** المحول ، أي :

$$kVA (Load) > kVA (Tr)$$

وذلك لأن :

$$kVA = \frac{kW}{\cos \phi}$$



EMOSSA

الأحمال

الميزة التقنية: (2)

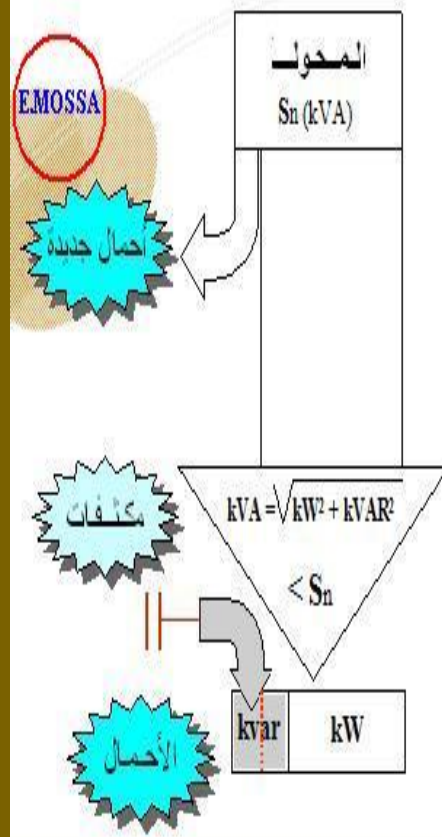
← إن تركيب **" مكثفات "** لتحسين عامل **القدرة** يؤدي إلى :

$$kVA (Load) < kVA (Tr)$$

وبالتالي :

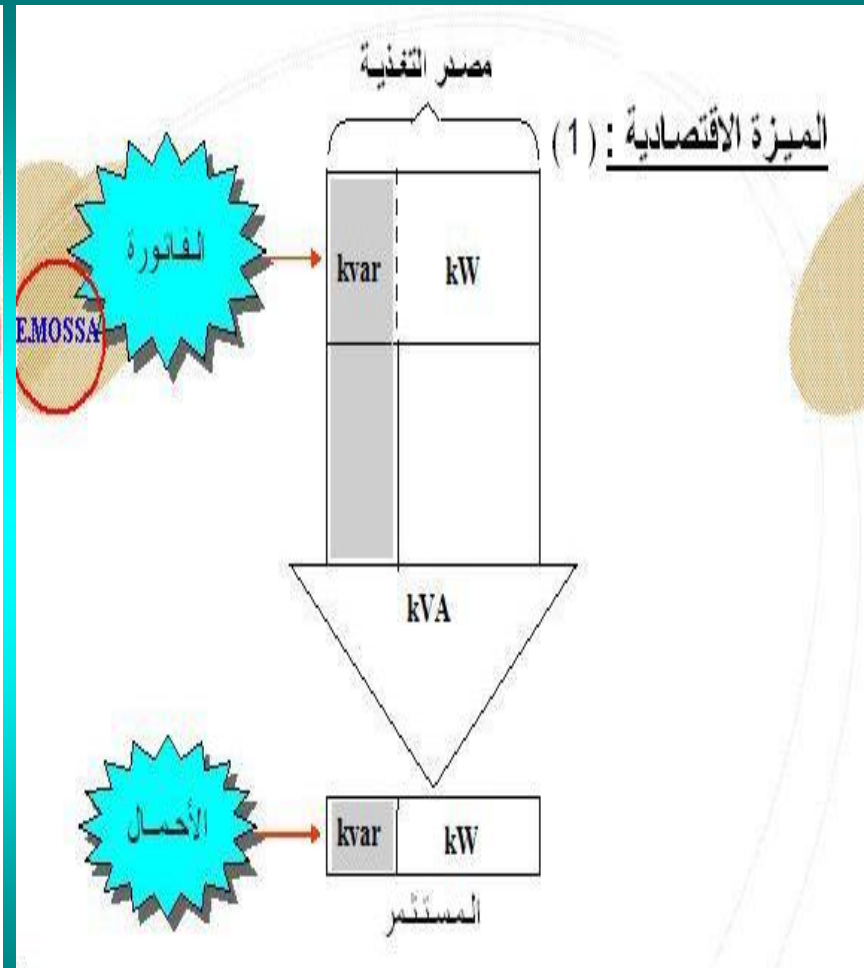
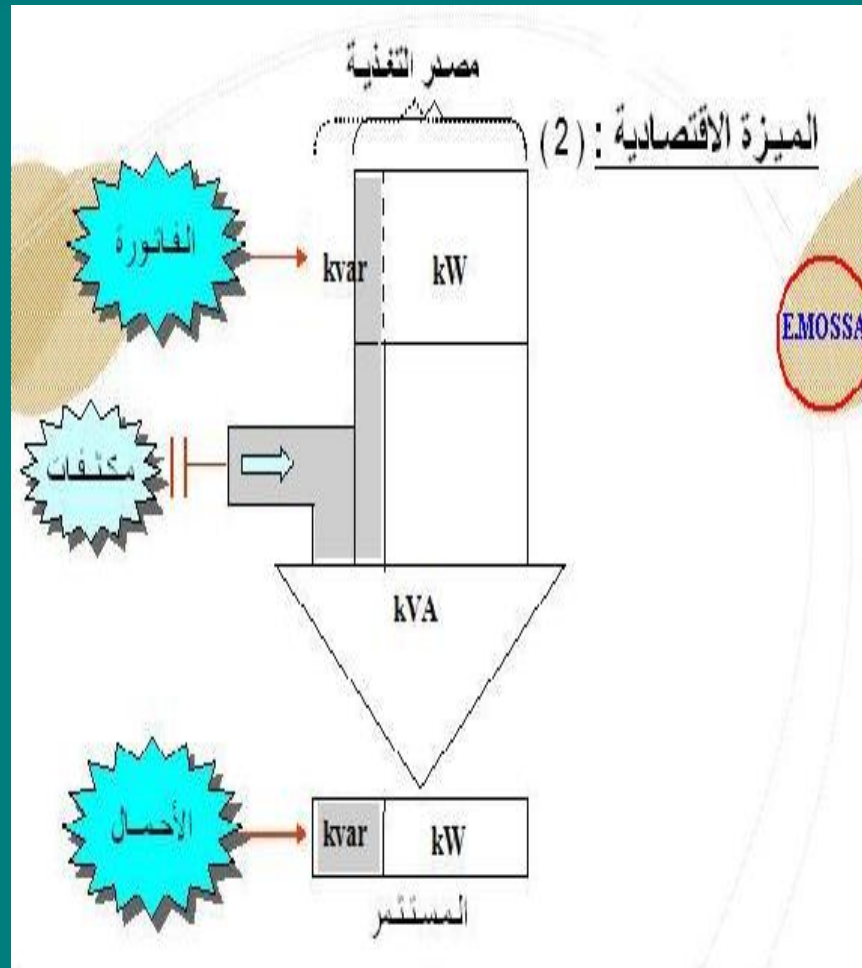
← عدم تحميل المحول بأحمال زائدة .

← الحصول على استطاعة فائضة في المحول لتغذية أحمال جديدة .



المركز القابضة للكهرباء
مصر
شركة كهرباء القاهرة

العائد الإقتصادي لتحسين معامل القدرة



المميزات الاقتصادية

الأثر الاقتصادي :

EMOSSA

← يتم تعويض " التكلفة المالية للمكثفات " في شبكات الجهد المنخفض خلال :

← إذا كانت المكثفات المركبة من النوع الثابت " Fixed Capacitors " : فإن الفترة الزمنية للتعويض لا تتعدى عاماً واحداً .

← إذا كانت المكثفات المركبة من النوع الآلي " Automatic Capacitors " : فإن الفترة الزمنية لا تتعدى العامين .

← يتم تعويض " التكلفة المالية للمكثفات " في شبكات الجهد المتوسط MV خلال فترة زمنية لا تتعدى العامين .

خلاصة المميزات الفنية والإقتصادية

● Power Factor Correction Saves Money!

- » Reduces Power Bills
- » Reduces I^2R losses in conductors
- » Reduces loading on transformers
- » Improves voltage drop



مميزات تحسين معامل القدرة :

EMOSSA

المميزات الاقتصادية :

← **تخفيض** قيمة الفاتورة بسبب :

← **تخفيض** كمية الطاقة الغير فعالة المستهلكة .

← **تخفيض** كمية الطاقة الفعالة المستهلكة نتيجة لانخفاض القدرة المفقودة

المميزات التقنية :

← **تخفيض** عبوط الجهد

← **زيادة** القدرات المتوفرة في مصدر التغذية .

← **تخفيض** المفقودات **LOSSES**

← **منع** تضخيم التوافقيات أو تحسين نوعية التيار (استخدام مكثفات ذات مخمدات أو تركيب مرشحات) .

متوسط قيمة معامل قدره للأجهزة الأكثر شيوعاً

٠,١٧	صفر %	المحرك التأثيرى الشائع
٠,٥٥	% ٢٥	بنسبة تحميل :
٠,٧٣	% ٥٠	
٠,٨٠	% ٧٥	
٠,٨٥	% ١٠٠	

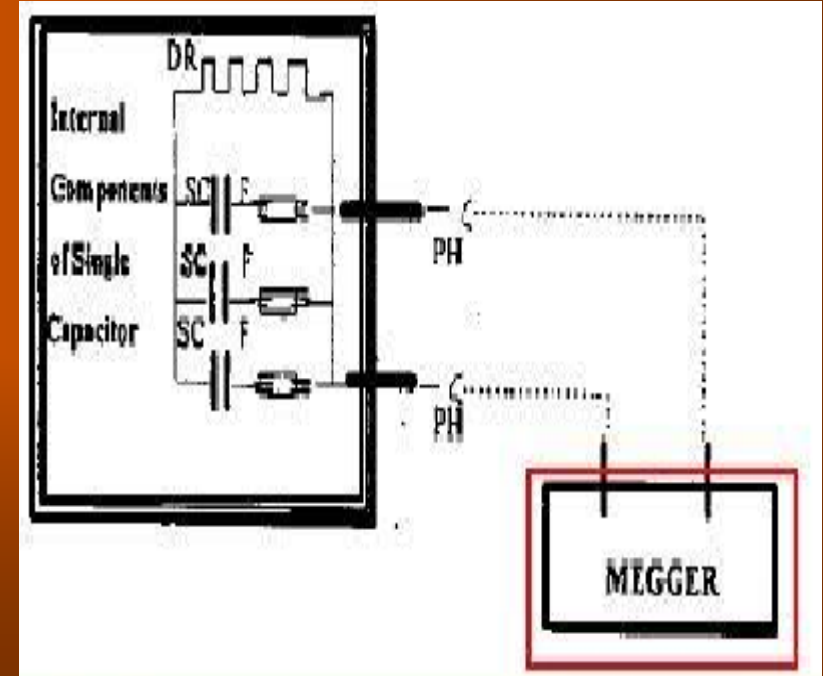
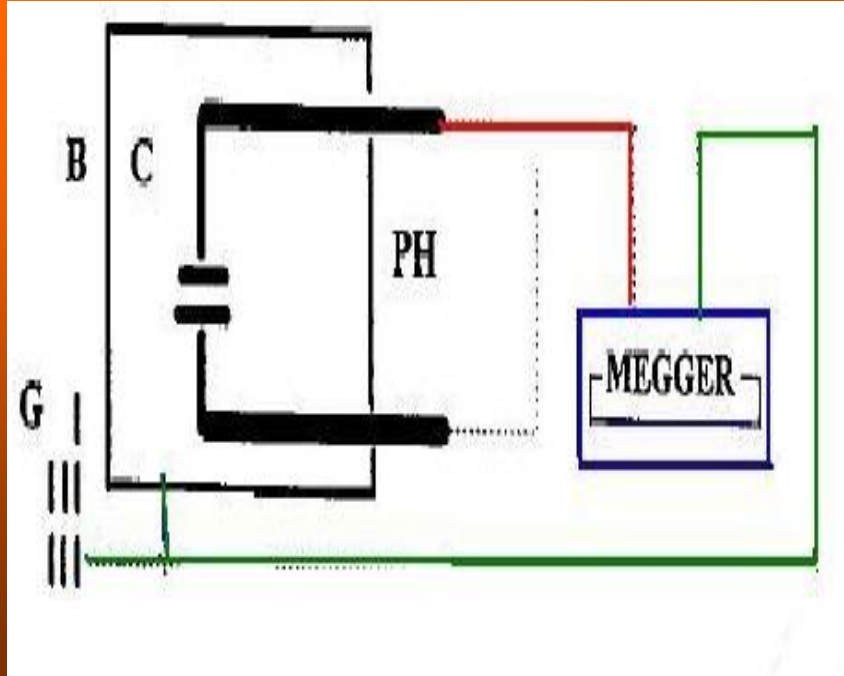
١,٠٠	مواقد تستخدم وحدات مقاومة كهربية
٠,٨٥	مواقد بالتسخين التأثيرى (بمكثف تعويض القدرة الغير فعالة)
٠,٨٥	مواقد بتسخين العزل الكهربى

١,٠٠	اللمبات التوهجية (التقليدية)
٠,٥٠	اللمبات الفلورسنت (بدون مكثف تعويض القدرة الغير فعالة)
٠,٩٣	اللمبات الفلورسنت (بمكثف تعويض القدرة الغير فعالة)
٠,٦٠ / ٠,٤٠	لمبات التفريغ الكهربى

٠,٩٠ / ٠,٨٠	ماكينات لحام بالمقاومات الكهربائية
٠,٥٠	وحدات لحام بالقوس الكهربى (ثابتة وتعمل على وجه واحد)
٠,٩٠ / ٠,٧٠	وحدات لحام بالقوس الكهربى (تغذى من وحدة محرك / مولد)
٠,٨٠ / ٠,٧٠	وحدات لحام بالقوس الكهربى (تغذى من وحدة محول / موحد)
٠,٨٠	فرن القوس الكهربى

طريقنا

أولاً إختبار مقاومة العزل باستخدام جهاز الميجر



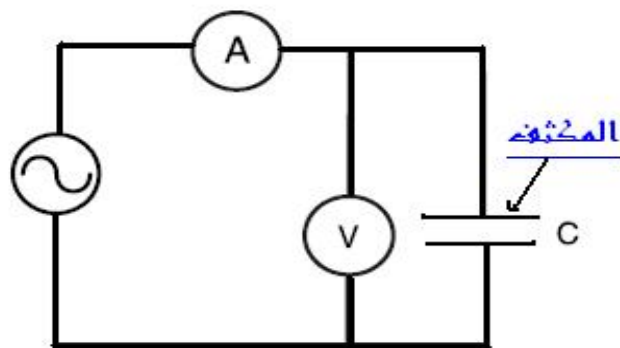
قياس المقاومة بين الأطراف
وجسم المكثف

قياس مقاومة العزل بين
أطراف المكثف

كيفية قياس سعة المكثف μF

The capacitance, $C = \frac{I}{\omega V}$

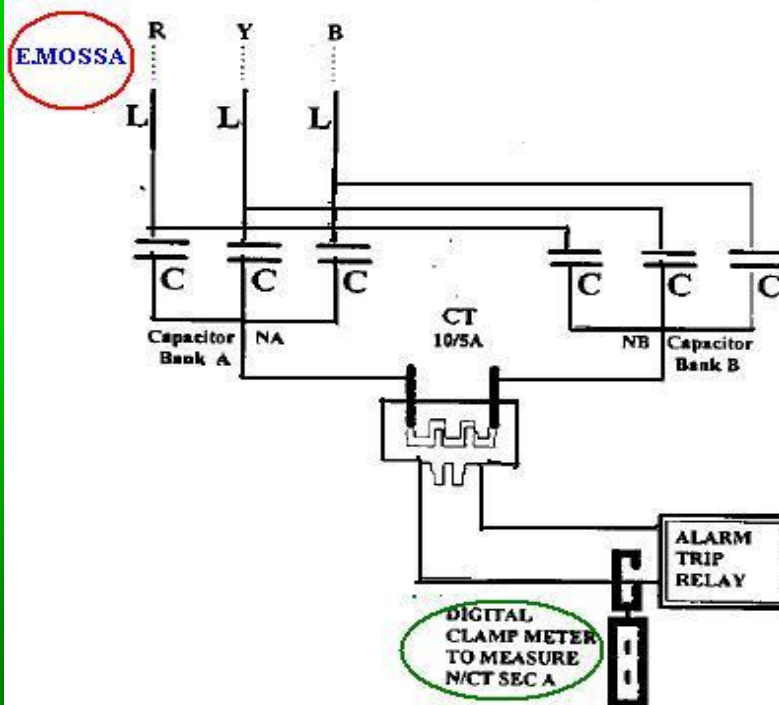
where C = Capacitance, F
 I = Current, A
 V = Voltage, V
 ω = Constant, 314 = ثابت



تحدد سعة المكثف بواسطة جهد منخفض

CAPACITOR BANK NEUTRAL UNBALANCED MEASURE

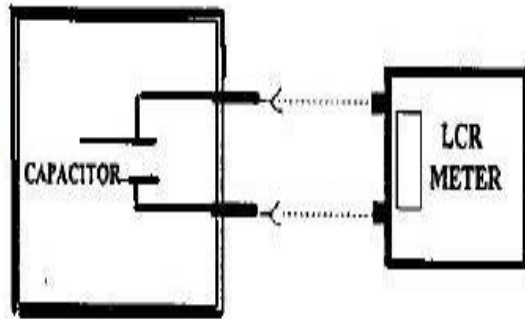
Refer to the diagram below for explanation purpose.



قياس السعة من خلال حقن جهد منخفض متغير وقياس قيمة الجهد والتيار

حساب السعة للمكثف باستخدام جهاز للقياس

Test method for capacitance measurement test is given below.



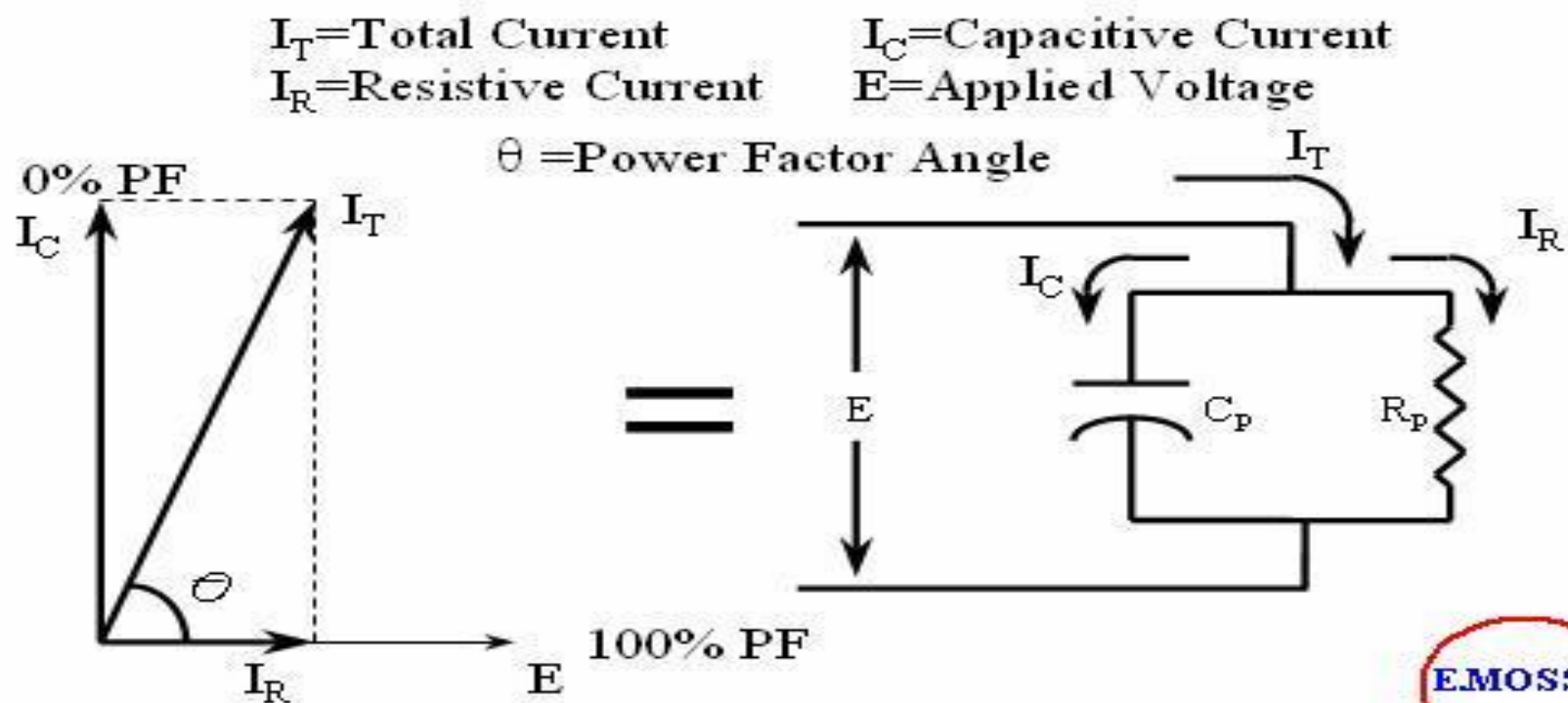
NOTE:

IN CASE OF FAULTY CAPACITOR, THE CAPACITOR WILL BE EITHER OPEN CIRCUITED OR REDUCED CAPACITANCE VALUE. SUCH CAPACITOR WILL NEVER BE SHORT CIRCUITED IN SERVICE. SO THERE IS NO DANGER OF BREAK DOWN ACROSS CAPACITOR TERMINALS.



تحديد قيمة $\tan \Delta$

Basic Power Factor



أختبار العزل بجهاز الجهد العالى DC, AC

Capacitor Field Test Voltage per NEMA Standard CP-1

Rated Capacitor Voltage, V	Terminal-to-Terminal Voltage, kV		Rated Capacitor BIL, kV	Terminal-to-Terminal Test Voltage, kV	
	AC	DC		AC	DC
2,400	3.6	7.74	75	19.5	28.5
2,700	4.15	8.93			
4,160	6.24	13.4			
4,800	7.20	15.4			
6,640	9.96	21.4	95	25.5	39.0
7,200	10.8	23.2			
7,620	11.4	24.5			
7,960	11.9	25.6			
9,960	14.9	32.1	95/125	25.5/ 30.0	39.0/ 45.0
12,470	18.7	40.2			
13,280	19.9	42.8			
13,800	20.7	44.5			
14,400	21.6	46.4	125	30	45.0
19,920	29.8	64.2			
21,600	32.4	69.6			

قيم جمود إختبارات العزل

Test Voltages for Short Time Overvoltage Test, Terminal to Case, from Standard 18

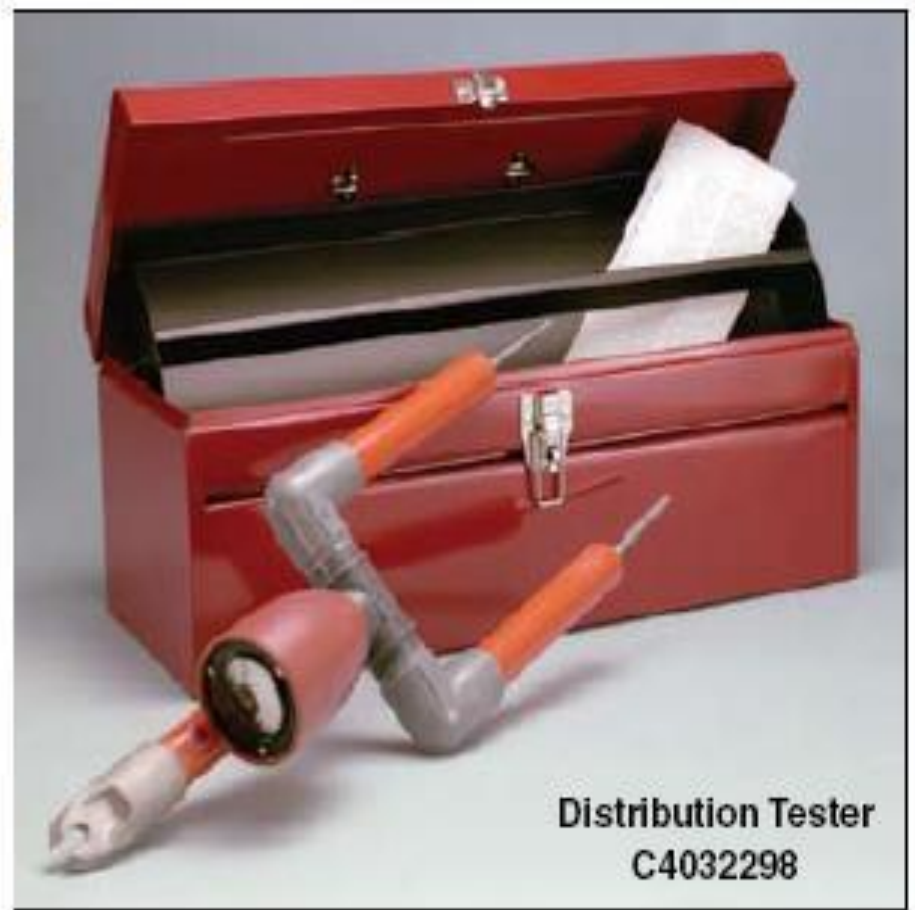
Range of Capacitor RMS Voltage Ratings Terminal to Terminal, V	BIL kV, Crest	Terminal-to-Case Test Voltage, rms V	
		Indoor or Housed Equipment	Outdoor
216-300	30*	3,000	10,000
301-1,199	30*	5,000	10,000
1,200-5,000	75*	11,000	26,000
1,200-15,000	95	-	34,000
1,200-20,000	125	-	40,000
1,200-25,000	150	-	50,000
1,200-25,000	200	-	60,000
*Outdoor			

جهد إختبار عزل الأطراف عن جسم المكثف

إختبار المكثف تحت الجهد (بالموقع)

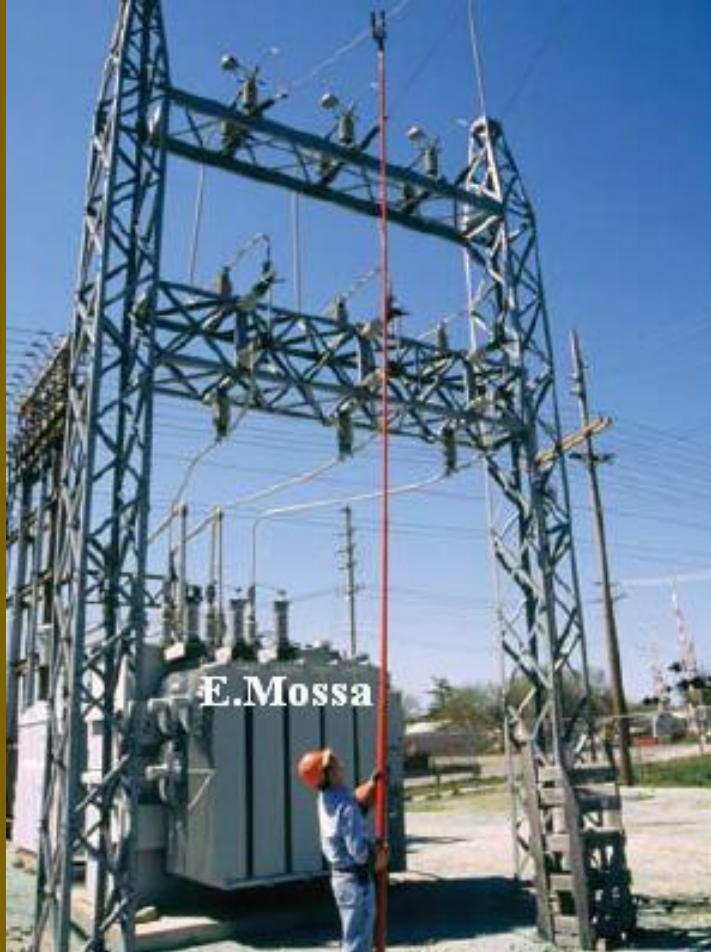


تابع إختبار المكثف بالموقع تحت الجهد (قياس الأنهيار بالعوازل)



Energized Insulator Testers

تابع إختبار المكثف تحت الجهد (قياس إتران التيار)



مَدِينَةُ الْمَدِينَةِ

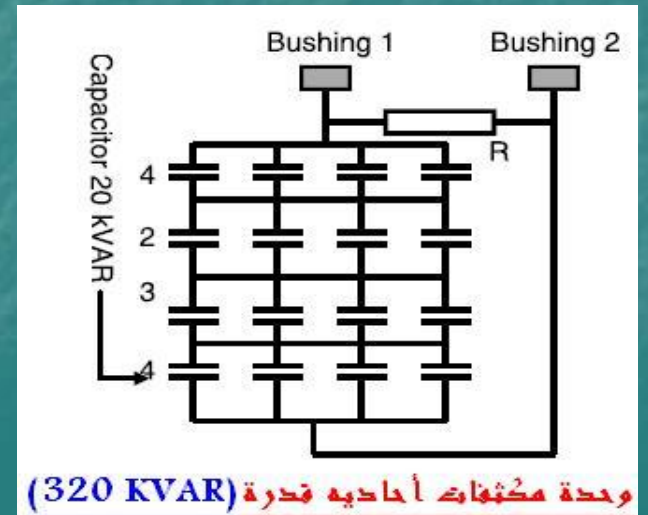
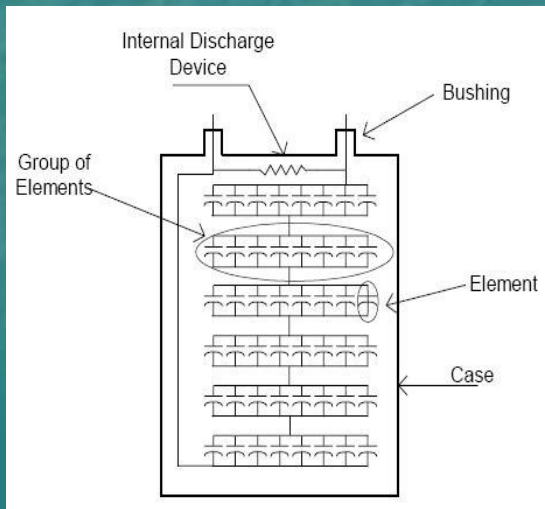
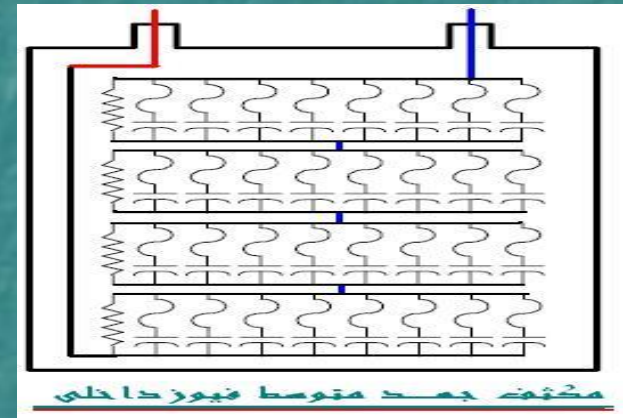
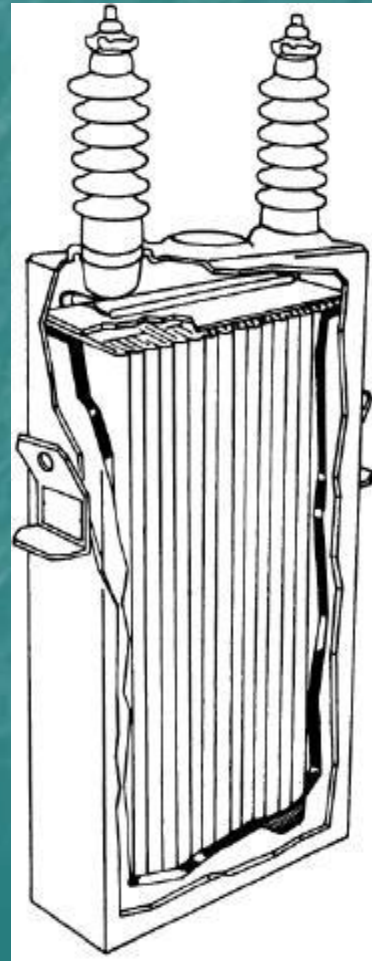
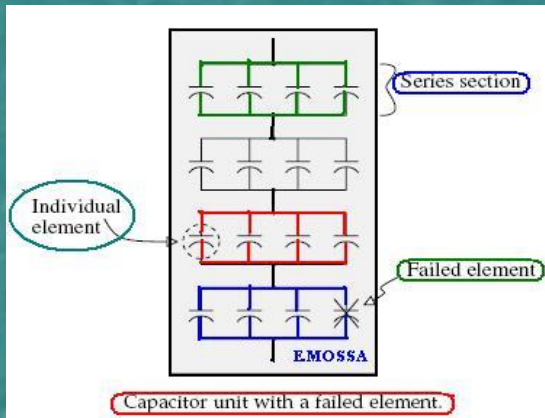
وحدات مكثفات تحسين معامل القدرة MV



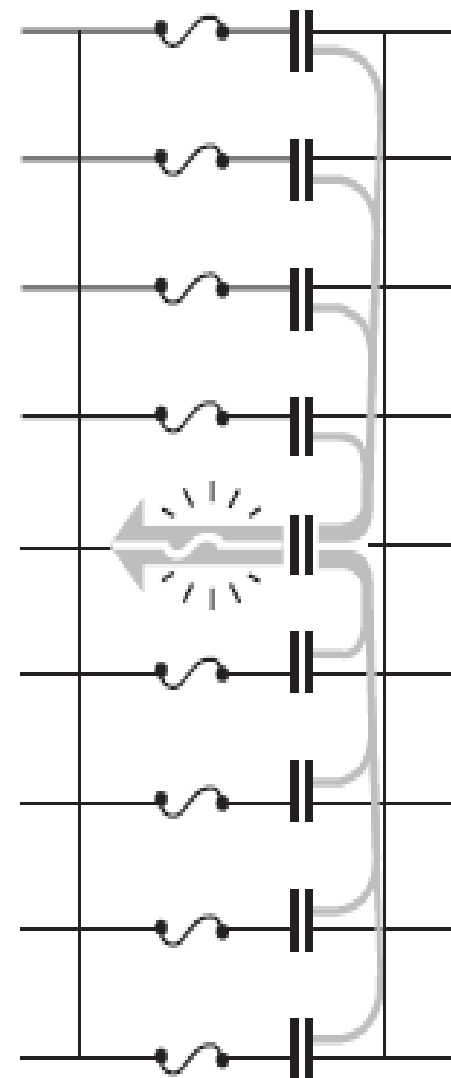
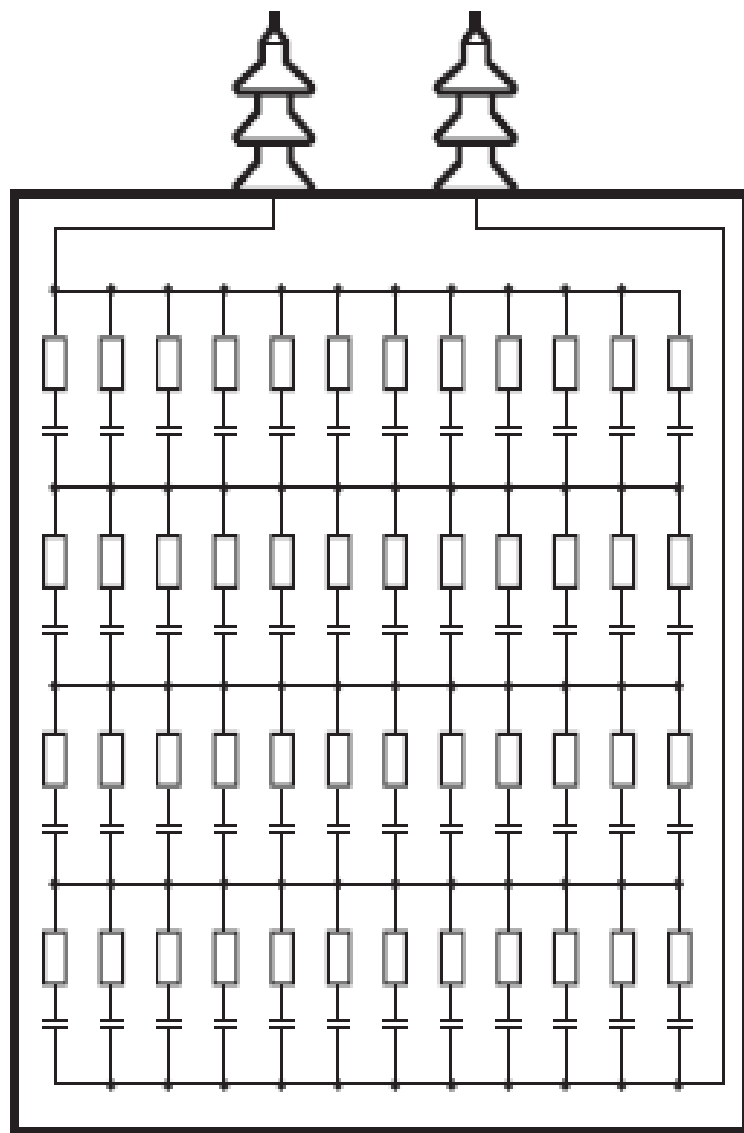
Cut out fuse فيوز جهد متوسط



مكثف جهد متوسط من الداخل



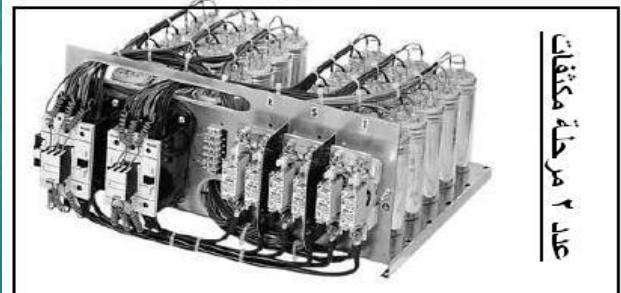
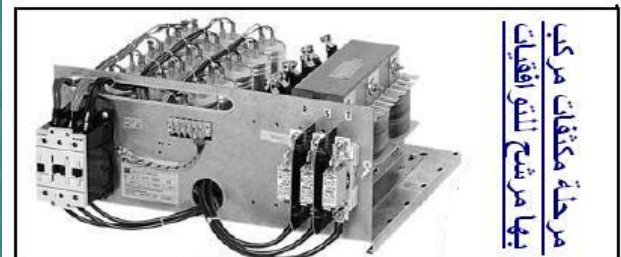
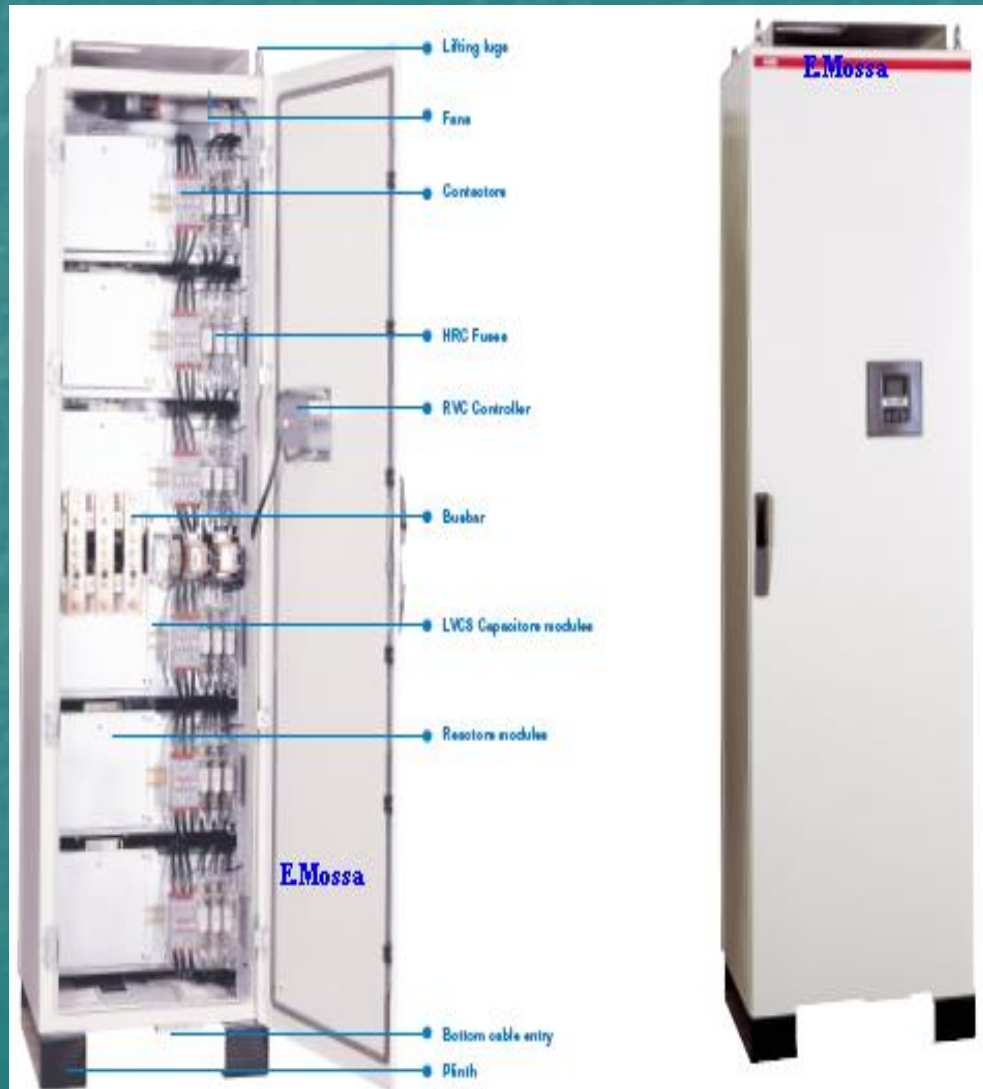
وحدة مكثفات أحادية القدرة (320 KVAR)



Propivar capacitor with internal fuses, composed of 4 groups

Single phase capacitor. connected in series, each group comprising 12 elements connected in parallel.

وحدة تحسين معامل القدرة على مراحل LV



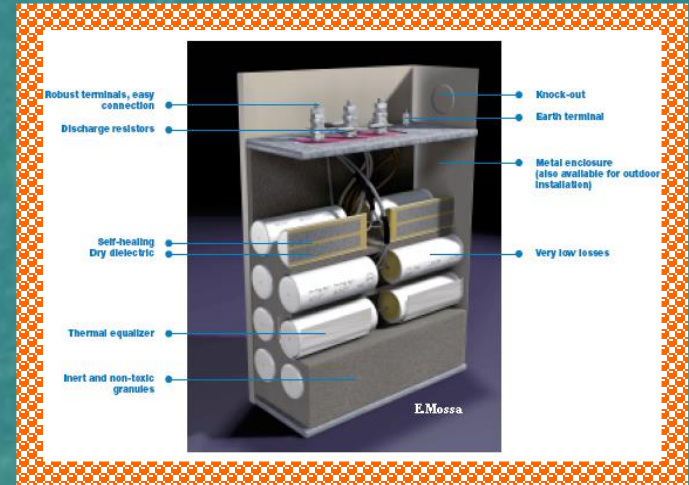
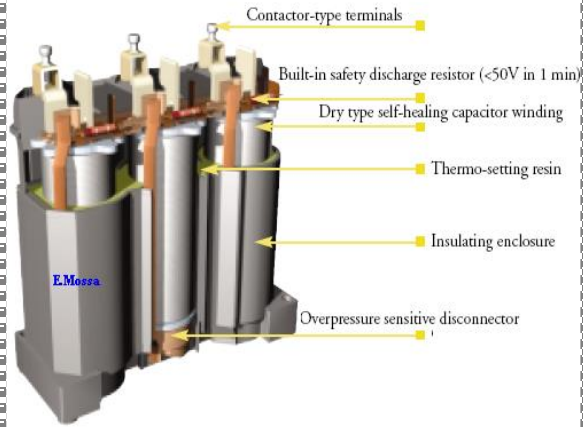
مديولات مراحل وحدات تحسين المكثفات

مكونات وحدة تحسين معامل القدرة LV

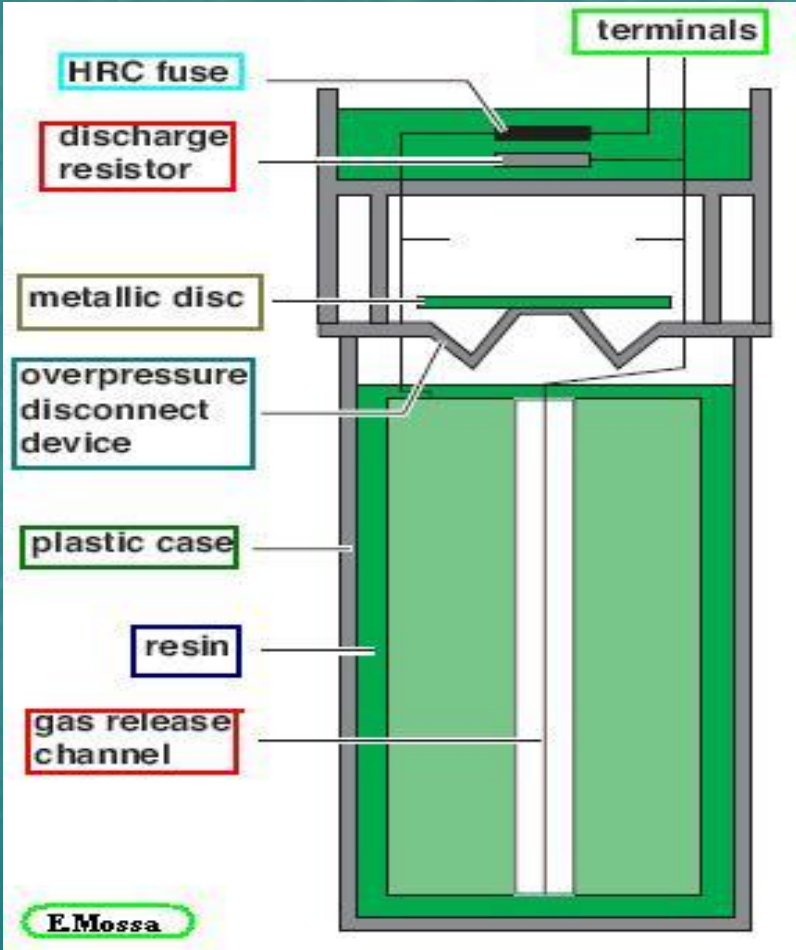


- كونتاكتور خاص بالمكثفات يتم مزود بعدد ٣ مقاومات حرارية للحد من تيار البدء والذي يتعدى قيمة ٢٠٠ مره من تيار التشغيل العادى .
- المقاومات تحد من تيار البدء إلى ٨٠ مره فقط من تيار الشحن.
- المواصفات الدوليه على تيار بدء ١٠٠ مره .
- قدرة الكونتاكتور تحدد بقيمة KVAR وليست بالتيار.

مقاطع لمكثفات الجهد المنخفض

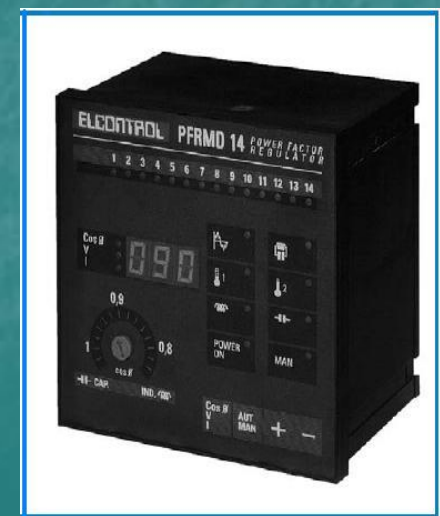
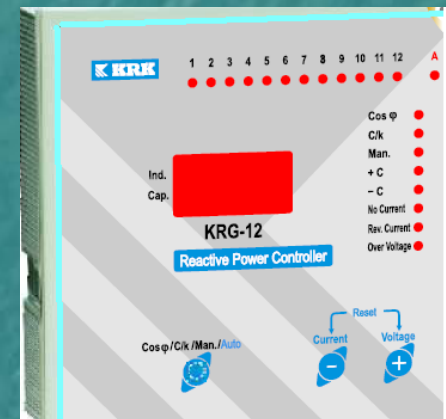
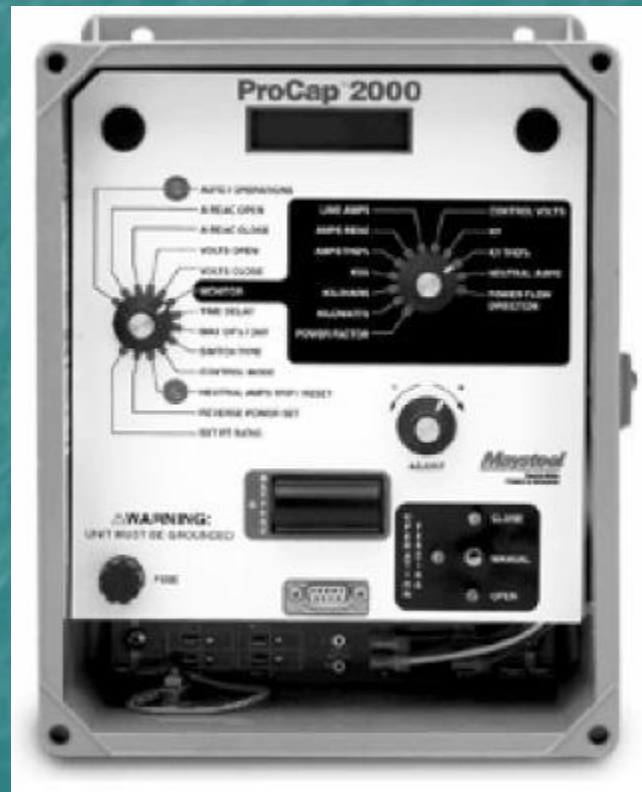


مكثف جهد منخفض من الداخل

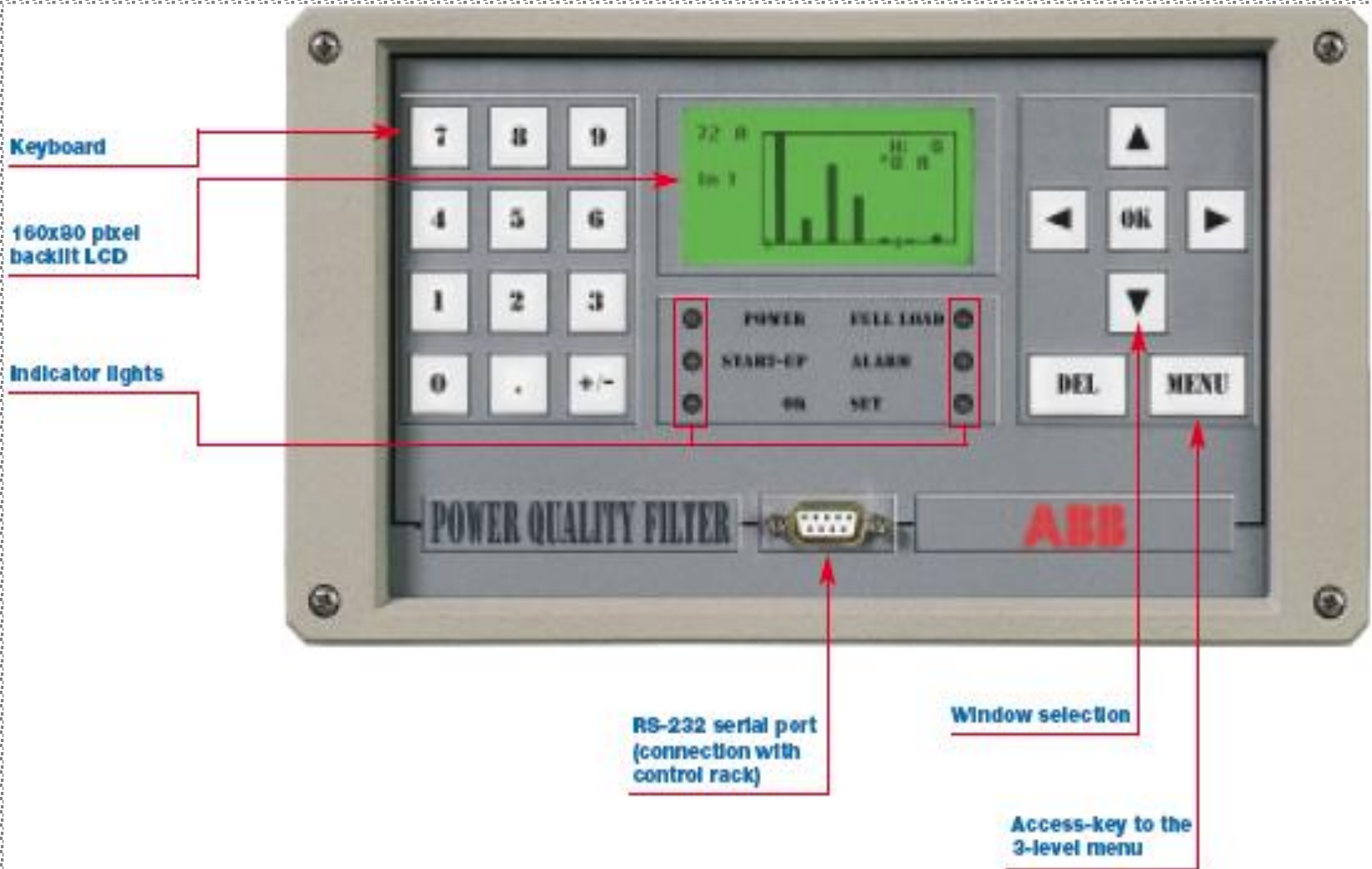


- الرسم يوضح مكثف جهد منخفض من الداخل ويحتوى على الآتى :
- فيوز سريع القطع HRCF
- مقاومة التفريغ الحراريه.
- وحدة الحماية من إرتفاع الضغط
- الجسم الخارجى والماده العازله لها خاصية الإلتئام الذاتى

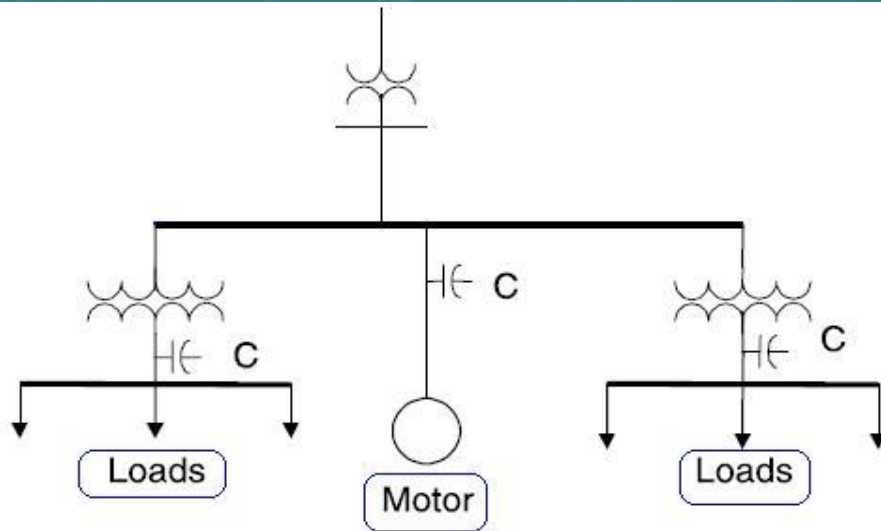
بعض المنظمات الأتوماتيكية لدخول وخروج المكثفات



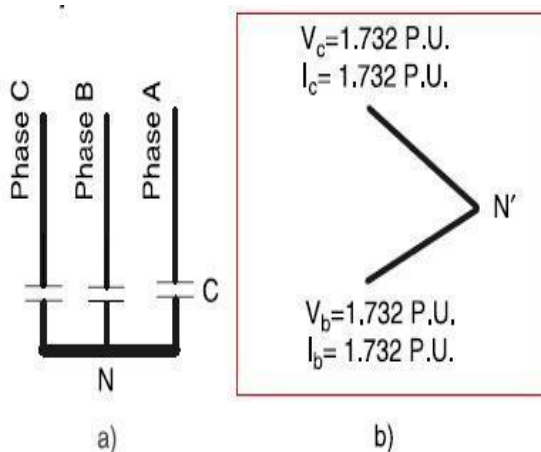
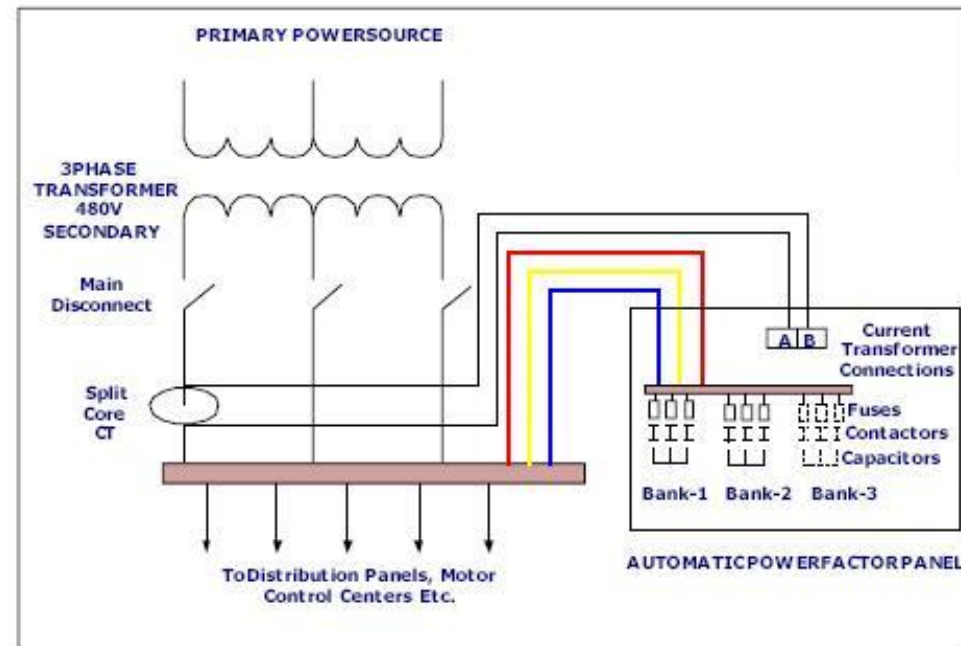
جهاز تحليل التوافقيات (الجهد والتيار)



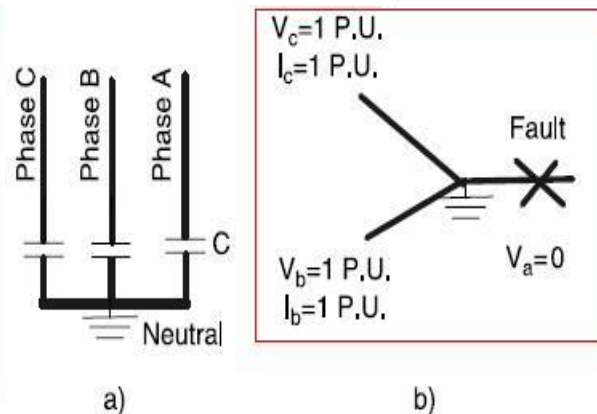
توصيل المكثفات



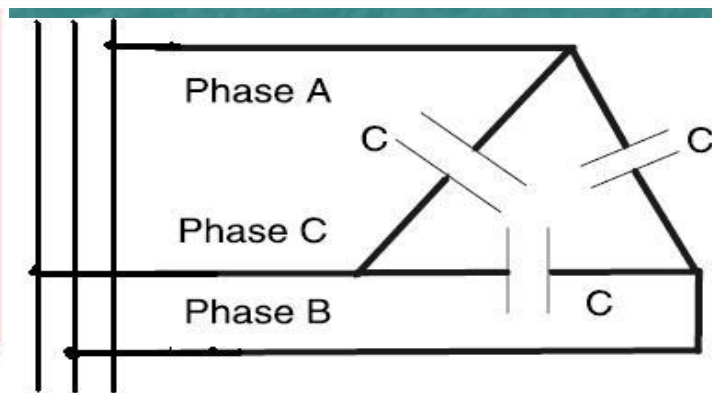
Local capacitor bank. أفضل النقط للمكثفات



توصيل المكثفات نجمه معزول



توصيلة النجمه المورضة



The delta connected capacitors.

توصيل المكثفات دلتا

وحدات تحسين معامل القدرة ومركب بها مرشحات التوافقيات



القيمة قبل التحسين		القيمة بعد التحسين								
tan φ	cos φ	tan φ	0,75	0,59	0,48	0,46	0,43	0,40	0,36	0,33
		cos φ	0,80	0,86	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95
1,52	0,55		0,769	0,918	1,035	1,063	1,090	1,124	1,156	1,190
1,48	0,56		0,730	0,879	0,996	1,024	1,051	1,085	1,117	1,151
1,44	0,57		0,692	0,841	0,958	0,986	1,013	1,047	1,079	1,113
1,40	0,58		0,665	0,805	0,921	0,949	0,976	1,010	1,042	1,076
1,37	0,59		0,618	0,768	0,884	0,912	0,939	0,973	1,005	1,039
1,33	0,60		0,584	0,733	0,849	0,878	0,905	0,939	0,971	1,005
1,30	0,61		0,549	0,699	0,815	0,843	0,870	0,904	0,936	0,970
1,27	0,62		0,515	0,665	0,781	0,809	0,836	0,870	0,902	0,936
1,23	0,63		0,483	0,633	0,749	0,777	0,804	0,838	0,870	0,904
1,20	0,64		0,450	0,601	0,716	0,744	0,771	0,805	0,837	0,871
1,17	0,65		0,419	0,569	0,685	0,713	0,740	0,774	0,806	0,840
1,14	0,66		0,388	0,538	0,654	0,682	0,709	0,743	0,775	0,809
1,11	0,67		0,358	0,508	0,624	0,652	0,679	0,713	0,745	0,779
1,08	0,68		0,329	0,478	0,595	0,623	0,650	0,684	0,716	0,750
1,05	0,69		0,299	0,448	0,565	0,593	0,620	0,654	0,686	0,720
1,02	0,70		0,270	0,420	0,536	0,564	0,591	0,625	0,657	0,691
0,99	0,71		0,242	0,392	0,508	0,536	0,563	0,597	0,629	0,663
0,96	0,72		0,213	0,364	0,479	0,507	0,534	0,568	0,600	0,634
0,94	0,73		0,186	0,336	0,452	0,480	0,507	0,541	0,573	0,607
0,91	0,74		0,159	0,309	0,425	0,453	0,480	0,514	0,546	0,580
0,88	0,75		0,132	0,280	0,398	0,426	0,453	0,487	0,519	0,553
0,86	0,76		0,105	0,255	0,371	0,399	0,426	0,460	0,492	0,526
0,83	0,77		0,079	0,229	0,345	0,373	0,400	0,434	0,466	0,500
0,80	0,78		0,053	0,202	0,319	0,347	0,374	0,408	0,440	0,474
0,78	0,79		0,026	0,176	0,292	0,320	0,347	0,381	0,413	0,447
0,75	0,80			0,150	0,266	0,294	0,321	0,355	0,387	0,421
0,72	0,81			0,124	0,240	0,268	0,295	0,329	0,361	0,395
0,70	0,82			0,098	0,214	0,242	0,269	0,303	0,335	0,369
0,67	0,83			0,072	0,188	0,216	0,243	0,277	0,309	0,343
0,65	0,84			0,046	0,162	0,190	0,217	0,251	0,283	0,317
0,62	0,85			0,020	0,136	0,164	0,191	0,225	0,257	0,291
0,59	0,86				0,109	0,140	0,167	0,198	0,230	0,264
0,57	0,87				0,083	0,114	0,141	0,172	0,204	0,238
0,54	0,88				0,054	0,085	0,112	0,143	0,175	0,209
0,51	0,89				0,028	0,059	0,086	0,117	0,149	0,183
0,48	0,90					0,031	0,058	0,089	0,121	0,155

بـحـاولـ حـسابـ قـدرـةـ المـكـثـفـاتـ مـنـسـ اـمـوـسـي

Desired Power Factor										
PF	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89
0.55	0.768	0.794	0.820	0.846	0.873	0.899	0.925	0.952	0.979	1.006
0.56	0.729	0.755	0.781	0.807	0.834	0.860	0.886	0.913	0.940	0.967
0.57	0.691	0.717	0.743	0.769	0.796	0.822	0.848	0.875	0.902	0.929
0.58	0.655	0.681	0.707	0.733	0.759	0.785	0.811	0.838	0.865	0.892
0.59	0.618	0.644	0.670	0.696	0.723	0.749	0.775	0.802	0.829	0.856
0.60	0.583	0.609	0.635	0.661	0.687	0.714	0.740	0.767	0.794	0.821
0.61	0.549	0.575	0.601	0.627	0.653	0.679	0.706	0.732	0.759	0.787
0.62	0.515	0.541	0.567	0.593	0.620	0.646	0.672	0.699	0.726	0.753
0.63	0.481	0.507	0.533	0.559	0.585	0.611	0.638	0.664	0.691	0.718
0.64	0.447	0.473	0.500	0.526	0.552	0.578	0.604	0.631	0.657	0.684
0.65	0.413	0.439	0.465	0.491	0.517	0.543	0.569	0.595	0.622	0.648
0.66	0.380	0.405	0.431	0.457	0.482	0.508	0.534	0.560	0.586	0.612
0.67	0.348	0.373	0.398	0.424	0.449	0.475	0.501	0.526	0.552	0.578
0.68	0.316	0.341	0.366	0.392	0.417	0.442	0.468	0.493	0.519	0.544
0.69	0.285	0.309	0.334	0.359	0.384	0.409	0.434	0.459	0.484	0.509
0.70	0.254	0.278	0.303	0.328	0.353	0.378	0.403	0.428	0.453	0.478
0.71	0.223	0.247	0.272	0.297	0.322	0.347	0.372	0.397	0.422	0.447
0.72	0.192	0.216	0.241	0.266	0.291	0.316	0.341	0.366	0.391	0.416
0.73	0.161	0.185	0.210	0.235	0.260	0.285	0.310	0.335	0.360	0.385
0.74	0.130	0.154	0.179	0.204	0.229	0.254	0.279	0.304	0.329	0.354
0.75	0.100	0.124	0.148	0.173	0.198	0.223	0.248	0.273	0.298	0.323
0.76	0.070	0.094	0.118	0.143	0.168	0.193	0.218	0.243	0.268	0.293
0.77	0.040	0.064	0.088	0.113	0.138	0.163	0.188	0.213	0.238	0.263
0.78	0.010	0.034	0.058	0.083	0.108	0.133	0.158	0.183	0.208	0.233
0.79		0.004	0.028	0.052	0.077	0.102	0.127	0.152	0.177	0.202
0.80			0.000	0.024	0.048	0.073	0.098	0.123	0.148	0.173
0.81				0.000	0.024	0.048	0.073	0.098	0.123	0.148
0.82					0.000	0.024	0.048	0.073	0.098	0.123
0.83						0.000	0.024	0.048	0.073	0.098
0.84							0.000	0.024	0.048	0.073
0.85								0.000	0.024	0.048
0.86									0.000	0.024
0.87										0.000
0.88										

E.Mossa

التعريفات الخاصة بالمكثفات (1)

Capacitor power rating, single-phase:

$$Q_c = C \cdot V^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_n$$

Example: 83 μ F at 400 V / 50 Hz
 $0.000083 \cdot 400^2 \cdot 314.16 = 4.172 \text{ VAr} = 4.17 \text{ kVAr}$

Capacitor power rating, three-phase:

$$Q_c = C \cdot 3 \cdot V^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_n$$

Example: 3 x 332 μ F at 400 V / 50 Hz
 $0.000332 \cdot 3 \cdot 400^2 \cdot 314.16 = 50 \text{ kVAr}$

Capacitor phase current:

$$I = \frac{Q_c}{V \cdot \sqrt{3}} \quad \text{or} \quad Q_c = I \cdot V \cdot \sqrt{3}$$

Example: 25 kVAr at 400 V
 $25.000 / (400 \cdot 1.73) = 36 \text{ A}$

Series resonance frequency (f_r) and choke factor (p) of capacitors with filter reactors:

$$f_r = f_n \cdot \sqrt{\frac{1}{p}} \quad \text{or} \quad p = \left(\frac{f_n}{f_r} \right)^2$$

Example: $p = 0.07$ (7% choke) in 50 Hz network

$$f_r = 189 \text{ Hz}$$

تعريفات الخاصة بالمكثفات (2)

$$Q_c = \frac{C \cdot 3 \cdot V^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_n}{1 - p}$$

Capacitor power rating, three-phase, with filter reactors:

Example: 3 x 332 μ F at 400 V / 50 Hz
 with choke factor $p = 7\%$
 $0.000332 \cdot 3 \cdot 400^2 \cdot 314.16 / 1 - 0.07 = 53.8 \text{ kVAr}$

Calculation of power factor $\cos \varphi$ and $\tan \varphi$:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad \text{or} \quad \cos \varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2 \varphi}} \quad \text{or} \quad \cos \varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{Q}{P} \right)^2}}$$

$$\tan \varphi = \frac{Q}{P} \quad \text{or} \quad \tan \varphi = \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \varphi} - 1} \quad \text{or} \quad \tan \varphi = \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{P}{S} \right)^2} - 1}$$

Where:

V = voltage in V

I = current in A

f_n = network frequency in Hz

f_r = series resonance frequency in Hz

p = choke factor in %

Q_c = capacitor power rating in VAr

C = capacitance in F (farad)

P = active power in W

S = apparent power in VA

Q = reactive power in VAr



THANKS



■ شركة جنوب الدلتا لتوزيع الكهرباء
■ مهندس//موسى سعيد موسى أبو خطوه
■ مدير عام مركز التحكم الإشرافى SCADA SY
■ والمشرف على الإدارة العامة للنوعية والاختبارات

مجموعة كتب

الأسس العلمية والخبرة العملية في الهندسة

الكتاب الرابع

المكثفات

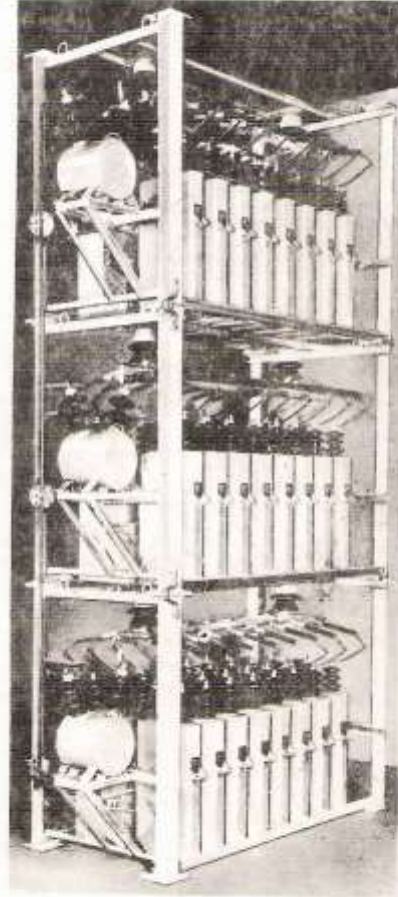
(تحسين معامل

القدرة)

(Power Factor
Correction)

د. عبد المنعم موسى

كلية الهندسة
جامعة الإسكندرية




دار الراتب الجامعية

المكثفات

(تحسين معامل القدرة)
(Power Factor Correction)



حقوق الطبع والنشر محفوظة للناسر

 دار الراتب الجامعية

© حقوق الطبع والنشر والاقتباس مملوكة لدار الراتب الجامعية
يحظر تصوير جزء أو برنامج من هذا الكتاب، أو تخزينه بأي
وسيلة خزن أو طبع دون الحصول على اذن خطي مهوور وموقع
من ادارة النشر بدار الراتب الجامعية في بيروت

الناشر:

دار الراتب الجامعية : بيروت / لبنان
سلاسل سوفنير

١٩٩٤

ص.ب. ٥٢٢٩ / ١٩ بيروت - لبنان
تلكس: Rateb - LE 43917
تلفون: 317169 - 313923 - 862480

مجموعة كتب
الأسس العلمية والخبرة العملية في الهندسة الكهربائية

الكتاب الرابع

المكتشفات

(تحسين معامل القدرة)
(Power Factor Correction)

د. عبد المنعم موسى

كلية الهندسة
جامعة الإسكندرية


دار الراتب الجامية
DAR EL-RATEB AL-JAMIAH

اهداء

إلى كل مهندس في وطننا العربي

يرنو إلى غدٍ أفضل

مقدمة

إن الهدف الأساسي من وضع هذا الكتاب هو تزويد المهندس بوسيلة واضحة ومباشرة لاستخدام المكثفات في تحسين معامل القدرة في المنظومات الصناعية بصفة عامة. ولقد وَجَدت أن هذا الكتاب هو مجال مناسب لتوضيح مفهوم القدرة المردودة وأسباب تواجدها في الدوائر الكهربائية والفرق بينها وبين القدرة الفعالة. إن مفهوم القدرة المردودة يسبب بعض اللبس لكثير من المهندسين، كما أن المعنى الطبيعي لمعامل القدرة والسبب في ضرورة رفع قيمته من الأمور غير الواضحة في كثير من الأحيان.

يبدأ الكتاب في الباب الأول بإعطاء فكرة سريعة وواضحة عن المكثفات من حيث التكوين والمواد المستعملة في صناعتها. كما يقدم شرحاً وافياً للكميات المرتبطة بعمل المكثف وكذلك طرق الشحن المختلفة. ويحتوي هذا الباب أيضاً على طرق التوصيل والشحن والتفريغ علاوة على أداء المكثف في كل من دوائر التيار الثابت والتيار المتردد.

تم تخصيص الباب الثاني لشرح مفهوم القدرة ومعامل القدرة مع التركيز على القدرة المردودة على أساس تواجدها داخل المكثفات، ثم علاقة ذلك كله بأداء الأجهزة والآلات المختلفة في منظومات القوى الكهربائية. وينتهي الباب بتقديم لفكرة تحسين معامل القدرة والأجهزة المستعملة في ذلك.

يقدم الباب الثالث دراسة عامة لتأثير معامل القدرة على أجهزة الخدمة الرئيسية وهي المولدات والمحولات وخطوط النقل وكابلات التغذية والتوزيع. كما يوجد في هذا الباب دراسة مفيدة لارتباط معامل القدرة بكل من تنظيم

الجهد ومفقودات المنظومة. وينتهي الباب بتقديم شرح وافٍ لطرق حساب مقنن المكثف اللازم لتحسين معامل القدرة بأي كمية مطلوبة.

يهتم الباب الرابع بدراسة موضوع تحسين معامل القدرة في الصناعة، حيث يقدم عرضاً وافياً لخطوات وطرق استخدام المكثفات لتحسين معامل القدرة لكل من المحركات والمحولات مع بيان العوامل والاحتياجات الواجب اعتبارها في هذا الشأن. كما يعطي فكرة سريعة عن تحسين معامل القدرة لكل من الأفران وأجهزة اللحام الكهربائية.

يختص الباب الخامس بمواصفات تركيب المكثفات من حيث الشروط الواجب توافرها في المكثف والموصلات المستخدمة والتجاوزات المسموحة وطرق الحماية والتحكم.

ويحتوي الكتاب على عدد وفير من الجداول المفيدة والتي يمكن استخدامها بصورة مباشرة وبدقة كافية، كما يحتوي الكتاب على عدد من العلاقات ذات الفائدة العملية.

أود أن أشير هنا إلى أنني لم أقصد بوضع هذا الكتاب أن يكون مرجعاً للمكثفات، وإنما الهدف - كما ذكرت - هو أن يكون دليلاً لاستخدام تلك المكثفات في تحسين معامل القدرة. كما راعيت بقدر الإمكان أن يكون الكتاب مناسباً لجميع المهندسين المرتبطة أعمالهم بموضوع تحسين معامل القدرة.

أحمد الله وأسأله التوفيق والقبول. وأشكر زملائي وطلابي الذين شجعوني وشدوا من أزرعي حتى انتهيت من هذا الكتاب ومن سلسلة كتب الأسس العلمية والخبرة العملية في الهندسة الكهربائية. وأقدم شكراً خاصاً للأخ العزيز صاحب ومدير دار الراتب الجامعية الذي كان لحسن تعاونه وتفهمه العميق لصعوبة وثقل عبء هذه الكتب أحسن الأثر في إخراجها.

والحمد لله في الأولى والآخرة.

عبد المنعم موسى

بيروت ١٩٩٣

الفهرس

إهداء	٤
مقدمة	٥
الباب الأول: المكثفات	١١
١ - ١ مقدمة	١١
١ - ٢ التركيب	١٢
١ - ٢ - ١ مادة العزل	١٣
١ - ٣ الكميات والعلاقات الأساسية	١٣
١ - ٣ - ١ سماحية العازل	١٥
١ - ٣ - ٢ الشحنة الكهربائية - الفيض الكهربائي	١٦
١ - ٣ - ٣ فرق الجهد	٢١
١ - ٣ - ٤ سعة المكثف	٢٢
١ - ٤ توصيل المكثفات	٢٣
١ - ٤ - ١ التوصيل على التوالي	٢٣
١ - ٤ - ٢ التوصيل على التوازي	٢٤
١ - ٥ الطاقة المخزنة في المكثف	٢٥
١ - ٦ المكثفات بأكثر من عازل	٢٦
١ - ٧ شحن المكثف	٢٧
١ - ٨ تفريغ المكثف	٣١
١ - ٩ المكثفات في دوائر التيار المتردد	٣٣
١ - ١٠ المفاعلة الحثية	٣٨

الباب الثاني: القدرة ومعامل القدرة ٤٦

- ٤٦ ٢ - ١ مقدمة
- ٤٢ ٢ - ٢ معامل القدرة
- ٤٦ ٢ - ٢ - ١ مثلث القدرة
- ٤٨ ٢ - ٣ تأثير معامل القدرة
- ٤٩ ٢ - ٤ تحسين معامل القدرة
- ٥٢ ٢ - ٥ مصادر القدرة المردودة
- ٥٧ ٢ - ٦ دور المكثفات في تعويض الأحمال

الباب الثالث: تحسين معامل القدرة - دراسة عامة ٥٩

- ٥٩ ٣ - ١ مقدمة
- ٦٠ ٣ - ٢ تأثير معامل القدرة على أجهزة الخدمة
- ٦٠ ٣ - ٢ - ١ تأثير معامل القدرة على المولدات
- ٦٣ ٣ - ٢ - ٢ تأثير معامل القدرة على المحولات
- ٦٥ ٣ - ٢ - ٣ تأثير معامل القدرة على خطوط النقل
- ٦٧ ٣ - ٢ - ٤ تأثير معامل القدرة على كابلات التوزيع
- ٦٧ ٣ - ٣ ارتباط تنظيم الجهد بمعامل القدرة
- ٧٠ ٣ - ٣ - ١ حساب تنظيم الجهد عملياً
- ٧٢ ٣ - ٤ - ١ مفقودات ومعامل القدرة
- ٧٢ ٣ - ٤ - ١ مفقودات القدرة الفعالة
- ٧٨ ٣ - ٤ - ٢ مفقودات القدرة المردودة
- ٨٠ ٣ - ٥ مقارنة بين مصادر تحسين القدرة المردودة
- ٨٦ ٣ - ٦ حساب حجم المكثف
- ٨٦ ٣ - ٦ - ١ طريقة الحساب
- ٨٧ ٣ - ٦ - ٢ الطريقة البيانية
- ٨٨ ٣ - ٦ - ٣ باستخدام الجداول الجاهزة
- ٨٩ ٣ - ٦ - ٤ باستخدام المنحنيات

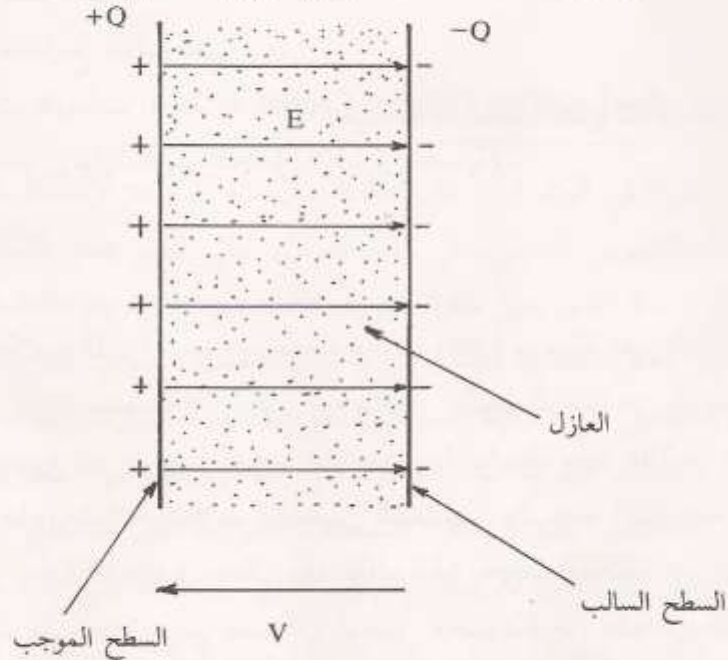
٩٩	الباب الرابع: تحسين معامل القدرة في الصناعة
٩٩	٤ - ١ مقدمة
١٠١	٤ - ٢ تحسين معامل قدرة المحركات
١٠٤	٤ - ٢ - ١ التوصيل الفردي
١١٧	٤ - ٢ - ٢ التوصيل التجميعي
١١٩	٤ - ٢ - ٣ التوصيل المركزي
١٢٠	٤ - ٣ تحسين معامل قدرة المحولات
١٢٤	٤ - ٤ أجهزة اللحام والأفران الكهربائية

١٢٩	الباب الخامس: مواصفات التركيب
١٢٩	٥ - ١ مقدمة
١٢٩	٥ - ٢ الطاقة المختزنة في المكثف
١٣٠	٥ - ٣ الموصلات
١٣٣	٥ - ٤ التجاوزات المسموحة
١٣٤	٥ - ٤ - ١ تجاوز الجهد
١٣٤	٥ - ٤ - ٢ تجاوز درجة الحرارة
١٣٦	٥ - ٤ - ٣ تجاوز التيار
١٣٧	٥ - ٥ الحماية والتحكم
١٤٠	٥ - ٦ الاختيار تبعاً للمواصفات الأمريكية
١٤٣	مراجع الكتاب

المكثفات Capacitors

١.١ مقدمة

يتكون المكثف عادة من أي سطحين معدنيين بينهما فراغ مملوء بالهواء أو بأي مادة عازلة أخرى. عند التأثير بفرق في الجهد بين سطحي المكثف المعدنيين (قطبي المكثف) مقداره V فولت يتولد مجال كهربائي E فولت/متر داخل المادة العازلة كما تظهر شحنتان كهربيتان $(+Q)$ و $(-Q)$ على سطحي المكثف، وتقاس هذه الشحنة بالكولوم. يبين الشكل ١ - ١ هذه الفكرة.



شكل ١ - ١ مكونات وكميات المكثف

إن العمل الأساسي للمكثف هو إمكانية منع مرور التيار الكهربائي تحت ظروف معينة، كما يمكن للمكثف تخزين الطاقة الكهربائية داخل المجال الكهربائي الناشيء بين سطحيه. وقد بدأ استخدام المكثفات في منظومات القوى الكهربائية منذ أكثر من ستين عاماً، واتسع استخدام تلك المكثفات وتنوعت الأغراض من صناعتها لتشمل ما يأتي:

- ١ - تحسين معامل القدرة.
- ٢ - التقويم.
- ٣ - ترشيح التوافقيات.
- ٤ - مكثفات التوالي في خطوط النقل.
- ٥ - حماية التمرور Surge arresters.
- ٦ - تنعيم التيار الثابت.
- ٧ - تكوين الموجات الدفعية في مولدات الدفع impulse generators.
- ٨ - تقسيم الجهد في الدوائر الكهربائية.
- ٩ - مكثفات تخزين الطاقة.
- ١٠ - تشغيل المحركات.
- ١١ - مكثفات مصابيح الفلورسنت.
- ١٢ - المكثفات قارنات الخط Line Coupling Capacitors في أعمال حماية خطوط النقل (توليد التيار الحامل لإشارة الحماية).

٢.١ التركيب

يتكون مكثف القدرة عادة من عدة وحدات Units موصلة على التوازي. يتم تصنيع كل وحدة منفصلة عن باقي الوحدات. تتكون الوحدة من شريحتين من رقائق الألومنيوم يتم عزلهما كهربياً عن بعضهما بواسطة مادة عازلة. ويتم بعد ذلك لف هذه الشرائح الثلاث (القطبين المعدنيين وشريحة المادة العازلة بينهما) لتكوين وحدة المكثف. يمكن بعد ذلك تقليل حجم المكثف عن طريق كبس كل وحدة على حدة. يتم بعد ذلك توصيل مجموعة من هذه الوحدات على التوازي لتكوين المكثف الكلي.

١.٢.١ مادة العزل

استعمل الورق المشبع بزيت المحولات كمادة للعزل داخل المكثفات حتى أواخر الخمسينات من هذا القرن. وعندما ظهرت مادة الأسكاريل Askarel كمادة عازلة غير قابلة للاشتعال تم استخدامها كسائل عزل لورق المكثفات على نطاق واسع. وبحلول عام ١٩٧٥ تأكد تماماً أن تلك المادة تمثل خطراً على البيئة وتم إيقاف إنتاجها في معظم دول العالم. ومع تطور الصناعات الكيماوية وصناعات البتروكيماويات تم إنتاج مواد عزل جيدة يتم استخدامها الآن في المكثفات كمواد عزل صلبة، ولعل أشهر تلك المواد هي رقائق البولي بروبيلين Polypropylene وبعض مواد الغمر العازلة الأخرى التي تُعرف عادة بأسمائها التجارية. وعلى وجه العموم فإن المكثفات الموجودة حالياً في الأسواق يمكن تقسيمها من حيث مواد العزل إلى ما يأتي:

- ١ - مكثفات ذات عوازل مغمورة في سائل غمر Impregnated insulation.
- ٢ - مكثفات جافة ذات عوازل مغطاة بمادة راتنجية ثابتة حرارية thermosetting resin.

٣.١ الكميات والعلاقات الأساسية

ذكرنا في البند ١.١ أن المكثف يمكنه أن يخزن الطاقة الكهربائية داخل المجال الكهربائي الناشئ في مادة العزل. لكي نفهم عمل المكثف نشير إلى الشكل ١ - ٢ الذي يبين دائرة كهربائية تتكون من بطارية مع مكثف ومقاومة على التوالي. تمثل البطارية مصدر الطاقة لتلك الدائرة. بمجرد قفل المفتاح "S" يبدأ التيار الكهربائي في محاولة السريان داخل الدائرة الكهربائية، حيث يتم ذلك على صورة شحنات كهربائية موجبة تتحرك من القطب الموجب للبطارية نحو السطح A من المكثف. وتتراكم تلك الشحنات الموجبة على السطح A نظراً لوجود العازل بين السطحين A و B. يتم في نفس الوقت ما يأتي:

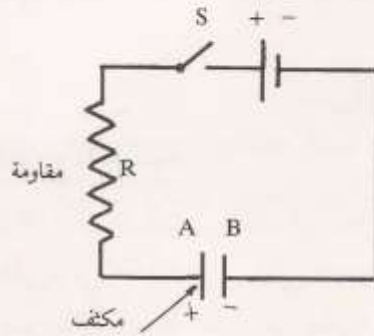
- أ - تتكون شحنات سالبة بالحث الكهروستاتيكي Electrostatic induction على السطح B من المكثف.

ب - يرتفع فرق الجهد بين السطحين المعدنيين A و B مع استمرار تراكم الشحنات الموجبة على السطح A وتكون الشحنات السالبة على السطح B.

ح - يرتفع المجال الكهربائي Electric field بين السطحين A و B مع استمرار ارتفاع فرق الجهد بينهما.

د - تستمر هذه العملية إلى أن يصل فرق الجهد بين السطحين A و B إلى قيمة مساوية لجهد البطارية وعندئذ يتوقف مرور التيار (تراكم الشحنات) وبذلك يكون قد تم شحن المكثف.

إن عملية شحن المكثف بالطريقة السابق توضيحها يحتاج إلى طاقة يتم سحبها من مصدر الطاقة في الدائرة (البطارية)، حيث قد احتاجت تلك العملية إلى فترة زمنية مر فيها تيار كهربائي تم سحبه من البطارية. وتجدر الإشارة هنا إلى أن هذه الطاقة التي تم بها شحن المكثف لم تبديد وإنما تم استخدامها في إنشاء المجال الكهربائي داخل مادة عزل المكثف. ونلاحظ هنا ما يأتي:



شكل ١ - ٢ شحن مكثف بواسطة بطارية

١ - لم نعتبر في الشرح السابق الجزء من الطاقة الذي تبديد أثناء مرور تيار البطارية خلال المقاومة R، حيث أن وجود هذه المقاومة ضروري لحماية المكثف.

٢ - يمكن استرجاع الطاقة المختزنة داخل المكثف عن طريق تفريغ المكثف مثلاً خلال مقاومة.

٣- إن عملية شحن المكثف هي عملية كهربية تشبه عملية ضغط زنبرك Spring في المنظومات الميكانيكية، حيث تحتاج تلك العملية إلى طاقة خارجية يخزنها الزنبرك ويمكن استرجاعها من الزنبرك.

٤- إن المكثف المثالي لا يستهلك الطاقة الكهربية وإنما يخزنها فقط.

٥- تتغير قيمة شدة المجال الكهربي E بتغير فرق الجهد بين طرفي المكثف. وتعتمد صورة العلاقة بين E وفرق الجهد V على شكل المكثف وأبعاده ونوع مادة العازل.

٦- إن ارتفاع قيمة شدة المجال الكهربي هو المسؤول عن حدوث انهيار breakdown كهربي في مادة العزل. وتعرف قيمة أقصى شدة كهربية يمكن للعازل أن يتحملها بالشدة الكهربية للعازل dielectric strength.

ويجب تصميم المكثف بحيث يكون أقصى شدة مجال كهربي يتعرض له عازل المكثف أقل بكثير من الشدة الكهربية له.

١.٣.١ سماحية العازل Dielectric Permittivity

السماحية هي خاصية ترتبط بقدرة العازل على تخزين الطاقة داخل المجال الكهربي الناشئ خلاله. يُرمز للسماحية بالرمز ϵ ، وهي تُعطى عادة كنسبة من سماحية الهواء ϵ_0 على الصورة

$$\epsilon = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \quad (1.1)$$

حيث: ϵ : سماحية العازل المطلقة.

ϵ_0 : سماحية الهواء (أو الفراغ).

ϵ_r : السماحية النسبية للعازل.

تقاس السماحية بالفاراد/متر، وعلى ذلك فإن السماحية النسبية للهواء تساوي الوحدة، أما سماحية الهواء المطلقة ϵ_0 فهي تُعطى بالقيمة:

$$\epsilon_0 = \frac{10^{-9}}{36\pi} = 8.854 \times 10^{-12} \quad \text{farad/meter}$$

يعطي الجدول ١ - ١ قيمةً نمطية للسماحية النسبية لأشهر مواد العزل المستعملة في مجالات الهندسة الكهربية بصفة عامة.

٢.٣.١ الشحنة الكهربائية - الفيض الكهربائي

الشحنة الكهربائية Electric charge هي المصدر الأساسي للمجالات الكهربائية وتنشأ على الجسم بسبب اكتسابه (أو فقدته) الإلكترونات خلال ذراته. وإذا اكتسب الجسم الإلكترونات زائدة فإنه يصبح مشحوناً بشحنة سالبة، أما إذا فقدت ذرات الجسم بعضاً من إلكتروناتها فإن الجسم يصبح مشحوناً بشحنة موجبة. يتم شحن الجسم عادة بإحدى الطرق الآتية:

- ١ - الاحتكاك.
- ٢ - الحث الكهروستاتيكي Electrostatic induction.
- ٣ - الشحن الكهربائي.
- ٤ - بعض العمليات الكهروكيميائية.

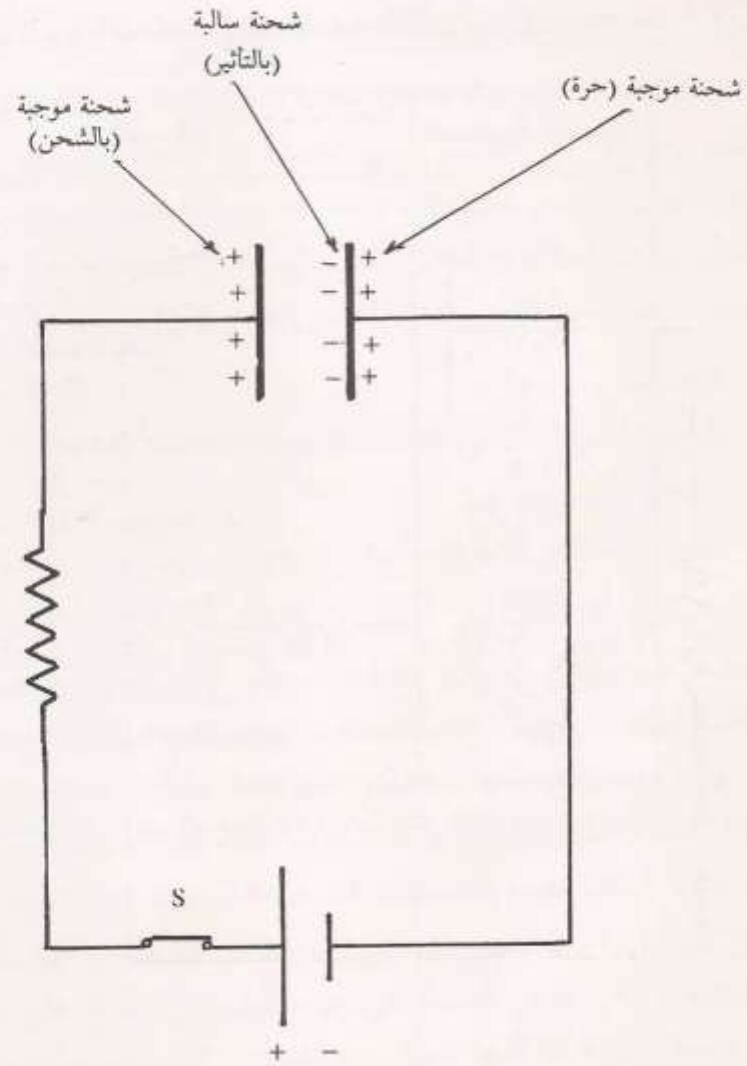
تتكون الشحنات على أقطاب المكثفات عادة عن طريق الشحن الكهربائي لأحد القطبين (بتوصيله على الطرف الموجب لبطارية مثلاً) فيتكون على هذا القطب شحنات موجبة. هذه الشحنات الموجبة تجذب شحنات سالبة مساوية لها عن طريق الحث الكهروستاتيكي على القطب الآخر للمكثف. ويتم توصيل هذا القطب عادة بالأرض حيث تتسرب الشحنات الموجبة من عليه وتظل الشحنات السالبة مقيدة بالشحنات الموجبة الموجودة على القطب الموجب. يبين الشكل ١ - ٣ تتابع هذه العملية. تقاس الشحنة الكهربائية بالكولوم Coulomb، وهي مقدار الشحنة التي حينما توضع في الفراغ على بعد متر واحد من شحنة مشابهة لها تماماً تتولد بين الشحنتين قوة تنافر مقدارها 9×10^9 نيوتون. ونلاحظ أن وحدة الكولوم هي وحدة أساسية مثل وحدات الزمن والمسافة والكتلة أي أنها ليست وحدة مستنتجة.

والمجال الكهربائي هو المنطقة المحيطة بالجسم المشحون التي يظهر فيها تأثير هذه الشحنة. ويظهر هذا التأثير على شكل قوة تجاذب أو تنافر على أي شحنة كهربائية توضع في هذا المجال. ويتم تحديد المجال الكهربائي بفرض شكل تخطيطي يبين اتجاهات هذه القوى، ويسمى هذا الشكل بخطوط القوى Lines of force. واتجاه قوة المجال عند أي نقطة هو اتجاه المماس لخط القوة

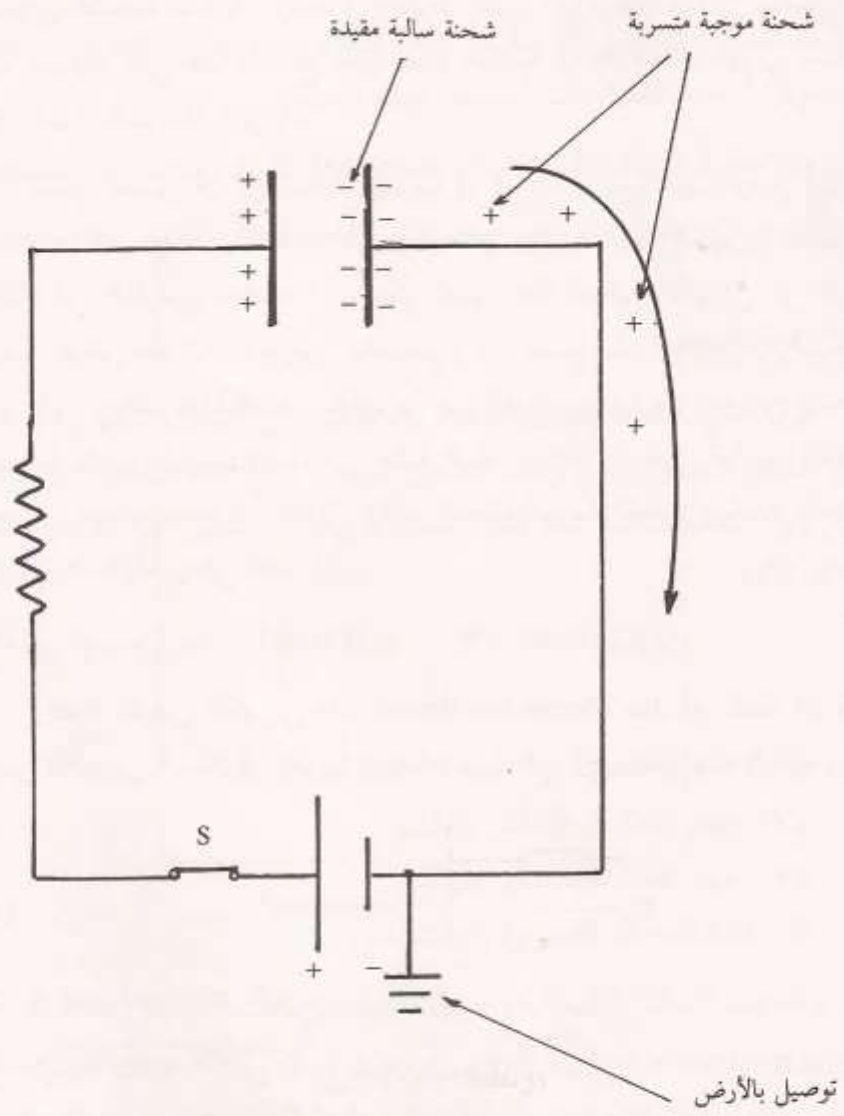
جدول ١ - ١ السماحية النسبية للمواد الكهربية العازلة^(*)

المادة	السماحية النسبية
١ - الهواء	١,٠٠
٢ - السيراميك	٣٠٠٠
٣ - الزجاج	٧,٠٠
٤ - الزيت المعدني	٢,١٣
٥ - المايكا	٦,٥٠
٦ - البولي بروبيلين	٢,٢٥
٧ - البولي ستر	٢,٩
٨ - الورق المشبع بالزيت	٣,٨ - ٣,٣٣
٩ - البولي فينايل كلورايد PVC	٧ - ٥
١٠ - البولي إيثيلين PE	٢,٣٥
١١ - البولي إيثيلين التشابكي XLPE	٥,٢ - ٢,٣
١٢ - المطاط السيليكوني	٣,٥ - ٢,٩
١٣ - الورق المشبع بالأسكاريل	٦,٥

* المواد من ١ إلى ٨ هي المستعملة عادة في المكثفات



شكل ١ - ٣ - ١ تكون الشحنات على لوحى المكثف
(لحظة توصيل المفتاح)



شكل ١ - ٣ - ب تسرب الشحنة الموجبة الحرة
(خلال الأرض أو البطارية)

عند هذه النقطة. كما أن خطوط القوى تنبع دائماً من الشحنة الموجبة وتدخل دائماً إلى الشحنة السالبة. وتخترق خطوط القوى أي سطح معدني موصل في اتجاه عمودي على هذا السطح نظراً لعدم إمكانية تواجد مجال كهربائي ساكن خلال المواد الموصلة كهربياً.

يمكن تصور أن أي شحنة كهربية Q كولوم يفيض عنها فيض كهربائي Electric flux مساوٍ عددياً لمقدار تلك الشحنة، ويرمز للفيض الكهربائي بالرمز Ψ ووحدته هي الفارادي Faraday. ويمكن تصور هذا الفيض الكهربائي عن طريق تشبيهه بفيض ماء ثابت يفيض باستمرار من منبع لذلك الماء (الشحنة الكهربائية). ويتنشر هذا الفيض الكهربائي في الفراغ بمجرد خروجه من الشحنة الكهربائية داخل أنابيب (كما في حالة الماء تماماً)، تسمى أنابيب الفيض الكهربائي Tubes of electric flux. وتقدر شحنة أنبوبة الفيض بمقدار الفيض الكهربائي داخلها. وعلى ذلك فإن:

$$Q \text{ (Coulomb)} = \Psi \text{ (Farady)} \quad (1.2)$$

وكثافة الفيض الكهربائي Electric flux density (D) عند أي نقطة هو قيمة الفيض الكهربائي المخترق عمودياً لوحدة المساحات المحيطة بهذه النقطة، أي أن:

$$D = \frac{Q}{A} = \frac{\Psi}{A} \quad \text{Coulomb/m}^2 \quad (1.3)$$

حيث A المساحة بالمتري المربع.

ترتبط كثافة الفيض D مع شدة المجال الكهربائي E عند أي نقطة في المجال الكهربائي بالعلاقة الآتية:

$$\bar{D} = \epsilon \bar{E} \quad (1.4)$$

حيث ϵ هي سماحية الوسط المطلقة عند هذه النقطة. ويتم تعريف شدة المجال الكهربائي عادة بإحدى الطريقتين الآتيتين:

١ - شدة المجال الكهربائي E عند أي نقطة تساوي مقدار القوة المؤثرة على

شحنة نقطية موجبة Positive point charge مقدارها كولوم واحد موضوعة عند تلك النقطة.

٢ - شدة المجال الكهربائي E عند أي نقطة تساوي عدد خطوط القوى المخترقة عمودياً لوحدة المساحات المحيطة بهذه النقطة.

ونلاحظ أننا يمكننا استنتاج أن عدد خطوط القوى الناتج عن شحنة Q هو $\frac{Q}{\epsilon}$ (وذلك باستخدام التعريف الثاني لشدة المجال الكهربائي).

٣.٣.١ فرق الجهد

فرق الجهد Potential difference بين نقطتين في المجال الكهربائي يساوي عددياً الشغل المبذول على وحدة الشحنة الموجبة لنقل تلك الشحنة من النقطة الأولى إلى النقطة الثانية ضد قوة المجال. ويمكن التعبير عن ذلك رياضياً بالعلاقة الآتية:

$$V_{A-B} = V_A - V_B = \int_B^A -\vec{E} \cdot d\vec{r} \quad \text{volts.} \quad (1.5)$$

حيث: V_{A-B} : فرق الجهد بين نقطة B ونقطة A (فولت).

V_A : جهد نقطة A المطلق (فولت)

V_B : جهد نقطة B المطلق (فولت).

\vec{E} : شدة المجال الكهربائي (فولت/متر).

والجهد المطلق لنقطة هو فرق الجهد بين تلك النقطة ونقطة أخرى قياسية يؤخذ جهدها مساوياً للصفر. وتؤخذ هذه النقطة عملياً على سطح الأرض. وعلى ذلك فإن جهد الأرض دائماً يكون مساوياً للصفر بصرف النظر عن مقدار الشحنات الكهربائية الداخلة أو الخارجة من الأرض. إن معنى هذا أن للأرض خاصية طبيعية أساسية وهي قدرتها على استقبال أو إرسال أي شحنة كهربائية دون أن يتغير جهدها عن الصفر. إن ذلك يرجع إلى اعتبار أن الأرض جسم موصل لانتهائي الحجم من الناحية العملية. تبعاً لما سبق فيمكن اعتبار القاعدة الأساسية التالية:

«عند توصيل أي جسم موصل بالأرض فإن جهد هذا الجسم يكون حتماً مساوياً للصفر، إلا أن الشحنة الكهربائية الموجودة على هذا الجسم لا تكون بالضرورة مساوية للصفر، وإنما تأخذ هذه الشحنة توزيعاً معيناً وقيمة معينة بحيث يتمشى هذا مع شرط انعدام جهد الجسم المؤرض».

إن هذه الخاصية قد دعت المهندسين إلى الاستفادة منها عن طريق تأريض الأجزاء المعدنية للأجهزة والآلات الكهربائية التي تكون معرضة للمس بواسطة الإنسان وذلك لضمان جعل جهد هذه الأجزاء مساوياً للصفر وعدم تعرض من يلمسها للصدمات الكهربائية. إن هذه العملية تعرف باسم التأريض الوقائي Protective Grounding.

٤.٣.١ سعة المكثف

سعة المكثف (C) Capacitance هي مقياس لقدرة المكثف على تخزين الشحنة على سطحه عند فرق جهد معين بين هذين السطحين. ويمكن تبعا لهذا كتابة العلاقة الآتية:

$$Q = CV \quad (1.6)$$

حيث: Q: الشحنة على سطحي المكثف (كولوم).

V: فرق الجهد بين سطحي المكثف (فولت).

C: سعة المكثف (فاراد).

ووحدة السعة هي الفاراد وهو يساوي الشحنة اللازمة لتوليد فرق جهد مقداره فولت واحد بين سطحي المكثف، أي أن:

$$1 \text{ Farad} = 1 \text{ Coulomb/volt} \quad (1.7)$$

والكولوم وحدة كبيرة من الناحية العملية، وكذلك الفاراد. وعلى ذلك فإن الوحدة العملية المستخدمة في قياس السعة هي الميكروفاراد حيث:

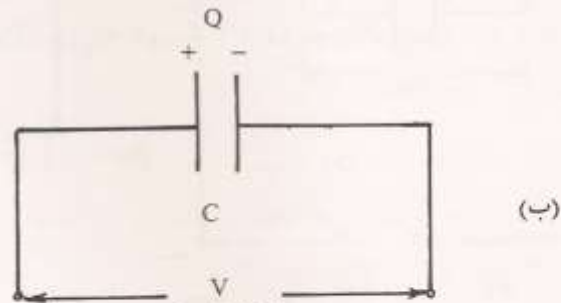
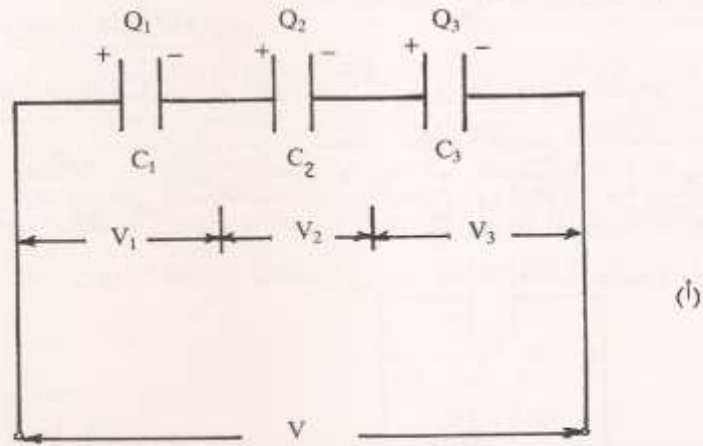
$$1\mu F = 1 \text{ micro farad} = 10^{-6} F \quad (1.8)$$

٤.١ توصيل المكثفات

يمكن زيادة مقدار الشحنة المخزنة عن طريق توصيل مكثفين أو أكثر على التوازي. ويمكن زيادة فرق الجهد بين طرفي دائرة معينة عن طريق توصيل مكثفين أو أكثر على التوالي، وذلك على النحو التالي:

١.٤.١ التوصيل على التوالي

عند توصيل مكثفين أو أكثر على التوالي تتساوى الشحنات الموجبة والسالبة على جميع أسطح المكثفات كما هو مبين بالشكل ١ - ٤، ويمكن بذلك كتابة العلاقات الآتية:



شكل ١ - ٤
١ - التوصيل على التوالي
ب - الدائرة المكافئة

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

$$\frac{Q}{C} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3}$$

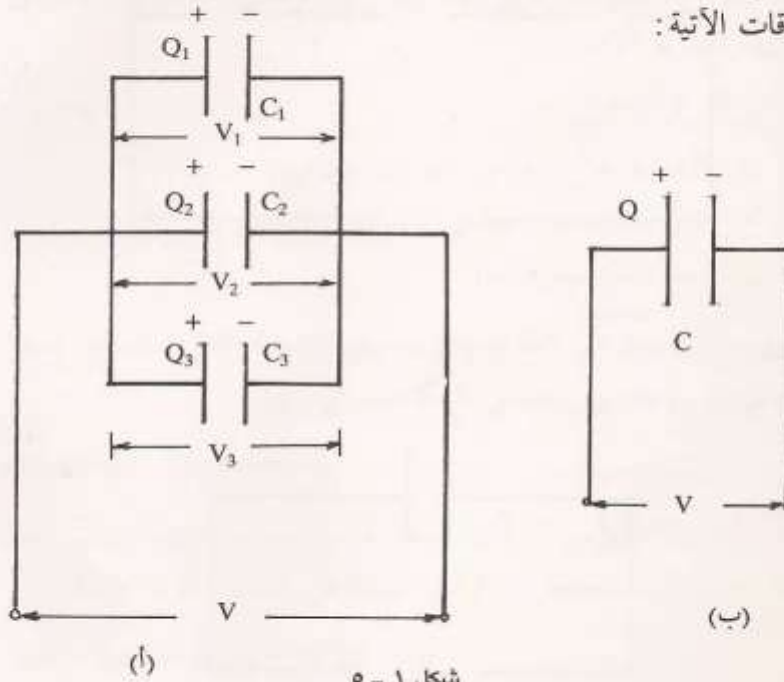
$$\therefore \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

حيث C هي السعة المكافئة للثلاثة مكثفات. ولعدد n من المكثفات الموصلة على التوالي فإن السعة المكافئة لها تعطى بالعلاقة.

$$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i} \quad (1.9)$$

٢.٤.١ التوصيل على التوازي

عند توصيل مكثفين أو أكثر على التوازي فإن جهد الطرفين لجميع المكثفات يكون متساوياً بينما تكون الشحنة الكلية لجميع المكثفات مساوية لمجموع الشحنات على المكثفات كلها. بالرجوع إلى شكل ١ - ٥ يمكن كتابة العلاقات الآتية:



شكل ١ - ٥

١ - التوصيل على التوازي

ب - الدائرة المكافئة

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$V = V_1 = V_2 = V_3$$

$$\therefore CV = C_1V + C_2V + C_3V$$

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

حيث Q هي الشحنة على المكثف المكافئ للمكثفات الثلاثة. ولعدد n من المكثفات الموصلة على التوازي فإن السعة المكافئة لها تعطى بالعلاقة:

$$C = \sum_{i=1}^n C_i \quad (1.10)$$

٥.١ الطاقة المختزنة في المكثف

ذكرنا في البند ١ - ١ أن المكثف يمكنه أن يخزن طاقة كهربية داخل المجال الكهربائي الناشئ في العازل بين سطحيه. وهذه الطاقة يكتسبها المكثف أثناء عملية شحنه كما سبق توضيحه في البند ١ - ٣. لحساب مقدار هذه الطاقة المختزنة نفرض أن فرق الجهد بين لوحي المكثف هو v . الشغل المبذول لإضافة شحنة dq على لوحي المكثف هو dw ، حيث:

$$dw = v dq$$

$$q = Cv$$

$$dq = C dv$$

$$\therefore dw = C dv$$

حيث dw يعطي الشغل الخارجي المبذول لرفع فرق الجهد بين لوحي المكثف من v إلى $(v + dv)$. وعلى ذلك فلرفع فرق الجهد على المكثف من الصفر إلى V فإن:

$$W = \int dw = \int_0^V C dv$$

$$\therefore W = \frac{1}{2} CV^2 \quad (1.11)$$

يتبين من المعادلة (1.11) أن سعة المكثف تعطي مقياساً لقدرة هذا المكثف على اختزان الطاقة الكهربائية داخله.

٦.١ المكثفات بأكثر من عازل

بالرجوع إلى المعادلتين (1.3) و (1.4) يمكن كتابة العلاقة الآتية :

$$E = \frac{Q}{\epsilon A} \quad (1.12)$$

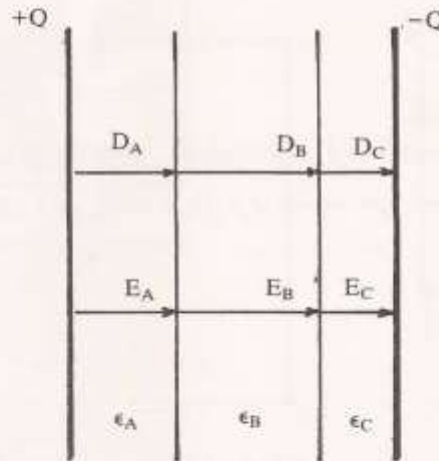
تسري المعادلة (1.12) في حالة مكثف متوازي السطحين Parallel-Plate Capacitor . يبين الشكل ٦ - ١ مكثفاً متوازي السطحين يتكون من ثلاثة عوازل مختلفة . يمكن تبعاً لذلك كتابة العلاقات الآتية :

$$D_A = D_B = D_C = \frac{Q}{A} \quad (1.13)$$

$$E_A = \frac{Q}{\epsilon_A A} \quad (1.14)$$

$$E_B = \frac{Q}{\epsilon_B A} \quad (1.15)$$

$$E_C = \frac{Q}{\epsilon_C A} \quad (1.16)$$



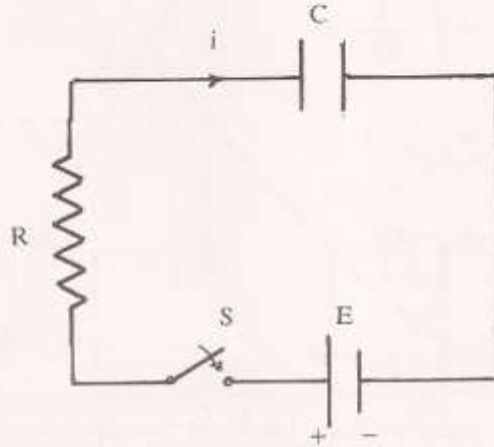
شكل ٦ - ١ مكثف متوازي السطحين بثلاثة عوازل

أي أن شدة المجال الكهربائي داخل العازل تتناسب عكسياً مع سماحية هذا العازل. ويمكن اعتبار تلك القاعدة حقيقة عامة في جميع المكثفات. ويتم الاستفادة من هذه القاعدة في صناعات مكثفات الجهد العالي بصفة خاصة، حيث يمكن استخدام مواد عازلة بسماحية منخفضة وشدة كهربية عالية مع مواد عازلة بسماحية أكبر وشدة كهربية منخفضة نسبياً.

٧.١ شحن المكثف

يمكن شحن المكثف باستخدام دائرة كالمبينه بالشكل ١ - ٧. عند توصيل المفتاح (S) يمر المكثف بفترة عابرة transient period حتى تنتهي عملية الشحن. نفرض أنه كانت توجد شحنة q_0 على لوح المكثف لحظة قفل المفتاح، أي أنه:

$$\text{At } t = 0 \quad , \quad q_0 = CV_0$$



شكل ١ - ٧ دائرة شحن مكثف ببطارية

حيث V_0 جهد المكثف قبل التوصيل. عند أية لحظة تالية (t) فإن الشحنة q على المكثف هي:

$$q = CV$$

حيث V هو فرق الجهد بين لوح المكثف عند هذه اللحظة.

التيار المار في الدائرة عند أية لحظة هو معدل زيادة الشحنة على المكثف بالنسبة للزمن، أي أن التيار i هو:

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{d}{dt} (CV)$$

$$= C \frac{dV}{dt}$$

ومن معادلة الدائرة نجد أن:

$$E = iR + V$$

$$E = RC \frac{dV}{dt} + V$$

ثم نجري التكامل للمعادلة الأخيرة من لحظة قفل المفتاح ($t = 0$) إلى أية لحظة تابعة (t) كما يأتي:

$$\int_{V_0}^V \frac{dV}{E - V} = \int_0^t \frac{1}{RC} dt$$

$$- \left\{ \ln (E - V) \right\}_{V_0}^V = \frac{1}{RC} t$$

$$\frac{E - V}{E - V_0} = e^{-(t/RC)}$$

ومنها ينتج أن:

$$V = E (1 - e^{-t/RC}) + V_0 e^{-t/RC} \quad (1.17)$$

وإذا كان المكثف غير مشحون لحظة قفل المفتاح تصبح المعادلة (1.17) كما يأتي ($V_0 = 0$):

$$V = E (1 - e^{-t/RC}) \quad (1.18)$$

وللحصول على تيار الدائرة

$$i = \frac{E - V}{R}$$

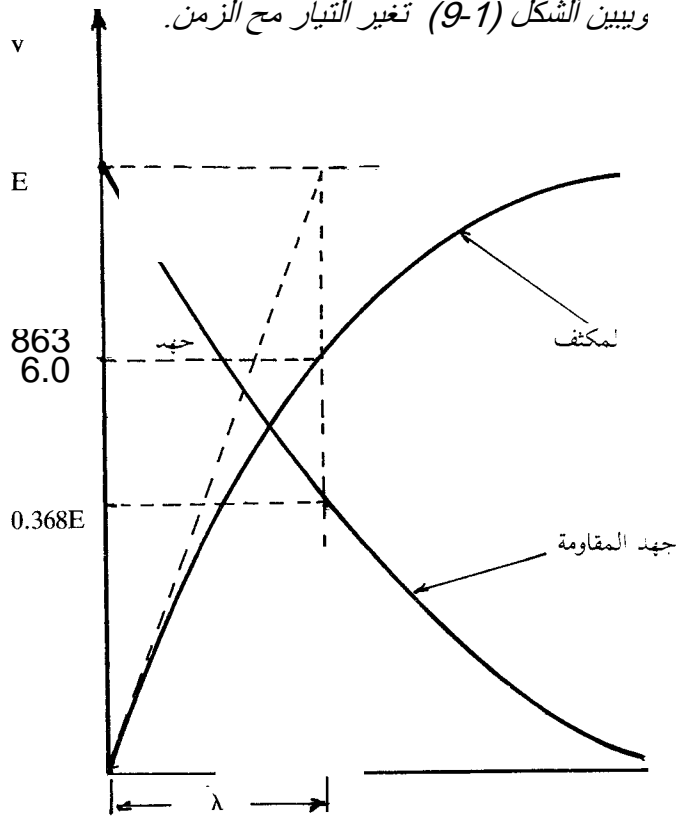
$$= \frac{1}{R} [E - E (1 - e^{-t/RC})]$$

H

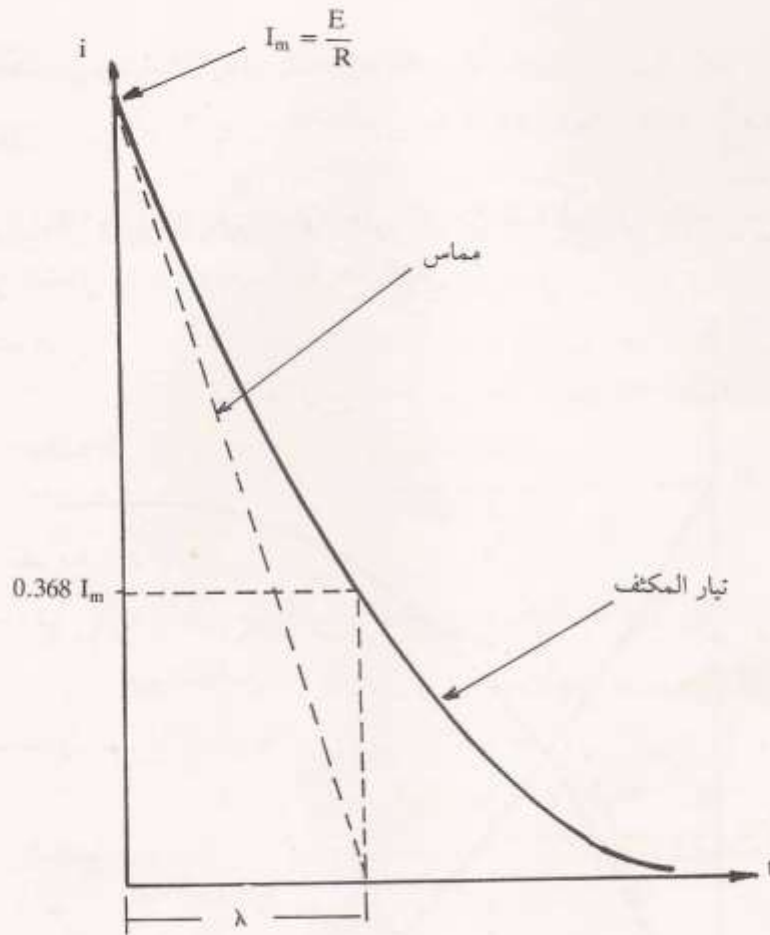
$$i = \frac{E}{R} e^{-t/RC} \dots$$

يبين الشكل (8-1) تغيير الجهد على كل من المقاومة
والمكثف مع الزمن

ويبين الشكل (9-1) تغيير التيار مع الزمن.



نكل ٨ _ ٨تغير جهدي الصكت والمقاوما مع الن من



شكل ١ - ٩ تغير تيار الدائرة مع الزمن

الكمية (RC) تُعرف باسم الثابت الزمني Time constant للدائرة (λ)، وهي تعطي قيمة الزمن الذي يصل عنده التيار إلى نسبة (1/e = 0.368) من قيمته الابتدائية، أي أن:

$$\text{At } t = RC = \lambda$$

$$i = I_{\max} e^{-1}$$

$$i = 0.368 I_{\max}$$

وعند هذه اللحظة فإن قيمة الجهد على المكثف تصبح:

$$V_{\lambda} = E (1 - e^{-1})$$

$$= 0.632E$$

نلاحظ مما سبق ما يأتي :

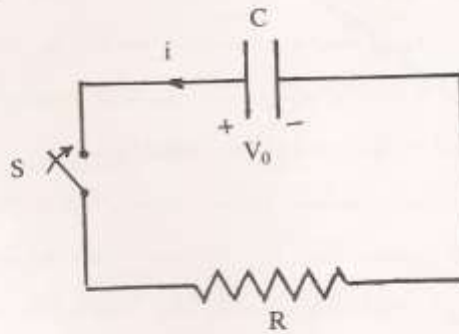
- ١ - يعمل المكثف كدائرة مغلقة عند لحظة قفل الدائرة إذا كان غير مشحون من قبل (at $t = 0, V = 0$) ويكون التيار أكبر ما يمكن في تلك اللحظة.
- ٢ - يعمل المكثف كدائرة مفتوحة للتيار الثابت المستقر، أي أنه بعد مرور الفترة العابرة لا يسمح المكثف بمرور التيار الثابت أي أنه (at $t = \infty, i = 0$).
- ٣ - تهبط قيمة التيار إلى ٨,٣٦٪ من قيمته الابتدائية بعد مرور زمن يساوي الثابت الزمني من لحظة قفل الدائرة. ويرتفع الجهد على المكثف عند هذه اللحظة إلى ٢,٦٣٪ من قيمته النهائية العظمى.

٨.١ تفريغ المكثف

إذا تم توصيل المكثف المشحون على مقاومة خلال دائرة مغلقة فإن المكثف يفرغ الطاقة المخزنة فيه خلال المقاومة التي تستهلك بدورها تلك الطاقة وتحولها إلى طاقة حرارية. بالرجوع إلى الدائرة الموضحة بالشكل (١ - ١٠)، وبفرض أن جهد المكثف كان (V_0) عند لحظة قفل المفتاح (S)، وبكتابة معادلة الدائرة كما سبق نحصل على ما يأتي عند أية لحظة t بعد قفل المفتاح:

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{dV}{dt}$$

$$iR + V = 0$$



شكل ١ - ١٠ دائرة تفريغ المكثف

$$RC \frac{dV}{dt} + V = 0$$

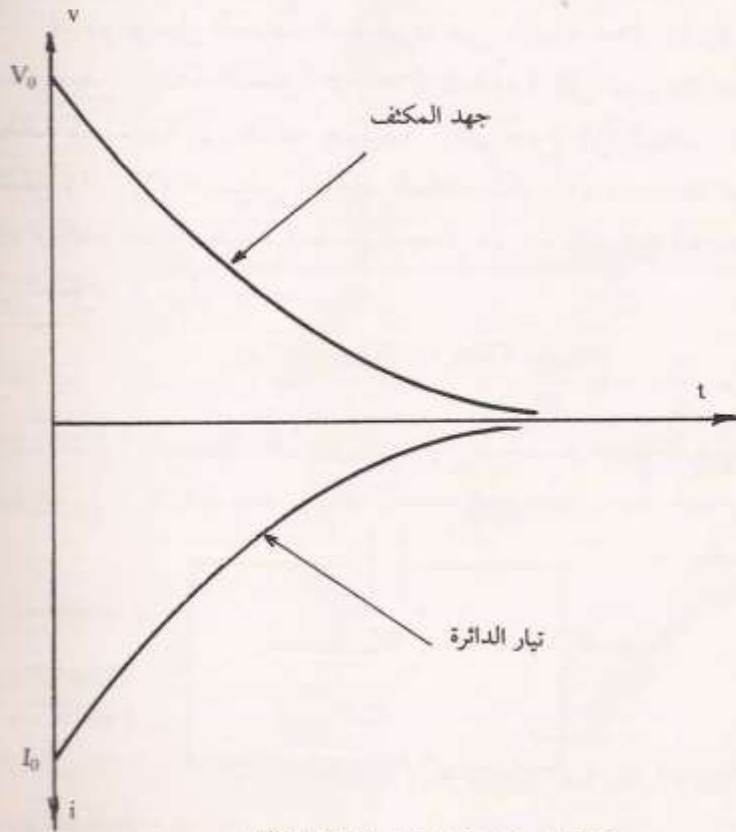
$$\int_{V_0}^V \frac{dV}{V} = - \int_0^t \frac{1}{RC} dt$$

$$\ln \frac{V}{V_0} = - \frac{t}{RC}$$

$$V = V_0 e^{-t/RC} = V_0 e^{-t/\lambda} \quad (1.20)$$

$$i = \frac{V}{R} e^{-t/\lambda} \quad (1.21)$$

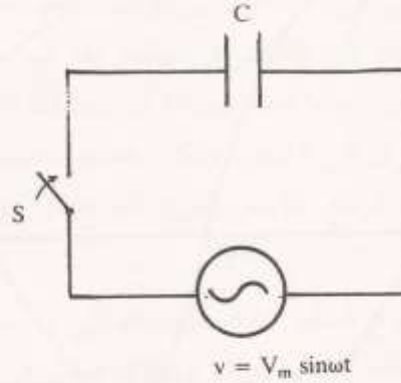
يبين الشكل ١ - ١١ تغير جهد المكثف و تيار الدائرة مع الزمن.



شكل ١ - ١١ جهد و تيار تفريغ المكثف

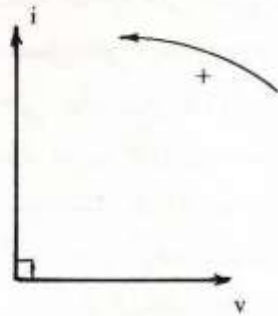
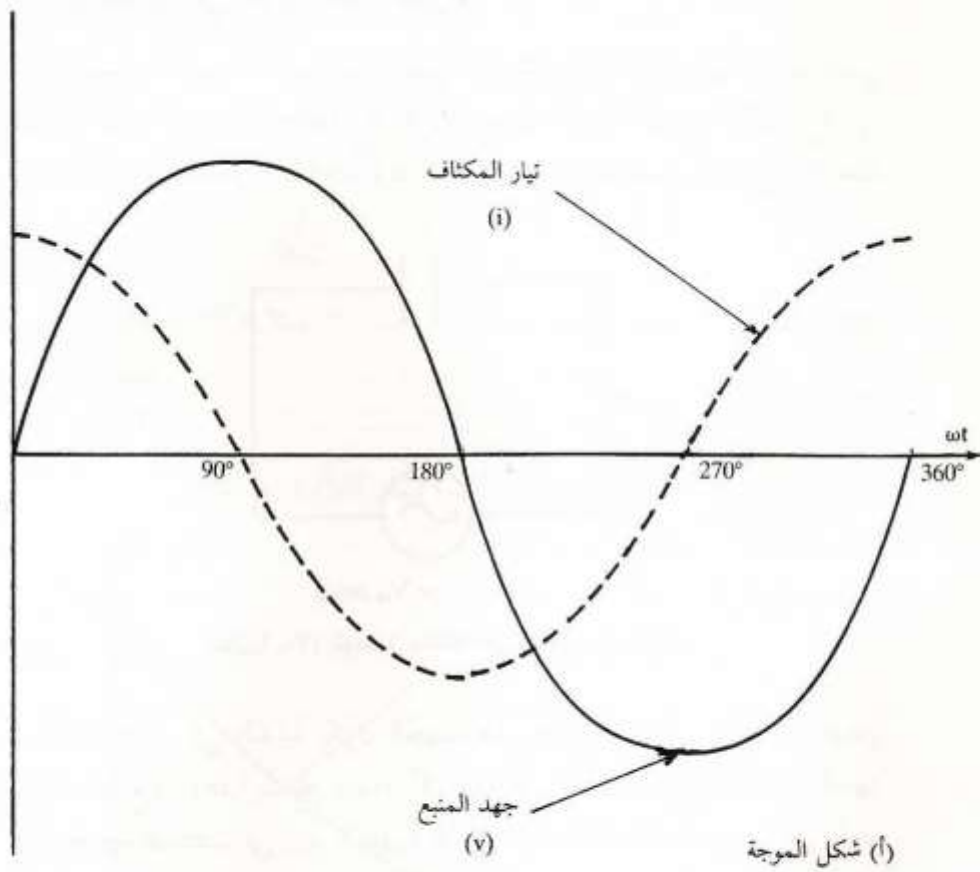
٩.١ المكثفات في دوائر التيار المتردد

تعمل معظم مكثفات القوى على دوائر تيار متردد بجهد منبع جيبي الموجة على الصورة $(v = V_m \sin 2\pi ft)$ ، حيث f تردد المنبع. بالرجوع إلى الدائرة المبينة بالشكل ١-١٢، وبفرض أنه قد تم توصيل المفتاح (S) عند



شكل ١-١٢ توصيل مكثف على مصدر جهد متردد

لحظة $(t = 0)$. في البداية يكون الجهد على طرفي المكثف مساوياً للصفر (جهد المنبع)، وهذا يسمح بمرور أكبر تيار في المكثف. وبزيادة فرق الجهد على طرفي المكثف في ربع الدورة الأولى تزداد الشحنة الموجبة على أحد اللوحين وكذلك الشحنة السالبة على اللوح الآخر، حيث يزداد فرق الجهد على طرفي المكثف مما يعمل على زيادة معاوقة المكثف لمرور التيار من خلاله. تستمر هذه الحالة حتى نهاية ربع الدورة الأولى حيث يصل الجهد إلى أقصى قيمة له ويكون معدل تغيره الزمني مساوياً للصفر في تلك اللحظة عند $(2\pi ft = \frac{\pi}{2})$. ينتج تبعاً لذلك أن يكون تيار المكثف مساوياً للصفر في تلك اللحظة (لاحظ أن $i = C \frac{dv}{dt}$). وعندما يبدأ جهد المنبع في التناقص مع بداية ربع الدورة الثاني فإن تيار المكثف يعكس اتجاهه (لأن معدل زيادة الجهد سالب في تلك الفترة) ويستمر ذلك إلى أن يصل جهد المنبع إلى الصفر في نهاية ربع الدورة الثاني، حيث يكون معدل تغير الجهد أكبر ما يمكن وكذلك قيمة التيار تكون عند أقصى قيمة لها. وتكرر هذه العملية في الربعين الثالث والرابع كما هو موضح بالشكل ١-١٣.



(ب) تمثيل المتجهات

شكل ١ - ١٣ جهد وتيار المكثف

نلاحظ من الشرح السابق أنه عند لحظة انتهاء ربع الدورة الأول يكون المكثف قد اكتسب أقصى جهد له (V_m). ينتج عن ذلك أن يكون هذا المكثف قد اكتسب طاقة من المنبع مقدارها ($\frac{1}{2}CV_m^2$) وذلك تبعاً للمعادلة (11 - 1). وتجدر الإشارة هنا إلى أن تلك الطاقة لم تتبدد وإنما هي طاقة اختزنها المكثف داخل المجال الكهربائي في مادة العزل بين لوحيه. ومع انخفاض الجهد في ربع الدورة الثاني ووصوله إلى الصفر في نهاية هذا الربع يصبح الجهد على المكثف مساوياً للصفر، وهذا معناه ببساطة أن المكثف قد فقد الطاقة المخزنة داخله وأعادها مرة أخرى إلى المنبع. وتكرر عملية سحب الطاقة وإرجاعها بين المكثف والمنبع في الربع الثالث والربع الرابع من دورة الموجة الجيبية للجهد.

نستنتج من الشرح السابق أن المكثف المثالي لا يستهلك طاقة من المنبع وإنما يخزن هذه الطاقة من المنبع ثم يردّها له مرتين في كل دورة من دورات موجة الجهد.

يمكننا الآن بيان الشرح السابق باستخدام المعادلات الخاصة بالدوائر وذلك على النحو الآتي:

جهد المنبع:

$$v = V_m \sin \omega t \quad (\omega = 2\pi f)$$

تيار الدائرة

$$i = C \frac{dv}{dt}$$

$$= V_m \omega C \cos \omega t$$

أي أن

$$i = I_m \cos \omega t$$

$$= I_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

حيث

$$I_m = V_m \omega C \quad (1.22)$$

$$I_m = \frac{V_m}{(1/\omega C)} = \frac{V_m}{X_c} \quad (1.23)$$

حيث X_c هي المفاعلة السعوية capacitive reactance للمكثف.

$$X_c = \frac{1}{\omega C} \quad \text{Ohms.} \quad (1.24)$$

وباستخدام المؤثر $(j = 1 \angle 90^\circ)$ المعروف في دوائر التيار المتردد فإننا نحصل على ما يأتي:

$$i = j\omega C v$$

$$= j \frac{v}{X_c} = \frac{v}{-jX_c} \quad (1.25)$$

أي أن تيار المكثف يسبق leads الجهد الواقع عليه بزاوية طور، phase angle مقدارها 90° . ويتم تمثيل ذلك اتجاهياً كما هو موضح بالشكل ١-١٣.

القيمة اللحظية للقوة p تُعطى من العلاقة.

$$p = vi = V_m \cdot I_m (\sin \omega t) \cdot (\cos \omega t)$$

وبتكامل المعادلة السابقة على مدى دورة كاملة للحصول على الطاقة (W) المسحوبة من المنبع بواسطة المكثف نجد أن:

$$W = \int_0^{2\pi/\omega} p \cdot dt$$

$$= \int_0^{2\pi/\omega} V_m \cdot I_m \cdot (\sin \omega t) \cdot (\cos \omega t) \cdot dt$$

$$= 0$$

أي أن معدل استهلاك المكثف للطاقة يساوي الصفر على مدى دورة كاملة، وهو ما تبين لنا من الشرح السابق.

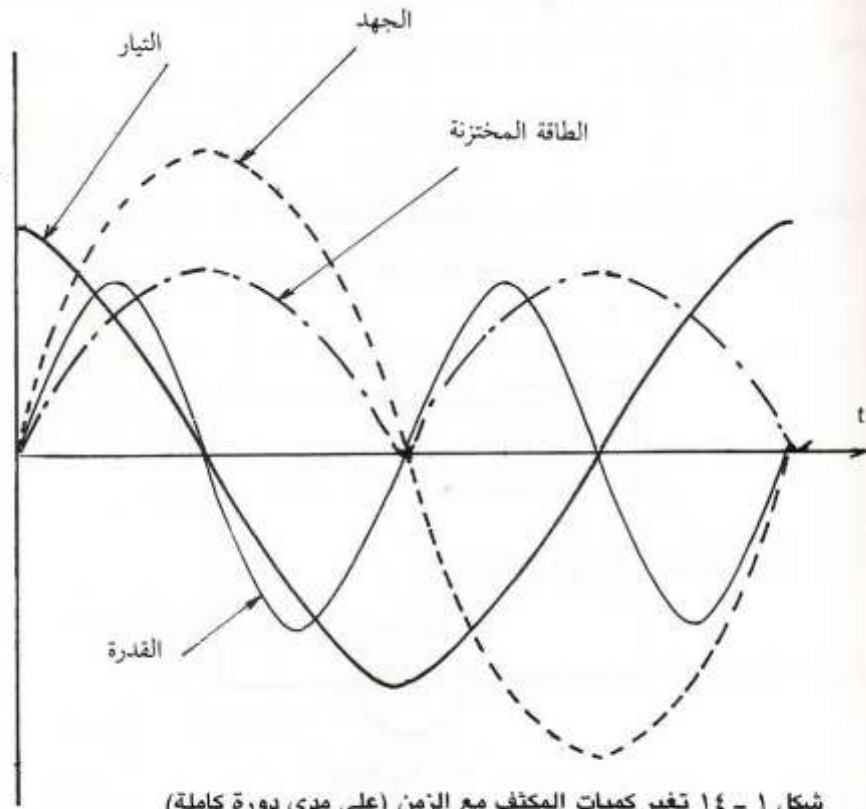
تجدر الإشارة هنا إلى القيمة اللحظية للقوة في المكثف تصل إلى

أقصى ما يمكن. وهذه القيمة القصوى تحدث عند اللحظة $(\sin 2\omega t = 1)$ ،
وعندها.

$$P_{\max} = \frac{V_m \cdot I_m}{2}$$

$$= V \cdot I \quad (1.26)$$

حيث (I) هي القيمة الفعالة للتيار و (V) هي القيمة الفعالة للجهد. يبين
الشكل ١ - ١٤ تغير كل من القيمة اللحظية للقدرة والطاقة المخزنة داخل
المكثف على مدى دورة كاملة.



شكل ١ - ١٤ تغير كميات المكثف مع الزمن (على مدى دورة كاملة)

١٠.١ المفاعلة الحثية

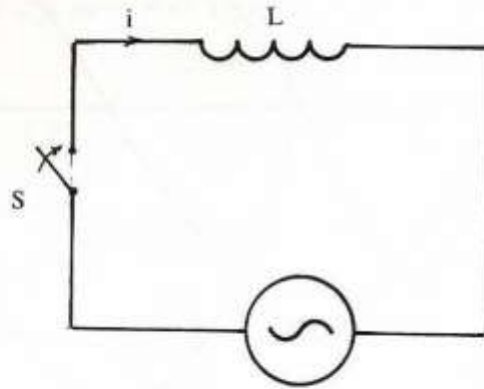
نظراً لأهمية تأثير المفاعلات الحثية inductive reactances على عمل المكثف فإننا سنورد في هذا البند ملخصاً لتصرف المفاعلات الحثية في الدوائر الكهربائية، دون الخوض في التفاصيل. ويمكن الرجوع لمزيد من التفصيل إلى كتب الدوائر الكهربائية.

تنشأ المفاعلة الحثية في الدوائر الكهربائية عادة نتيجة لتواجد مجال مغناطيسي مرتبط بتيار كهربائي. ومحاثة inductance الدائرة (L) هي النسبة بين الفيض المغناطيسي (Φ) والتيار المسبب لهذا الفيض (i). وعند مرور تيار (i) في محاثة فإنه يتولد على طرفي تلك المحاثة فرق في الجهد (v) يعطى بالعلاقة:

$$v = L \frac{di}{dt} \quad (1.27)$$

وتقاس (L) بالهنري.

بالرجوع إلى الدائرة المبينة بالشكل ١ - ١٥، وباتباع نفس الخطوات المطبقة على دائرة المكثف في التيار المتردد فإننا نحصل على ما يأتي:



$$v = V_m \sin \omega t$$

شكل ١ - ١٥ توصيل محاثة على مصدر جهد متردد

$$v = V_m \sin \omega t$$

$$i = \frac{V_m}{\omega L} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right)$$

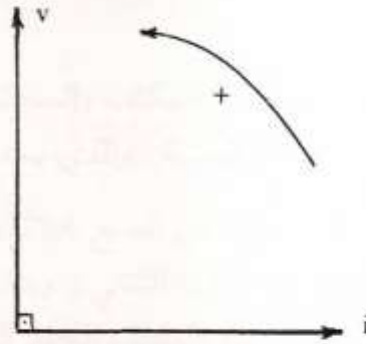
$$i = I_m \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right)$$

$$I_m = \frac{V_m}{\omega L} = \frac{V_m}{X_L} \quad (1.28)$$

حيث (X_L) هي المفاعلة الحثية inductive reactance . ومنها ينتج :

$$i = \frac{v}{jX_L} \quad (1.29)$$

أي أن تيار المحاثية يتأخر lags عن الجهد بين طرفيها بزاوية طور مقدارها 90° ، ويتم تمثيل ذلك اتجاهياً كما هو مبين بالشكل ١ - ١٦ .



شكل ١ - ١٦ جهد وتيار المحاثية اتجاهياً

القيمة اللحظية للقدرة p هي :

$$p = vi = V_m \cdot I_m (\sin \omega t) (\cos \omega t).$$

والطاقة المسحوبة على مدى دورة كاملة W هي :

$$W = \int_0^{2\pi/\omega} p \cdot dt = 0$$

أي أن معدل استهلاك الطاقة بواسطة المحاثية يساوي الصفر . ويتم تبادل الطاقة بين المحاثية والمصدر مرتين في كل دورة كما هي الحال في حالة المكثف . وأقصى قيمة للطاقة المخزنة هي :

$$W_{\max} = \frac{1}{2} L I_m^2 \dots\dots\dots (1.30)$$

وأقصى قيمة للقدرة اللحظية للمحاثه هي :

$$P_{\max} = V.I \dots\dots\dots (1.31)$$

القدرة ومعامل القدرة

Power and Power Factor

١.٢ مقدمة

رأينا في الباب الأول أن كلاً من المكثف والمحثاة لا تستهلكان طاقة كهربية من مصدر الطاقة ذي الموجة الجيبية. والذي يحدث فعلاً هو ما يأتي:

أ - يخزن المكثف الطاقة المسحوبة من المنبع خلال ربع الدورة الأول ثم يردّها ثانية للمنبر خلال ربع الدورة الثاني. ويتكرر ذلك خلال ربعي الدورة الثالث والرابع. ويسبق تيار المكثف الجهد الواقع بين طرفيه بزاوية طور مقدارها 90° .

ب - تختزن المحثاة الطاقة المسحوبة من المنبع خلال ربع الدورة الأول ثم تردّها ثانية للمنبر خلال ربع الدورة الثاني. ويتكرر ذلك خلال ربعي الدورة الثالث والرابع. ويتأخر تيار المحثاة عن الجهد الواقع بين طرفيها بزاوية طور مقدارها 90° .

جـ - رغم أن متوسط الطاقة المسحوبة من المنبر يساوي الصفر لحالتي المكثف والمحثاة، إلا أن القدرة لها دائماً قيمة لحظية وتصل إلى أقصى قيمة لها (V.I) عند نهاية كل ربع من أرباع الدورة.

إن هذه القدرة التي لا تتحول إلى طاقة كهربية بمرور الوقت تعني ببساطة

أنها قدرة غير مفيدة وتسمى قدرة غير فعالة أو قدرة مردودة reactive power . ونلاحظ أنها مقترنة بالتيار الذي يسبق الجهد أو يتأخر عنه بمقدار ٩٠°.

وعلى العكس مما سبق، فإن التيار عندما يكون في نفس طور الجهد in-phase، أي أن الزاوية بين التيار والجهد تساوي الصفر، فإن القدرة اللحظية تتحول إلى طاقة يتم سحبها من مصدر التغذية ولا تعود إليه مرة أخرى وإنما تخرج من الدائرة على صورة أخرى من صور الطاقة (طاقة حرارية أو ضوئية أو ميكانيكية مثلاً). ولعل أبسط حالة معروفة لنا هي حالة مرور تيار في مقاومة خالصة حيث نحصل بتطبيق قانون أوم على ما يأتي.

$$v = iR \quad (2.1)$$

حيث: i : القيمة اللحظية للتيار خلال المقاومة (أمبير).

v : القيمة اللحظية للجهد على طرفي المقاومة (فولت).

R : قيمة المقاومة بالأوم.

وعلى ذلك فإن:

$$V_m \sin \omega t = R I_m \sin \omega t \quad (2.2)$$

أي أن:

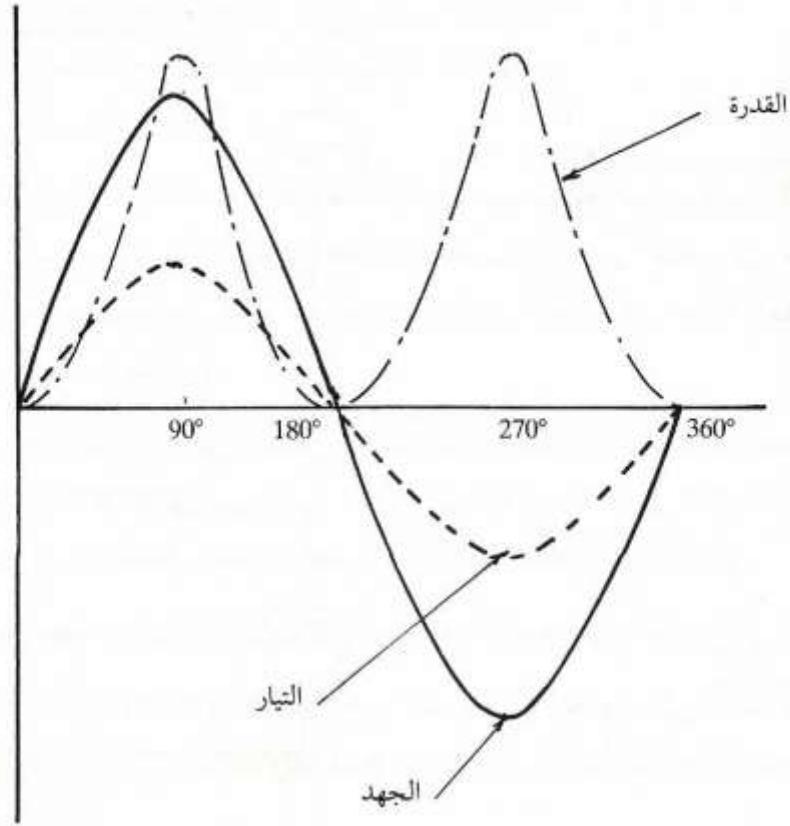
$$I = \frac{V}{R} \quad (2.3)$$

يبين الشكل ٢ - ١ هذه الفكرة.

إن القدرة التي تتحول إلى طاقة مفيدة يمكن سحبها من الدائرة تعرف باسم القدرة الفعالة active power، ويمكن الحصول عليها إذا كان تيار الدائرة في نفس طور الجهد بين طرفيها.

٢.٢ معامل القدرة

تتكون الدوائر الكهربائية عادة من مكونات Components من المقاومات والمكثفات والمحاثات. كما يمكن في معظم الحالات تمثيل أي جهاز كهربائي أو منظومة كهربائية بالدائرة المكافئة لها والتي تتكون من تلك المكونات. وعند وجود تلك المكونات في دائرة واحدة فإن كلاً منها يتصرف في الدائرة مستقلاً



شكل ٢ - ١ الجهد والتيار والقدرة في حمل مقاومة خالصة

عن باقي مكونات الدائرة وذلك بخصوص العلاقة التي تربط التيار المار والجهد بين طرفي تلك المكونة وذلك على النحو التالي :

أ - بالنسبة لمقاومة R

$$V = IR \quad (2.4)$$

ب - بالنسبة لمفاعلة سعوية X_C

$$V = -jIX_C \quad (2.5)$$

ج - بالنسبة لمفاعلة حثية X_L

$$V = jIX_L \quad (2.6)$$

حيث: V : القيمة الفعالة للجهد الواقع على المكونة.
 I : القيمة الفعالة للتيار المار في تلك المكونة.
 ϕ : مؤثر يساوي 90° 1.

ومعامل القدرة (p.f.) power factor هو جيب تمام الزاوية بين التيار والجهد. وهو يساوي الوحدة في حالة المقاومة ويساوي الصفر في حالة المفاعلة السعوية (معامل قدرة متقدم)، ويساوي الصفر في حالة المفاعلة الحثية (معامل قدرة متأخر).

وفي حالة الدوائر التي يمكن تمثيلها بمقاومات ومفاعلات فإن معامل قدرة الدائرة يتحدد بالزاوية بين التيار الكلي للدائرة وجهد طرفي تلك الدائرة. يبين الشكل ٢ - ٢ معامل القدرة لبعض الحالات المختلفة من الدوائر.

يشير المهندسون عادة إلى ثلاثة أنواع من القدرة على النحو التالي:

i - القدرة الفعالة (P) active power، وهي القدرة التي تتحول إلى طاقة مفيدة بمرور الوقت وتقاس بالوات ولها قيمة متوسطة تعرف باسم average power وتعطى بالعلاقة.

$$P = V.I. \cos\phi \quad \text{watt} \quad (2.7)$$

حيث: $\cos\phi$: معامل القدرة.

P : القيمة المتوسطة للقدرة.

ويمكن الحصول على الطاقة المسحوبة (W) خلال زمن t من العلاقة

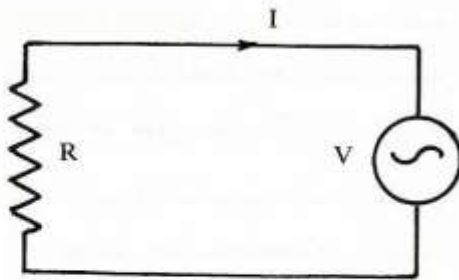
$$W = P.t \quad (2.8)$$

حيث t بالثانية و W بالجول (وات. ثانية). ويستخدم مهندسو القوى الكيلووات والميجاوات في قياس القدرة، كما يستخدمون الساعة أحياناً كوحدة للزمن.

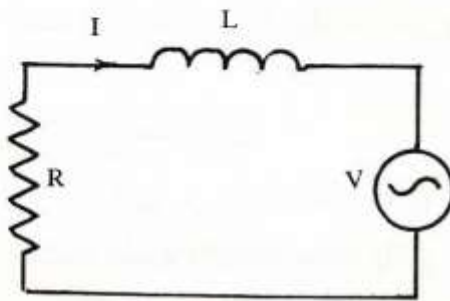
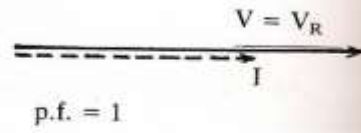
ii - القدرة غير الفعالة (المردودة) (Q) reactive power، وهي القدرة التي لا تتحول إلى طاقة بمرور الزمن، إلا أن لها قيمة عظمى تعطى بالعلاقة:

$$Q = V.I. \sin\phi \quad \text{var.} \quad (2.8)$$

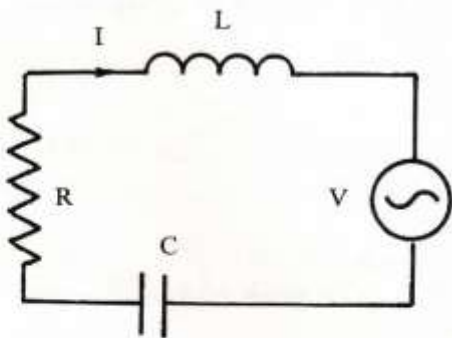
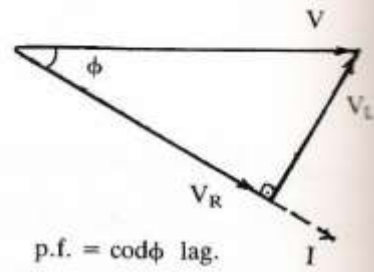
وتقاس هذه القدرة بالفولت - أمبير المردود (var) ويعرف باسم Volt-



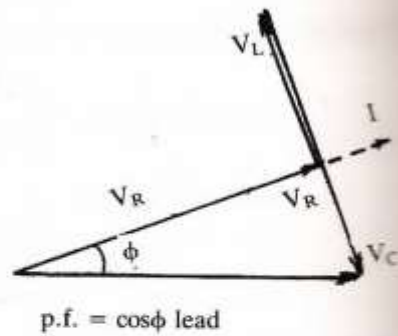
دائرة مقاومة



دائرة مقاومة ومحاثة



دائرة مقاومة ومحاثة ومكثف



شكل ٢ - ٢ معامل القدرة في الدوائر

ampere reactive . ورغم أنه من نفس أبعاد الوات، إلا أنه قد أخذ اسماً آخر لتمييز القدرة الفعالة عن القدرة المردودة. وتستخدم عادة وحدات أكبر في منظومات القوى مثل الكيلوفار والميجاوار (Kvar, Mvar).

iii - القدرة الظاهرية - المركبة - (الفولت - أمبير) apparent Power، وهي حاصل ضرب الجهد في التيار، أي أن:

$$\text{volt-ampere} = V.I \quad \text{v.a} \quad (2.9)$$

وتقاس بالفولت أمبير، وهذه الوحدة لها نفس أبعاد وحدتي الوات والفار. كما يتم استخدام الكيلوفولت أمبير والميجا فولت أمبير في منظومات القوى.

١.٢.٢ مثلث القدرة

بالنظر في المعادلات (2.7) و (2.8) و (2.9) فإنه يمكن رسم ما يسمى بمثلث القدرة power triangle والذي يحتوي على الأنواع الثلاث من القدرة. يبين الشكل ٢ - ٣ أ مثلث القدرة لحمل حثي inductive load، كما يبين الشكل ٢ - ٣ ب مثلث القدرة لحمل سعوي capacitive load. بدراسة هذا المثلث يمكن كتابة العلاقة الآتية:

$$(Kva)^2 = (Kw)^2 + (Kvar)^2 \quad (2.10)$$

$$\text{Power factor p.f} = \frac{Kw}{Kva} = \cos \phi \quad (2.11)$$

$$Kvar = Kw.tan \phi \quad (2.12)$$

وتجدر الإشارة أنه للنظام ثلاثي الأطوار three-phase system فإن:

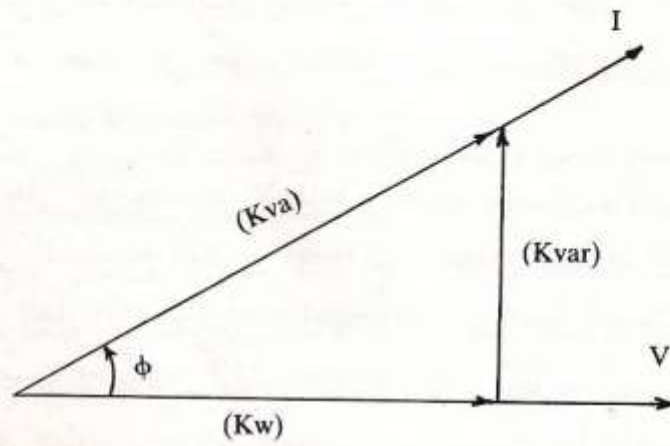
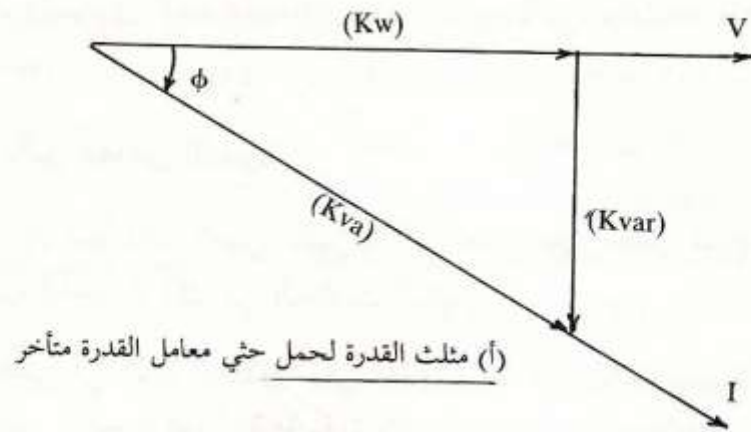
$$Kw = \frac{\sqrt{3} \times V \times I}{1000} \cos \phi \quad (2.13)$$

حيث: Kw: القدرة الكلية في الأطوار الثلاثة بالكيلووات

V: جهد الخط بالفولت

I: تيار الخط بالأمبير

ϕ : الزاوية بين جهد الطور وتيار الطور.



شكل ٢ - ٣ مثلث القدرة

وتسري المعادلة (2.13) للمنظومات المتماثلة فقط Symmetrical systems .

٣.٢ تأثير معامل القدرة

إن منظومات القوى الكهربائية التي تعمل على معامل قدرة منخفض تكون معرضة لواحد أو أكثر من الحالات التالية :

١ - نقص في قدرة المنظومة وفي أدائها بوجه عام وذلك بسبب التحميل الزائد على الأجهزة الرئيسية للتغذية مثل الكابلات والمحولات .

٢ - زيادة في المفقودات النحاسية (I^2R) ، وذلك بسبب زيادة مقدار التيار اللازم لنفس القدرة بالكيلووات مع خفض قيمة معامل القدرة (راجع المعادلة 2.13) .

٣ - ينتج عن زيادة قيمة التيار زيادة في هبوط الجهد خلال أجهزة التغذية مما ينتج عنه خفض في جهد التشغيل . إن هذا يؤدي إلى خفض في كفاءة تشغيل المحركات بصفة عامة .

٤ - التأثير على أداء مصابيح الإضاءة بوجه عام ، حيث ينخفض مقدار الفيض الضوئي للمصابيح الوهاجة incandescent lamps بينما قد لا يمكن لمصابيح تفريغ الغاز الكهربائي gas discharge lamps العمل أصلاً (مثل مصابيح الفلورسنت ومصابيح الزئبق ومصابيح الصوديوم) .

٥ - زيادة مصاريف استهلاك الطاقة الكهربائية ، حيث تُحمل شركات توزيع الكهرباء المستهلك عادة بمصاريف زائدة تعتمد على مقدار الانخفاض في معامل القدرة .

إن السبب الرئيسي في انخفاض معامل القدرة هو زيادة قيمة الكيلوفار (القدرة المردودة) للأجهزة . إن أهم الأجهزة التي تحتوي على أحمال حثية (قدرة مردودة متأخرة) هي ما يأتي :

١ - المحركات الحثية induction motors وخاصة عندما تعمل على حمل أقل من حمل المقنن الكامل لها .

- ٢ - المحولات، حيث يمثل المحول محاثة عالية نظراً لكبير عدد ملفاته وقلبه المكون من مادة مغناطيسية (صلب سيليكوني عادة).
- ٣ - أجهزة لحام القوس الكهربى .
- ٤ - الأفران الكهربائية بأنواعها المختلفة .
- ٥ - الأجهزة الالكترونية بصفة عامة والتي تُستخدم حالياً على نطاق واسع في عمليات التحكم والإدارة في الآلات .
- ٦ - مصابيح التفريغ الغازي .
- ٧ - المقومات rectifiers .

علاوة على ما سبق فإن انخفاض معامل القدرة يتطلب زيادة في تحميل المولدات وخطوط نقل القوى عن طريق زيادة مركبة التيار المردودة مما يؤدي إلى زيادة قيمة التيار الكلي بدون داع .

٤.٢ تحسين معامل القدرة

تعمل جميع الأجهزة السابق ذكرها في البند السابق على معامل قدرة متأخر (lagging power factor)، أي أنها أحمال حثية inductive loads . يتراوح معامل قدرة تلك الأحمال من ٠,٣ إلى ٠,٨ في بعض الصناعات وحتى ٠,٨ . ويلجأ المهندسون المسؤولون عن تشغيل تلك الأحمال إلى تحسين معامل قدرتها إلى ما يقرب من الواحد الصحيح وذلك عن طريق تعويض القدرة المردودة الحثية للحمل بقدرة مردودة أخرى سعوية يتم توصيلها على التوازي مع هذا الحمل . لكي نفهم فكرة تحسين معامل القدرة وتأثير ذلك على منظومة تغذية الأحمال ندرس الحالة العددية الآتية :

يشير الشكل ٢ - ٤ إلى محرك حثي ثلاثي الأطوار موصل على قضيب توزيع بالبيانات التالية :

جهد الخط لقضيب التوزيع = ٣٨٠ فولت
 قدرة المحرك الداخلة = ٢٤ ك. و
 معامل قدرة المحرك = ٠,٨ متأخر

يمكن بذلك حساب تيار المحرك (I_M) كما يأتي :

$$I_M = \frac{24 \times 1000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.8} \quad \text{t2m4}$$
$$= 45.6 \text{ A}$$

وهذا التيار بطبيعة الحال له مركبتان هما :

أ - مركبة منطقة على الجهد (I_{MP}) حيث :

$$I_{MP} = I_M \cos \phi = 45.6 \times 0.8$$
$$= 36.48 \text{ A}$$

ب - مركبة عمودية على الجهد ومتأخرة عنه بزاوية طور 90° (I_{MQ}) حيث :

$$I_{MQ} = I_M \sin \phi = 45.6 \times 0.6$$
$$= 27.36 \text{ A}$$

ويبين الشكل ٢ - ٥ مركبتي التيار بالنسبة للجهد وللتيار الكلي .

والكيلو فولت أمبير المسحوب بواسطة المحرك ($KVA)_M$ هو :

$$(KVA)_M = \frac{P}{\cos \phi} = \frac{24}{0.8} = 30 \text{ KVA}$$

والكيلو فار المسحوب بواسطة المحرك هو (Q_M) حيث :

$$Q_M = P \tan \phi = 24 \times \frac{6}{8}$$
$$= 18 \text{ KVAR}$$

التيار المسحوب من قضيب التوزيع هو (I_s) ، حيث

$$I_s = I_M = 45.6 \text{ A}$$

نفترض بعد ذلك أنه قد تم توصيل مكثف على التوازي مع المحرك بحيث

يكون مقنن هذا المكثف هو (Q_C) حيث

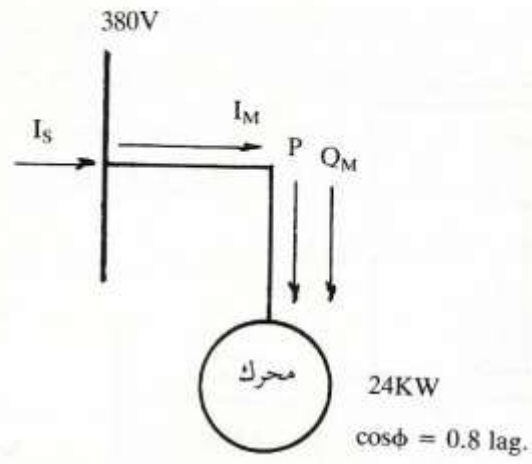
$$Q_C = Q_M$$

يبين الشكل ٢ - ٦ هذا التوصيل .

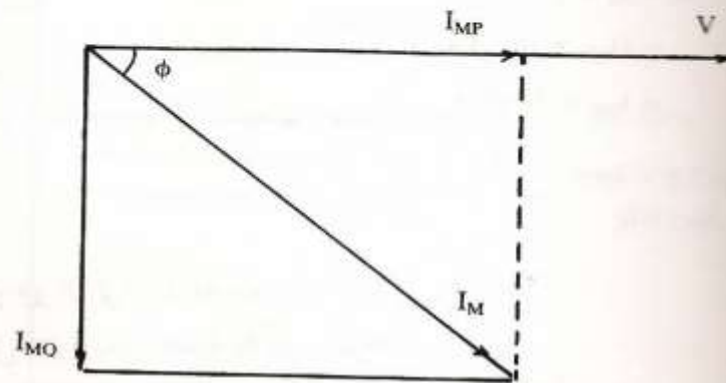
إن توصيل المكثف بهذه الطريقة لا يؤثر على المحرك في شيء حيث

يظل المحرك يعمل بنفس الطريقة السابقة . إن الذي يتغير هو تيار التغذية فقط ،

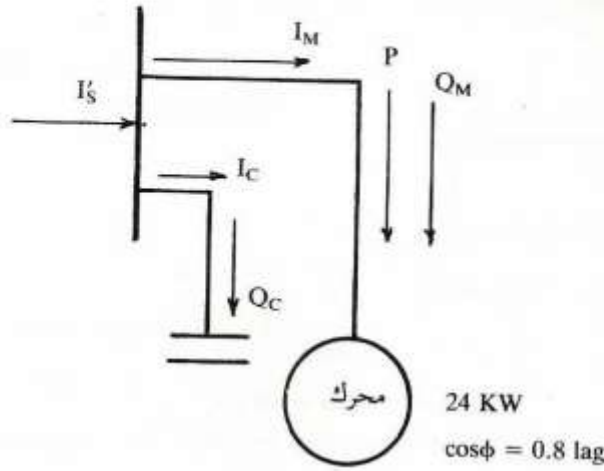
حيث يصبح (I'_s) الذي يمكن حسابه كما يأتي :



شكل ٢ - ٤ : محرك على قضيب توزيع (بدون تحسين لمعامل القدرة)



شكل ٢ - ٥ : مركبتا تيار المحرك



شكل ٢ - ٦ توصيل مكثف على التوازي مع المحرك

$$\begin{aligned}\bar{I}_s &= \bar{I}_M + \bar{I}_C \\ &= (I_{MP} - jI_{MO}) + (jI_C) \\ &= I_{MP} = 36.48 \text{ A.}\end{aligned}$$

ونلاحظ أن

$$I_{MO} = I_C$$

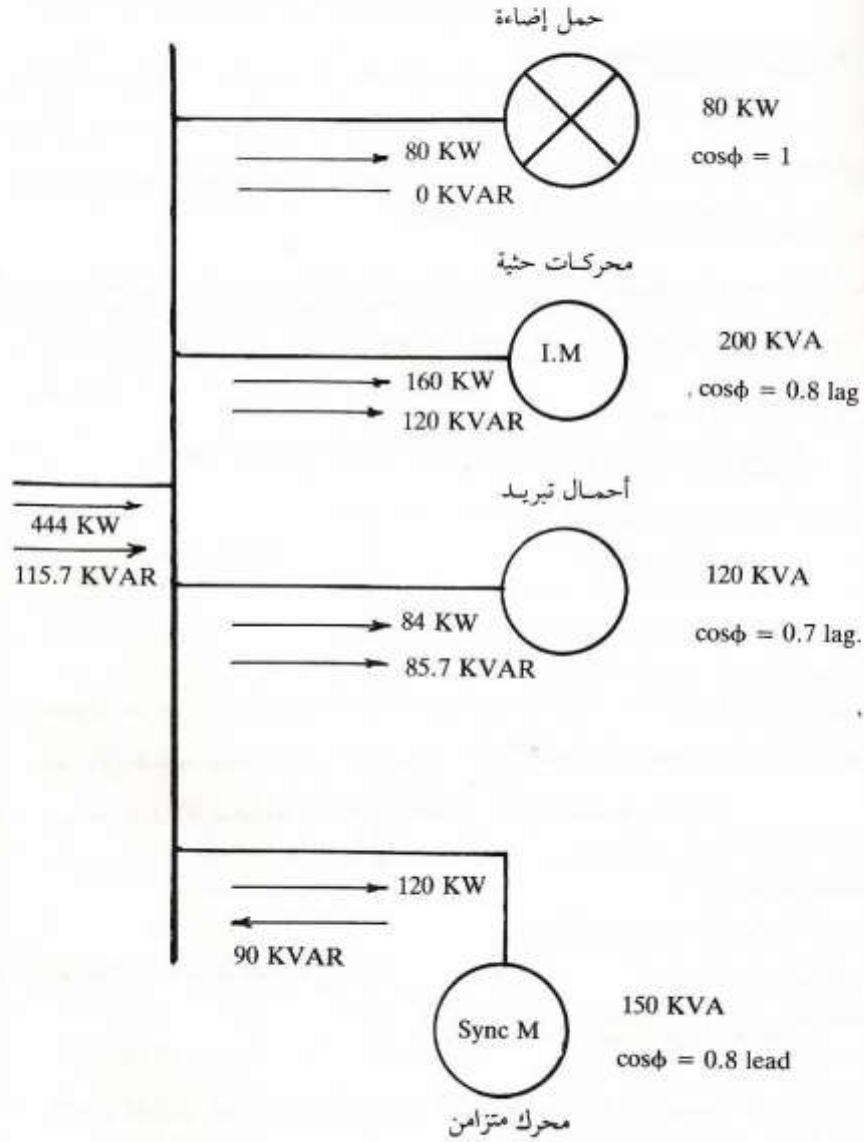
إن معنى ذلك هو أن تركيب المكثف قد أدى إلى :

- ١ - رفع معامل قدرة تيار التغذية I_s إلى الوحدة
- ٢ - أنقص مقدار تيار التغذية من ٤٥,٦ أمبير إلى ٣٦,٤٨ أمبير.

٥.٢ مصادر القدرة المردودة

تعمل معظم الآلات والأجهزة المستعملة في الشبكات الكهربائية والمنشآت الصناعية على معامل قدرة متأخر، أي أنها تحتاج إلى قدرة مردودة حثية (inductive reactive power) لكي يمكنها تكوين المجال المغناطيسي اللازم لتشغيلها. تُعرف هذه الأجهزة بأنها أجهزة مستهلكة للقدرة المردودة. أما الأجهزة التي

تعمل على معامل قدرة متقدم فهي أجهزة مولدة للقوة المردودة. وعلى ذلك فإن توصيل تلك الأجهزة المولدة للقوة المردودة على التوازي مع الأجهزة المستهلكة لها يؤدي بطبيعة الحال إلى تحسين معامل القدرة الكلي لمصدر التغذية. لتوضيح ذلك نعتبر الأحمال الموضحة بالشكل ٢ - ٧ والتي يتم تغذيتها من محطة محولات. هذه الأحمال هي ما يأتي:



شكل ٢ - ٧ تأثير المحرك المتزامن

١ - أحمال إضاءة تتكون من مصابيح متوهجة بقدرة كلية ٨٠ ك.و، وبمعامل قدرة مقداره الوحدة، والحمل لا يحتوي بذلك على قدرة مردودة.

٢ - أحمال محركات حثية قدرة كلية ٢٠٠ ك.ف.أ، وبمعامل قدرة ٠,٨ متأخر. هذا الحمل يتكون مما يأتي:
قدرة فعالة P_M وقدرة مردودة Q_M حثية، حيث:

$$P_M = (KVA) \cdot \cos\phi$$

$$= 200 \times 0.8 = 160 \text{ KW.}$$

$$Q_M = (KVA) \sin\phi$$

$$= 200 \times 0.6 = 120 \text{ KVAR (lag.)}$$

٣ - مستودعات تبريد بمحركات ذات قدرة كلية ١٢٠ ك.ف.أ وبمعامل قدرة مقداره ٠,٧ متأخر. القدرة الفعالة للحمل هي P_t والقدرة المردودة هي Q_t حيث:

$$P_t = (KVA) \cdot \cos\phi$$

$$= 120 \times 0.7 = 84 \text{ KW}$$

$$Q_t = (KVA) \cdot \sin\phi$$

$$= 120 \cdot \sqrt{1 - (0.7)^2}$$

$$= 120 \times 0.714 = 85.7 \text{ KVAR (lag)}$$

٤ - محرك متزامن synchronous motor بقدرة مقدارها ١٥٠ ك.ف.أ يعمل على معامل قدرة مقداره ٠,٨ متقدم. هذا المحرك يسحب قدرة فعالة P_s ويسحب قدرة مردودة Q_s على معامل قدرة متقدم، حيث:

$$P_s = 150 \times 0.8$$

$$= 120 \text{ KW}$$

$$Q_s = 150 \times 0.6$$

$$= 90 \text{ KVAR (lead)}$$

القدرة الفعالة P والقدرة المردودة Q المطلوبتان من المحطة هما:

$$P = 80 \times 160 + 84 + 120$$

$$= 444 \text{ KW}$$

$$Q = 0 + 120 + 85.7 - 90$$

$$= 115.7 \text{ KVAR}$$

والكيلو فولت أمبير الكلي KVA هو:

$$KVA = \sqrt{(444)^2 + (115.7)^2}$$

$$= 4578.8 \text{ KVA}$$

يتضح من المثال السابق أن وجود المحرك المتزامن الذي يعمل على معامل قدرة متقدم قد أنقص مقدار القدرة المردودة من المحطة وبالتالي القيمة الكلية للكيلو فولت أمبير المطلوب. إن هذا ينعكس بالطبع على خفض مقننات أجهزة التغذية كالمحولات والكابلات.

يبين الجدول ٢ - ١ قيماً نمطية لمعاملات قدرة بعض الأحمال، كما يبين الجدول ٢ - ٢ قيماً نمطية لمعاملات القدرة في بعض الصناعات.

جدول ٢ - ١ قيم نمطية لمعاملات القدرة لبعض الأحمال

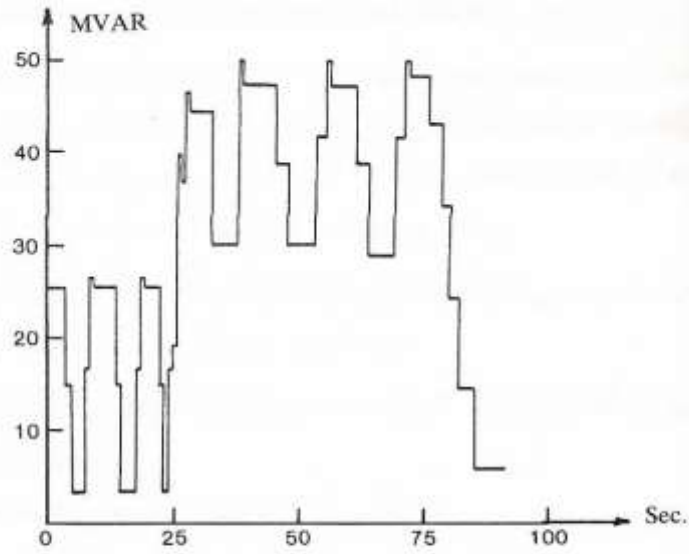
معامل القدرة	الحمل
١,٠٠	المصابيح المتوهجة
٠,٩٧ - ٠,٩٥	مصابيح الفلورسنت (بالمكثف)
١,٠٠	سخانات المقاومات
١,٠٠ أو متقدم (من ٠,٨ إلى ٠,٩ تبعاً للمقنن)	المحركات المتزامنة
صفر أو متقدم	المكثفات المتزامنة
صفر	المكثفات الساكنة
٠,٧٥ - ٠,٥٥	المحركات الحثية الصغيرة (الكسرية)
٠,٨٥ - ٠,٧٥	المحركات الحثية (١ إلى ١٠ حصان)
٠,٩٢ - ٠,٨٥	المحركات الحثية السريعة (١٠ حصان وأكثر)
٠,٨٥ - ٠,٧٠	المحركات الحثية البطيئة
٠,٧٠ - ٠,٥٠	أجهزة اللحام
٠,٩٠ - ٠,٨٠	أفران القوس المهربي
٠,٧٠ - ٠,٦٠	الأفران الحثية

جدول ٢ - ٢ قيم نمطية لمعاملات القدرة لبعض الصناعات

الصناعة	معامل القدرة
صناعات النسيج	٠,٦٥ - ٠,٧٥
الصناعات الكيماوية	٠,٧٥ - ٠,٨٥
لحام القوس الكهربى	٠,٣٥ - ٠,٤٠
أفران القوس الكهربى	٠,٧٠ - ٠,٩٠
صناعات الأفران الحثية	٠,١٥ - ٠,٤٠
مصانع الأسمت	٠,٧٨ - ٠,٨٠
مصانع الملابس	٠,٣٥ - ٠,٦٠
مصانع الصلب	٠,٦٠ - ٠,٨٥
مصانع الطوب	٠,٦٠ - ٠,٧٥
مستودعات التبريد	٠,٧٠ - ٠,٨٠
الطباعة	٠,٥٥ - ٠,٧٠
الدرفلة (بالثايرستور)	٠,٣٠ - ٠,٧٥

نود أن نشير هنا إلى أن الاتجاه الحديث في الصناعة الآن هو استخدام وسائل تشغيل وقيادة بتيار ثابت d.c.drives تستخدم نظام الفتح والقفل mode «on-off» بالاستعانة بالأجهزة الالكترونية كالثايرستور وغيره. إن مثل هذه الصناعات تزيد من تعقيد مشكلة القدرة المردودة وذلك بسبب ما يأتي :

- أ - توليد توافقيات للجهد والتيار.
- ب - تحتاج إلى قدرة مردودة عالية لعملية التحويل Commutation.
- ج - ليس لها عزم قصور دوراني rotational inertia، حيث يساعد عزم القصور الميكانيكي على تحسين خواص الشبكة والعمل على حفظ استقرارها الكهربى كما في حالة الأجهزة الدوارة بصفة عامة.
- د - تُعرض الشبكة إلى تغيرات حادة وسريعة في القدرة المردودة المطلوبة من تلك الشبكة. يبين الشكل ٢ - ٨ نموذجاً نمطياً لتغير القدرة المردودة لأحد مصانع درفلة الصلب. نلاحظ من الشكل أن التغير كبير (في حدود ٥٠ ميجاوار) بالإضافة إلى أنه حاد وسريع.



شكل ٢ - ٨ تغير نمطي في القدرة المردودة في صناعة دقطة الصلب.

٦.٢ دور المكثفات في تعويض الأحمال

نقصد من تعبير «تعويض الحمل» *load compensation* طريقة توليد والتحكم في القدرة المردودة لتحسين جودة مصدر التغذية *quality of supply* في شبكات التيار المتردد. ويُستخدم لفظ «تعويض الحمل» حيثما تم استخدام القدرة المردودة كأداة لتحسين عمل مصدر التغذية. ويتم تركيب أجهزة التعويض عادة في موقع المستهلك بالقرب من الأحمال. تُستخدم الأجهزة الآتية كأجهزة تعويض للحمل *load compensators*.

١ - المكثفات المتزامنة.

٢ - المكثفات الساكنة.

٣ - المحركات المتزامنة (في حالة وجودها).

إن الأهداف الأساسية من عملية تعويض الحمل هي ما يأتي:

١ - تحسين معامل القدرة.

٢ - تحسين تنظيم الجهد *Voltage regulation*.

٣ - استقرار الأحمال بحيث تكون متماثلة الأطوار الثلاثة .

إن هذه الأهداف الثلاثة متداخلة فيما بينها ومرتبطة ببعضها بحيث أنه من الصعب في معظم الحالات تحقيقها معاً في نفس الوقت بالطريقة المطلوبة، وهو ما سوف يتبين لنا في الباب الثالث، إلا أنه لحسن الحظ فإن تلك الأهداف الثلاثة تسير في اتجاه واحد ولا تتعارض بعضها مع بعض .

يمكن القول بصفة عامة أن جهاز تعويض الحمل المثالي يجب أن تتحقق فيه الخواص الآتية :

- أ - أنه يمكنه تسليم كمية القدرة المردودة المطلوبة للتعويض تبعاً لمتطلبات الحمل، وبدون تأخير .
- ب - أن يحافظ على خواص جهد ثابتة على أطرافه .
- ج - أن يكون قادراً على العمل باستقلالية بين أطواره الثلاثة .

إن عملية تعويض الحمل هي مسئولية مشتركة بين الهيئة المسئولة عن التغذية والمستهلك نفسه، حيث تخضع تلك العملية إلى عوامل عديدة تتضمن حجم وطبيعة الحمل والمواسفات الوطنية والخبرة العامة، بالإضافة إلى تأثير عملية التعويض على باقي المستهلكين . إلا أنه يمكن القول بصفة عامة أن تحسين معامل القدرة والتشغيل على أحمال متزنة هي مسئولية المستهلك، حيث يضطر المستهلك إلى دفع مقابل عدم تحقيق ذلك . أما موضوع تحسين تنظيم الجهد فهو عادة من مسئوليات القائمين على تشغيل منظومة التغذية .

تحسين معامل القدرة دراسة عامة

Power Factor Improvement - General

١.٣ مقدمة

علمنا من الباب الثاني أن أغلب الأجهزة في منظومات القوى تحتاج إلى قدرة مردودة لازمة لعمل تلك الأجهزة. ينشأ عن ذلك بطبيعة الحال أن تزيد كمية الكيلوواطت أمبير المطلوبة لنفس القدرة الفعالة. إن هذا يمكن ترجمته إلى زيادة التيار الكلي المطلوب للحمل لكي يعمل على نفس مقنن القدرة الفعالة. ولكي تعمل المنظومة الكهربائية كلها بطريقة مستقرة فإنه يلزم أن يكون هناك مصدر لتوليد هذه القدرة المردودة. فإذا لم يكن هناك أحمال ذات قدرة مردودة متقدمة وموصلة على التوازي مع أحمال القدرة المردودة المتأخرة على نفس قضيب التوزيع بحيث تلاشى القدرتان المردودتان بعضهما (كما وضح من مثال الباب الثاني) فإنه يتعين على مصدر التغذية إمداد قضيب التوزيع بالقدرة المردودة المتأخرة اللازمة للأحمال. إن ذلك يرجع بالآثار السيئة على جميع أجهزة الخدمة، كما يتم ترجمته إلى مبالغ إضافية من المال يدفعها المستهلك. سنوضح تلك الآثار في البند التالي.

٢.٣ تأثير معامل القدرة على أجهزة الخدمة

أجهزة الخدمة الرئيسية في منظومات القوى والتوزيع والاستخدام هي ما يأتي :

- أ - المولدات .
- ب - المحولات
- ج - خطوط النقل
- د - كابلات التغذية والتوزيع

١.٢.٣ تأثير معامل القدرة على المولدات

يرتبط عمل المولد generator بعمل المحرك الأساسي Prime-mover حيث تتحدد قدرة المولد الفعالة (KW) بقدرة المحرك الأساسي بالكيلوات . علاوة على ذلك فإن للمولد مقنناً آخر هو الكيلوفولت أمبير (KVA) يختص به دون المحرك الأساسي وهو ناتج من ضرورة وجود مجال إثارة مغناطيسي-excitation field داخل المولد نفسه . وترتبط تلك القدرتان بالعلاقة الأساسية المعروفة .

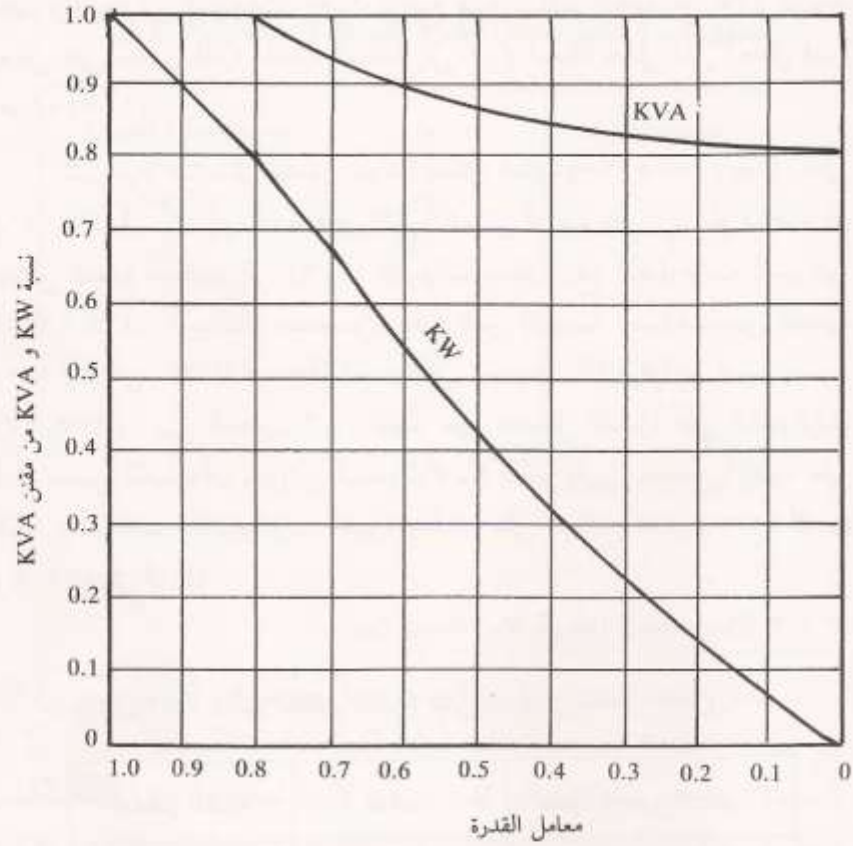
$$(KW) = (KVA) \cdot \cos\phi \quad (3.1)$$

تعمل المولدات عادة على معامل قدرة مقداره $(\cos\phi = 0.8)$ ، بحيث يمكنها إمداد المنظومة بكمية من القدرة المردودة (KVAR) تعطى بالعلاقة :

$$(KVAR) = (KVA) \sin\phi \quad (3 - 2)$$

يتبين من المعادلة (3.1) أنه لنفس القدرة بالكيلوات فإن الكيلوفولت أمبير المطلوب من المولد يزيد بانخفاض قيمة معامل القدرة . وبالمثل ، فإنه لنفس الكيلوفولت أمبير فإن القدرة بالكيلوات التي يمكن أن يُخرجها المولد تنخفض بانخفاض معامل القدرة . يوضح الشكل ٣ - ١ تأثير تغير معامل القدرة المتأخرة على العلاقة بين الكيلوات والكيلوفولت أمبير .

ينتج عن خفض معامل القدرة داخل المولد أن يصبح هذا المولد غير



شكل ٣ - ١ تأثير معامل القدرة المتأخرة على المولد (PF = 0.8)

قادر على حمل تيار الخط المقنن لأن المركبة المتأخرة للتيار ذي معامل القدرة المنخفض يكون لها تأثير مغناطيسي عكسي على مجال إثارة المولد. إن هذا يحتاج إلى زيادة كبيرة في تيار مجال المولد field current مما قد يكون له تأثير ضار على هذا المجال، وربما لا يمكن تحقيق هذا التيار أصلاً في ملفات مجال المولد.

علاوة على ما سبق فإن زيادة القدرة المردودة المتأخرة تعمل على زيادة تنظيم الجهد voltage regulation كما أشرنا إلى ذلك في البند ٢ - ٦. إن هذا

يظهر واضحاً في المولدات، حيث ترتفع قيمة تنظيم الجهد من ٢٥٪ لمولد يعمل على معامل قدرة مقداره الوحدة إلى ٤٠٪ لمولد يعمل على معامل قدرة مقداره (٠,٨).

لتوضيح ما سبق نتصور مولداً بمقنن قدرة (٤٠٠٠ ك.و) يعمل على (٥٠٠٠ ك.ف.أ)، أي أن معامل القدرة المقنن له هو (٠,٨). لو فرضنا أن معامل القدرة قد هبط إلى (٠,٦) فإن ذلك يستلزم رفع الكيلوفولت أمبير إلى (٦٦٦٦ ك.ف.أ) وذلك للحصول على نفس القيمة السابقة من القدرة (٤٠٠٠ ك.و). إن ذلك معناه تجاوز في تحميل الكيلوفولت أمبير بنسبة (٣٣,٣٣٪). يبين الجدول ٣ - ١ تأثير تغيير معامل القدرة على الكيلوفولت أمبير لنفس الكيلووات، ويبين الجدول ٣ - ٢ تأثير تغيير معامل القدرة على الكيلووات لنفس الكيلوفولت أمبير، وذلك على أساس مقنن (٤٠٠٠ ك.و) و (٥٠٠٠ ك.ف.أ).

جدول ٣ - ١ تأثير معامل القدرة على (ك.ف.أ) لنفس (ك.و)*

معامل القدرة	ك.ف.أ	نسبة تجاوز الحمل %
٠,٥	٨٠٠٠	٦٠
٠,٦	٦٦٦٦	٣٣,٣٣
٠,٧	٥٧٢٠	١٤,٥
٠,٨	٥٠٠٠	صفر
٠,٩	٤٤٤٤	صفر
٠,٩٥	٤٢١٠	صفر

(*) مقنن القدرة (٤٠٠٠ ك.و)

جدول ٣ - ٢ تأثير معامل القدرة على (ك.و) لنفس (ك.ف.ا) *

معامل القدرة	ك.و	نسبة تجاوز الحمل %
٠,٥	٢٥٠٠	٣٧,٥
٠,٦	٣٠٠٠	٢٥,٠
٠,٧	٣٥٠٠	١٢,٥
٠,٨	٤٠٠٠	—
٠,٩	٤٥٠٠	—
٠,٩٥	٤٧٥٠	—

(*) المقتن (٥٠٠٠ ك.ف.ا)

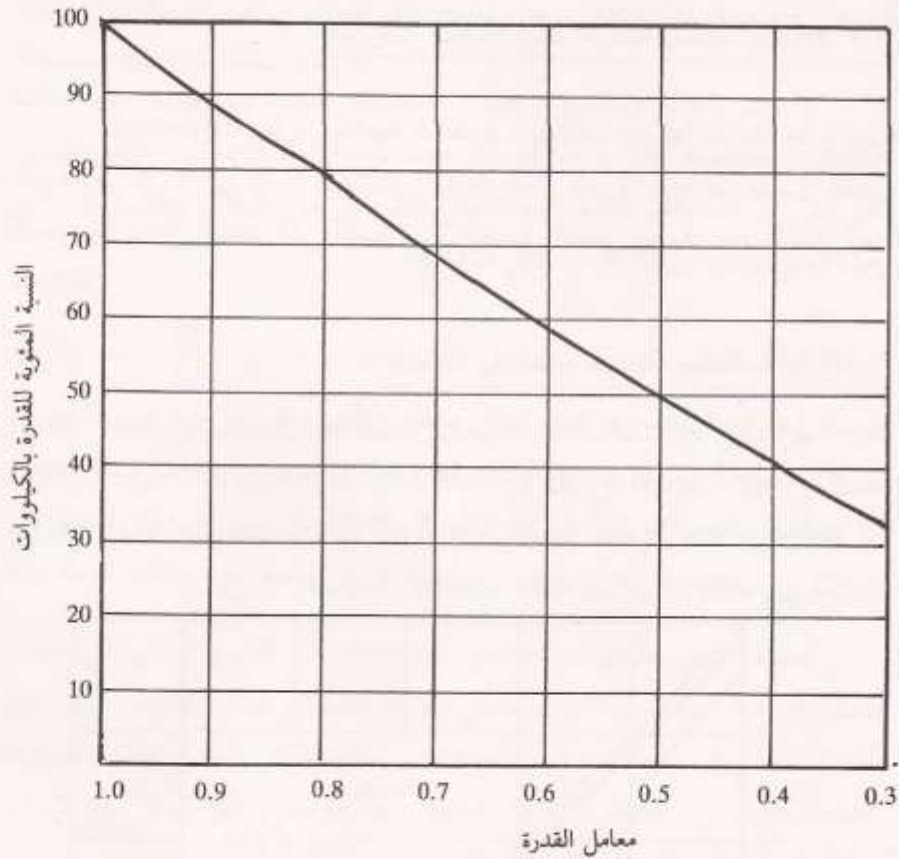
٢.٢.٣ تأثير معامل القدرة على المحولات

تمثل المحولات في كل منظومات النقل ومنظومات التوزيع مصدراً هاماً من مصادر القدرة المردودة وذلك نظراً لكبر مفاعلة المحول نسبياً. إن كل المحولات تحتاج بطبيعتها إلى قدرة مردودة لازمة لمغنطة الدائرة المغناطيسية داخل قلب المحول. ويتراوح مقدار تلك القدرة المردودة بين (١٪) و (١٢٪) من قدرة المحول المقتنة بالكيلوفولت أمبير كما يوضح ذلك الجدول ٣ - ٣. علاوة على ما سبق، فإن استخدام المحول في تغذية أحمال حثية ذات معامل قدرة متأخر يزيد من كمية القدرة المردودة الموجودة داخل المحول. يمكن القول بأن قدرة المحول تتأثر بنفس الصورة التي تتأثر بها قدرة المولد وذلك بانخفاض معامل القدرة.

جدول ٣ - ٣ القدرة الرادة لمحولات التوزيع (VAR)

المقنن ك.ق. ا.	٢٣/١٧,٥/١٢/٧,٢ ك.ق.		٢٤ ك.ق.		٣٦ ك.ق.	
	لا حمل	حمل كامل	لا حمل	حمل كامل	لا حمل	حمل كامل
١٦	١٠٨٠	١٣٦٠	—	—	—	—
٢٥	١٥٠٠	٢١٣٠	١٧٤٠	٢٤٧٠	١٩٥٠	٢٩٨٠
٤٠	٢٠٢٠	٣١٧٠	٢٣٢٠	٣٦٨٠	٢٥٢٠	٣٨٨٠
٦٣	٢٥٠٠	٤٤٦٠	٣٠٢٠	٥٣٠٠	٣٤٨٠	٥٧٦٠
٨٠	٢٧٦٠	٥٣٤٠	٣٥٦٠	٦٥٤٠	٤٢٨٠	٧٢٦٠
١٠٠	٣٦٠٠	٦٩٢٠	٤١٦٠	٧٩٦٠	٥٠٨٠	٨٨٨٠
١٢٥	٤٥٠٠	٨٧٦٠	٥٠٠٠	٩٨٦٠	٦١٤٠	١١٠٠٠
١٦٠	٥٠٠٠	١٠٥٨٠	٦٠٥٠	١٢٣٩٠	٧٥٠٠	١٣٨٤٠
٢٠٠	٦٣٠٠	١٣٥٥٠	٧١٦٠	١٥١٦٠	٨٩٠٠	١٦٩٠٠
٢٥٠	٧٨٠٠	١٦٩٥٠	٨٦٢٠	١٨٩٧٠	١٠٧٠٠	٢١٠٥٠
٣١٥	١٠٠٠٠	٢١٧٠٠	١٠٣٠٠	٢٣٨٠٠	١٢٦٠٠	٢٦١٠٠
٤٠٠	١٠٨٠٠	٢٥٧٠٠	١٣٢٠٠	٣٠٠٠٠	١٥٢٠٠	٣٢٠٠٠
٥٠٠	١٣٥٠٠	٣٢٣٠٠	١٥٨٠٠	٣٦٨٠٠	١٨٠٠٠	٣٩٠٠٠
٦٣٠	١٧٠٠٠	٤٠٧٠٠	١٨٨٠٠	٤٣٦٠٠	٢١٢٠٠	٤٦٠٠٠

إن تحسين معامل القدرة من (٠,٧) إلى (٠,٩) يؤدي إلى خفض قيمة التيار بحوالي ٢٨٪ لنفس القدرة بالكيلووات. يبين الشكل ٣ - ٢ تأثير معامل القدرة على مقدرة المحول على تحمل الكيلووات. ويعطي الجدول ٣ - ٤ الزيادة المتاحة في القدرة بالكيلووات كنسبة مئوية من قدرة المحول المقننة وذلك لرفع معامل القدرة إلى (٠,٨٦).



شكل ٣ - ٢ تأثير معامل القدرة المتأخر على المحول

جدول ٣ - ٤ زيادة قدرة المحول بتحسين معامل القدرة إلى (٠,٨٦)

٠,٨	٠,٧	٠,٦	٠,٥	٠,٤	٠,٣	معامل القدرة الابتدائي
٧	١٨	٣٠	٤٢	٥٣	٦٥	الزيادة المتاحة في القدرة ٪ من قدرة المحول المقننة

٣.٢.٣ تأثير معامل القدرة على خطوط النقل

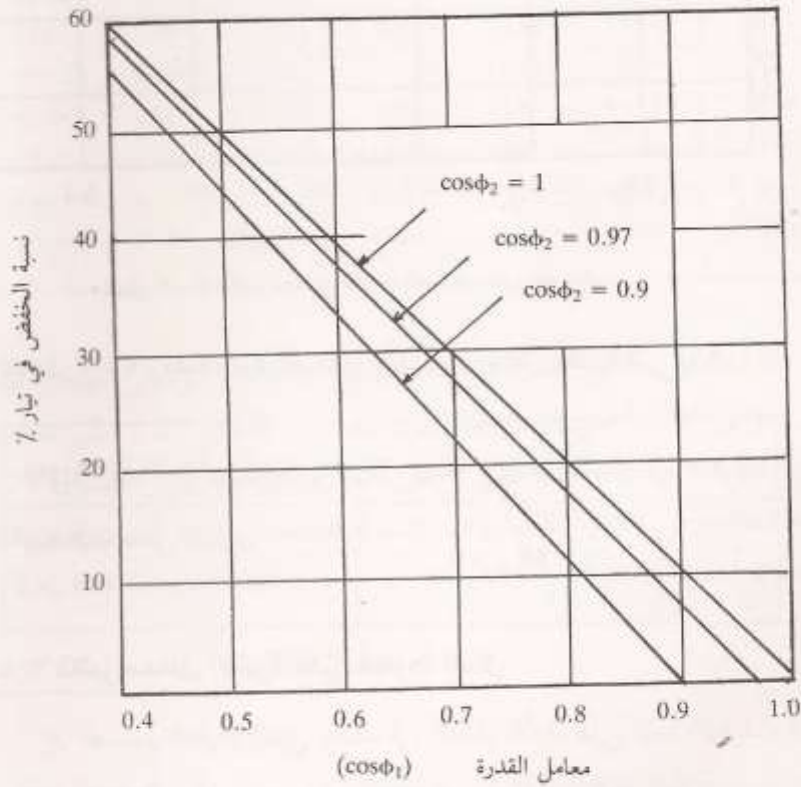
إن تصميم خطوط النقل يعتمد في المقام الأول على قيمة التيارات المارة في تلك الخطوط. إن ذلك يبدو واضحاً في خطوط الجهد المنخفض، حيث تكون درجة حرارة الموصل هي العامل الحاسم في التصميم. أما في خطوط

النقل ذات الجهد العالي والفائق فإن عوامل أخرى تكون أكثر أهمية في عملية التصميم كتيارات القصير وغيرها.

تتميز خطوط النقل، وخاصة الخطوط الهوائية، بأن لها مفاعلة حثية عالية نسبياً (من ٠,٣ إلى ٠,٥ أوم لكل كيلومتر لكل طور). ويعتمد مقدار القدرة المردودة داخل الخط على قيمة تيار الحمل الذي يحمله خط النقل تبعاً للعلاقة:

$$Q = I^2 \cdot X_L \quad (3.2)$$

حيث I مقدار تيار الحمل. يمكن خفض التيار المار في خط النقل عن طريق خفض قيمة القدرة المردودة Q المارة فيه. إن ذلك يتم بطبيعة الحال عن طريق رفع معامل القدرة. يبين الشكل ٣-٣ مقدار النسبة المئوية الممكن خفضها في تيار الخط وذلك برفع معامل قدرة التيار من $(\cos \phi_1)$ إلى $(\cos \phi_2)$.



شكل ٣-٣ تأثير معامل القدرة المتأخر على تيار الخط

٤.٢.٣ تأثير معامل القدرة على كابلات التوزيع

لا تُعتبر الكابلات مصدراً هاماً من مصادر القدرة المردودة. إن محاثّة الكابلات منخفضة جداً بصفة عامة، حيث تقع في حدود ٠,٣ ميكروهنري لكل متر. إن انخفاض معامل قدة الحمل الموصل على الكابل يتطلب تياراً أكبر وهذا يعني بدوره زيادة حجم كابل التغذية.

٣.٣ ارتباط تنظيم الجهد بمعامل القدرة

عرفنا من دراستنا السابقة أنه يمكن بصفة عامة التحكم في معامل القدرة الخاص بتيار التغذية عن طريق التحكم في كمية القدرة المردودة الواجب توصيلها على التوازي مع الحمل عند نقطة التغذية. سوف نبحث الآن في العلاقة بين معامل قدرة تيار التغذية وتنظيم الجهد.

يُعرف تنظيم الجهد Voltage regulation بأنه التغير النسبي في جهد مصدر التغذية المصاحب لتيار الحمل (يؤخذ عادة من تيار اللاحمل إلى تيار الحمل المقنن). ويحدث تنظيم الجهد بسبب الهبوط في الجهد خلال المعاوقة الحاملة للتيار بين مصدر التغذية والحمل. وبالرجوع إلى شكل ٣ - ٤ - أ، يمكن كتابة تنظيم الجهد (R) على الصورة

$$R\% = \frac{|E| - |V|}{|V|} \times 100 \quad (3.3)$$

حيث V هو جهد المرجع reference voltage.

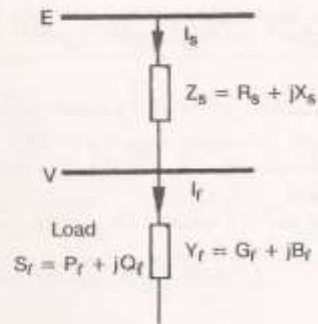
وبالرجوع إلى شكل ٣ - ٤ - ب يمكن حساب التغير في جهد المرجع (ΔV) نتيجة لتيار الحمل (I_1) كما يأتي:

$$\Delta \bar{V} = \bar{E} - \bar{V} = \bar{Z}_s \cdot \bar{I}_1 \quad (3.4)$$

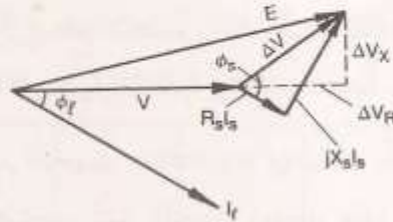
حيث Z_s : المعاوقة بين مصدر التغذية ونقطة الحمل

$$Z_s = R_s + jX_s \quad (3.5)$$

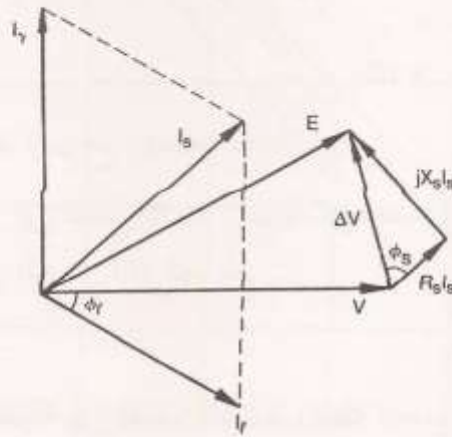
$$\bar{I}_1 = \frac{P_1 - jQ_1}{\bar{V}} \quad (3.6)$$



أ - الدائرة المكافئة للمحمل والمصدر



ب - بياني المطاورات قبل تحسين تنظيم الجهد



ج - بياني المطاورات بعد التحسين لجهد ثابت

شكل ٣ - ٤ تحسين تنظيم الجهد

أي أن

$$\Delta \bar{V} = (R_s + jX_s) \left\{ \frac{P_1 - jQ_1}{\bar{V}} \right\} \quad (3.7)$$

وباختصار المعادلة (3.7) نحصل على :

$$\Delta \bar{V} = \frac{(R_s P_1 + X_s Q_1)}{V} + j \frac{X_s P_1 - R_s Q_1}{V} \quad (3.8)$$

$$\therefore \Delta \bar{V} = \Delta V_R + j \Delta V_X \quad (3.9)$$

أي أن التغير في جهد الحمل له مركبتان، ΔV_R في اتجاه \bar{V} و ΔV_X متعامدة على \bar{V} . ويعتمد مقدار $\Delta \bar{V}$ أساساً على مقدار Q_1 التي تساوي في تلك الحال مقدار القدرة المردودة من المصدر.

يمكن عن طريق توصيل مصدر للقدرة المردودة على التوازي مع الحمل جعل $|\bar{V}| = |\bar{E}|$ ، أي نحصل على تنظيم للجهد مقداره الصفر. بالرجوع إلى الشكل ٣ - ٤ - ج، وباعتبار إضافة مصدر للقدرة المردودة (Q_s) يناظرها تيار (I_s) عمودي على جهد الحمل (\bar{V}) فإن القدرة المردودة المطلوبة من مصدر التغذية (Q_s) تصبح :

$$Q_s = Q_v + Q_1 \quad (3.10)$$

ويمكن اختيار قيمة Q_v بحيث تجعل $|\bar{E}|$ تساوي $|\bar{V}|$ كما يأتي :

بوضع المعطاة من المعادلة (3.10) بدلاً من (Q_1) الموجودة في المعادلة (3.8)، وباستعمال المعادلات (3.4) و (3.6) و (3.8) يمكن الحصول على العلاقة الآتية :

$$|E|^2 = \left\{ V + \frac{R_s P_1 + X_s Q_s}{V} \right\}^2 + \left\{ \frac{X_s P_1 - R_s Q_s}{V} \right\}^2 \quad (3.11)$$

ويحل المعادلة (3.11) يمكن الحصول على قيمة Q_s وبذلك يمكن إيجاد قيمة Q_v على أساس أن :

$$Q_7 = Q_s - Q_1$$

بترتيب حدود المعادلة (3.11)

$$aQ_s^2 + bQ_s + c = 0$$

حيث

$$a = R_s^2 + X_s^2$$

$$b = 2V^2X_s$$

$$c = (V^2 + R_sP_1)^2 + X_s^2P_1^2 - E^2V^2$$

وبذلك يكون

$$Q_s = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4a.c}}{2a} \quad (3.12)$$

يتضح لنا من تلك الدراسة أنه يمكن دائماً التحكم في تنظيم الجهد بحيث يمكن الوصول إلى قيمة صفرية له عن طريق استخدام مصدر للقدرة المردودة على التوازي مع الحمل. ويجب الانتباه هنا إلى أن هذه القدرة المردودة تغير فقط في مقدار الجهد، أما زاوية الطور فهي تتغير دائماً مع تيار الحمل.

تجدر الإشارة هنا إلى حقيقة هامة وهي أنه لا يمكن لمصدر القدرة المردودة التحكم في معامل القدرة وتنظيم الجهد في نفس الوقت. إن ذلك يرجع إلى ارتباط كل من الكميتين مع القدرة المردودة بطريقة مستقلة عن الأخرى. لتوضيح تلك الحقيقة نفترض أن المطلوب تحسين معامل القدرة إلى الواحد الصحيح. إن هذا يعني وضع Q_s بدلاً من Q_1 في المعادلة (3.8) ثم وضع $(Q_s = 0)$ في تلك المعادلة نحصل من ذلك على:

$$\Delta \bar{V} = (R_s + jX_s) \frac{P_1}{V} \quad (3.13)$$

أي أن $\Delta \bar{V}$ لا يعتمد على Q_1 وبذلك لا يمكن التحكم فيه بواسطة مصدر القدرة المردودة.

١.٣.٣ حساب تنظيم الجهد عملياً

وجدنا أنه يمكن استخدام المعادلة (3.8) في حساب قيمة الهبوط في الجهد عند حمل معين وبالتالي حساب تنظيم الجهد. يمكن الحصول على تلك القيمة بصورة أكثر فائدة كما يأتي:

إذا تم قَصْرُ الدائرة short-circuited عند قضيب التوزيع الموصل عليه الحمل فإن قدرة القَصْر الظاهرة short-circuit apparent power (S_{sc}) تصبح

$$S_{sc} = P_{sc} + jQ_{sc} = EI_{sc}^* \\ = \frac{E^2}{Z_{sc}} \quad (3.14)$$

حيث

$$R_s = Z_{sc} \cos \phi_{sc} \\ = \frac{E^2}{S_{sc}} \cos \phi_{sc} \quad (3.15)$$

$$X_{sc} = Z_{sc} \sin \phi_{sc} \\ = \frac{E^2}{S_{sc}} \sin \phi_{sc} \quad (3.16)$$

$$\tan \phi_{sc} = \frac{X_s}{R_s} \quad (3.17)$$

وبالتعويض في المعادلة (3.9) وترتيب الحدود مع فرض أن ($E = V$) نحصل على:

$$\frac{\Delta V_R}{V} = \frac{1}{S_{sc}} [P_1 \cos \phi_{sc} + Q_1 \sin \phi_{sc}] \quad (3.18)$$

و

$$\frac{\Delta V_x}{V} = \frac{1}{S_{sc}} [P_1 \sin \phi_{sc} - Q_1 \cos \phi_{sc}] \quad (3.19)$$

ومع ملاحظة أن التأثير الرئيسي للكمية ΔV_x هي تغيير زاوية الطور فقط، أي أن تأثيرها مهمل بالنسبة لمقدار الجهد، فإن معظم التغيير في مقدار الجهد يعتمد أساساً على ΔV_R . وعلى ذلك فإن المعادلة (3.18) تستعمل بكثرة لتقدير قيمة التنظيم في الجهد رغم أنها معادلة تقريبية. إن السبب في ذلك هو أنها مكتوبة بدلالة الكميات المعروفة عادة لأي منظومة وهي:

i - قدرة القصر الظاهرية

ii - النسبة $\frac{X}{R}$

iii - الحمل الموصل.

وعند الحاجة للحصول على القيمة الدقيقة يمكن ضرب الكمية الناتجة من كل من المعادلتين (3.18) و (3.19) في الكمية $(\frac{E^2}{V^2})$.

يمكن استخدام المعادلتين (3.18) و (3.19) لأي قيمة من تغير الحمل لكل من P_1 و Q_1 وذلك من الصفر حتى مقنن الحمل الكامل. ويمكن علاوة على ذلك حساب التغيرات الصغيرة في تنظيم الجهد نتيجة للتغيرات الصغيرة في كل من P_1 و Q_1 وذلك باستخدام المعادلة (3.18) على الصورة

$$\frac{\Delta V_R}{V} = \frac{1}{S_{sc}} [\Delta P_1 \cos \phi_{sc} + \Delta Q_1 \sin \phi_{sc}] \quad (3.20)$$

٤.٣ المفقودات ومعامل القدرة

تؤدي عمليات نقل وتوزيع القدرة المردودة إلى نوعين من المفقودات:

i - مفقودات قدرة فعالة خلال مقاومات الدوائر.

ii - مفقودات قدرة مردودة خلال المفاعلات.

١.٤.٣ مفقودات القدرة الفعالة

تؤدي مفقودات القدرة الفعالة إلى رفع درجة حرارة الآلات والأجهزة كالكابلات والمحولات والأجهزة الأخرى. تقاس تلك المفقودات بالكيلووات وتتحول إلى طاقة حرارية بمرور الزمن تقاس بالكيلووات ساعة (KWh) والتي يجب أن يُدفع ثمنها.

يمكن حساب مفقودات القدرة الفعالة في منظومة ثلاثية الأطوار من العلاقة الآتية:

$$P_p = 3.I^2.R \quad (3.21)$$

$$P_p = 3.I_p^2.R + 3.I_q^2.R \quad (3.22)$$

حيث: P_p : القدرة الفعالة المفقودة

I : مقدار التيار الكلي في الدائرة

I_p : مركبة التيار الفعالة (في طور الجهد)

I_q : مركبة التيار المردودة (عمودية على الجهد)

R : مقاومة الدائرة المار فيها التيار.

يتضح من المعادلة (3.22) أن مقدار مفقودات القدرة الفعالة بسبب مركبة التيار I_q لا يعتمد على مقدار القدرة الفعالة المنقولة. وعلى هذا فإن انخفاض معامل القدرة (الذي يناظره ارتفاع نسبي في مقدار I_q) يؤدي بالضرورة إلى زيادة مفقودات النقل.

يمكن حساب مقاومة الكابلات باستعمال العلاقة التقريبية الآتية بصورة مقبولة.

$$R = K \cdot \frac{L}{A} \quad (3.23)$$

حيث: R : مقاومة الكابل بالأوم

K : ثابت يؤخذ كما يأتي

لللكابلات النحاسية ($K = 0.02 \text{ ohm} \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)

لللكابلات الألومنيوم ($K = 0.33 \text{ ohm} \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)

L : طول الكابل بالمتر

A : مساحة مقطع الكابل بالمللي متر المربع

يمكن كذلك استخدام الجدول ٣ - ٥ في استخراج مقاومة موصل الكابل عند 20°C للتيار الثابت. ويجب ضرب هذه المقاومة في الكمية (١,١) للحصول على مقاومة الموصل للتيار المتردد عند درجة حرارة 20°C . وللحصول على مقاومة الموصل عند درجات حرارة مختلفة تضرب القيمة المستخرجة من الجدول ٣ - ٥ في معامل التصحيح المستخرج من الجدول ٣ - ٦.

جدول ٣ - ٥ مقاومة الكابلات عند ٢٠°م

حجم الموصل مم ^٢	أقصى مقاومة تيار ثابت		
	نحاس صافي (أوم/كم)	نحاس مطلي بالمعدن (أوم/كم)	الومنيوم (أوم/كم)
٠,٥	٣٦,٠	٣٦,٧	
٠,٧٥	٢٤,٥	٢٤,٨	
١	١٨,١	١٨,٢	
١,٥	١٢,١	١٢,٢	
٢,٥	٧,٤١	٧,٥٦	
٤	٤,٦١	٤,٧٠	٧,٤١
٦	٣,٠٨	٣,١١	٤,٦١
١٠	١,٨٣	١,٨٤	٣,٠٨
١٦	١,١٥	١,١٦	١,٩١
١٥	٠,٧٢٧	٠,٧٣٤	١,٢٠
٣٥	٠,٥٢٤	٠,٥٢٩	٠,٨٦٨
٥٠	٠,٣٨٧	٠,٣٩١	٠,٦٤١
٧٠	٠,٢٦٨	٠,٢٧٠	٠,٤٤٣
٩٥	٠,١٩٣	٠,١٩٥	٠,٣٢٠
١٢٠	٠,١٥٣	٠,١٥٤	٠,٢٥٣
١٥٠	٠,١٢٤	٠,١٢٦	٠,٢٠٦
١٨٥	٠,٠٩٩١	٠,١٠٠	٠,١٦٤
٢٤٠	٠,٠٧٥٤	٠,٠٧٦٢	٠,١٢٥
٣٠٠	٠,٠٦٠١	٠,٠٦٠٧	٠,١٠٠
٤٠٠	٠,٠٤٧٠	٠,٠٤٧٥	٠,٠٧٧٨

تابع جدول ٣ - ٥

حجم الموصل مم ²	أقصى مقاومة تيار ثابت		
	نحاس صافي (أوم/كم)	نحاس مطلي بالمعدن (أوم/كم)	الومنيوم (أوم/كم)
٥٠٠	٠,٠٣٦٦	٠,٠٣٦٩	٠,٠٦٠٥
٦٣٠	٠,٠٢٨٣	٠,٠٢٨٦	٠,٠٤٦٩
٨٠٠	٠,٠٢٢١	٠,٠٢٢٤	٠,٠٣٦٧
١٠٠٠	٠,٠١٧٦	٠,٠١٧٧	٠,٠٢٩١
١٢٠٠	٠,٠١٥١	٠,٠١٥١	٠,٠٢٤٧
١٤٠٠	٠,٠١٢٩	٠,٠١٢٩	٠,٠٢١٢
١٦٠٠	٠,٠١١٣	٠,٠١١٣	٠,٠١٨٦
١٨٠٠	٠,٠١٠١	٠,٠١٠١	٠,٠١٦٥
٢٠٠٠	٠,٠٠٩٠	٠,٠٠٩٠	٠,٠١٤٩
تبعاً للمواصفات (IEC 228) و (BS 6791)			

ملحوظة: يمكن الحصول على قيمة تقريبية لمقاومة التيار المتردد بضرب هذه القيمة في ١,١

جدول ٣ - ٦ معاملات تصحيح المقاومة لدرجات الحرارة

درجة حرارة الموصل م°	المعامل للتحويل إلى م°٢٠	المقلوب للتحويل من م°٢٠
٥	١,٠٦٤	٠,٩٤٠
٦	١,٠٥٩	٠,٩٤٤
٧	١,٠٥٥	٠,٩٤٨
٨	١,٠٥٠	٠,٩٥٢
٩	١,٠٤٦	٠,٩٥٦
١٠	١,٠٤٢	٠,٩٦٠
١١	١,٠٣٧	٠,٩٦٤
١٢	١,٠٣٣	٠,٩٦٨
١٣	١,٠٢٩	٠,٩٧٢
١٤	١,٠٢٥	٠,٩٧٦
١٥	١,٠٢٠	٠,٩٨٠
١٦	١,٠١٦	٠,٩٨٤
١٧	١,٠١٢	٠,٩٨٨
١٨	١,٠٠٨	٠,٩٩٢
١٩	١,٠٠٤	٠,٩٩٦
٢٠	١,٠٠٠	١,٠٠٠
٢١	٠,٩٩٦	١,٠٠٤
٢٢	٠,٩٩٢	١,٠٠٨
٢٣	٠,٩٨٨	١,٠١٢
٢٤	٠,٩٨٤	١,٠١٦

تابع جدول ٣ - ٦

درجة حرارة الموصل م°	المعامل للتحويل إلى م°٢٠	المقلوب للتحويل من م°٢٠
٢٥	٠,٩٨٠	١,٠٢٠
٢٦	٠,٩٧٧	١,٠٢٤
٢٧	٠,٩٧٣	١,٠٢٨
٢٨	٠,٩٦٩	١,٠٣٢
٢٩	٠,٩٦٥	١,٠٣٦
٣٠	٠,٩٦٢	١,٠٤٠
٣٥	٠,٩٤٣	١,٠٦٠
٤٠	٠,٩٢٦	١,٠٨٠
٤٥	٠,٩٠٩	١,١٠٠
٥٠	٠,٨٩٣	١,١٢٠
٥٥	٠,٨٧٧	١,١٤٠
٦٠	٠,٨٦٢	١,١٦٠
٦٥	٠,٨٤٧	١,١٨٠
٧٠	٠,٨٣٣	١,٢٠٠
٧٥	٠,٨٢٠	١,٢٢٠
٨٠	٠,٨٠٦	١,٢٤٠
٨٥	٠,٧٩٤	١,٢٦٠
٩٠	٠,٧٨١	١,٢٨٠

يمكن حساب مقاومة المحول (R) باستعمال العلاقة الآتية:

$$R = r_k \cdot \frac{V^2}{S_N} \quad (3.24)$$

$$r_k = \frac{P_k}{S_N} \quad (3.25)$$

حيث: r_k : مقاومة قصر الدائرة النسبية (تسمى أحياناً جهد المقاومة resistance voltage).
R: مقاومة المحول.

V: جهد التغذية المحسوبة عليه المقاومة

S_N : القدرة المقننة للمحول بالكيلو فولت أمبير

P_k : القدرة الفعالة بالكيلو واط والمستهلكة بواسطة المحول عندما يمر تيار المحول المقنن في أحد الملفين بينما الملف الآخر مقصراً.
ويتم الحصول على قيمة P_k من الجداول عادة أو من ضمن مقننات المحول.

٢.٤.٣ مفقودات القدرة المردودة

يمكن دراسة مفقودات القدرة المردودة بطريقة مستقلة عن مفقودات القدرة الفعالة ولكن بنفس الأسلوب. تعطي المعادلة الآتية مفقودات القدرة المردودة في منظومة ثلاثية الأطوار.

$$Q_p = 3 \cdot I_q^2 \cdot X \quad (3.25)$$

حيث: Q_p : مفقودات القدرة المردودة

I_q : مركبة التيار العمودية على الجهد

X: مفاعلة الدائرة

يمكن حساب مفاعلة الكابلات وخطوط النقل بمعلومية محاثاتها وذلك باستخدام العلاقة:

$$X = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

حيث: X : مفاعلة الكابل بالأوم لكل كيلومتر

f : تردد الدائرة

L : محاثلة الكابل بالهنري لكل كيلومتر، ويمكن حسابها من العلاقة الآتية:

أ: للكابلات وحيدة القلب Single-Core

$$KL = 0.2 \ln \frac{D}{d} + K \quad (3.26)$$

ب: للكابلات ثلاثية القلب Three-Core

$$L = 0.2 \ln \frac{2S}{d} + K \quad (3.270)$$

حيث: D : القطر المتوسط للغلاف المعدني (مم)

d : قطر الموصل (مم)

S : المسافة بين مركزي موصلين في الكابل ثلاثي القلب

K : ثابت يعتمد على تكوين الموصل ومبين في الجدول ٣ - ٧.

ذكرنا من قبل أن المفاعلات الحثية للكابلات صغيرة بصفة عامة ويمكن إهمالها. هذا بخلاف المحولات التي تختص بمفاعلات حثية عالية والتي يمكن حسابها من المعادلة الآتية:

جدول ٣ - ٧ قيم الثابت K في المعادلتين (3-26) و (3-27)

عدد اسلاك الموصل	K
٣	٠,٠٧٧٨
٧	٠,٠٦٤٢
١٩	٠,٠٥٥٤
٣٧	٠,٠٥٢٨
٦١ أو أكثر	٠,٠٥١٤

$$X = X_k \frac{V^2}{S_N} \quad (3.28)$$

$$X_K = \sqrt{Z_K^2 - r_K^2} \quad (3.29)$$

حيث: X : مفاعلة المحول بالأوم
 X_K : مفاعلة قصر الدائرة النسبية (تسمى أحياناً جهد المفاعلة)
 Z_k : معاوقة قصر الدائرة النسبية (جهد المعاوقة)
 V : جهد التغذية المحسوبة عليه المفاعلة
 S_N : القدرة المقننة للمحول بالكيلو فولت أمبير.
يمكن الحصول على جهد المعاوقة من بيانات المحول. ويمكن
الاسترشاد بالجدولين ٣ - ٨ و ٣ - ٩ في هذا الشأن.

٥.٣ مقارنة بين مصادر تحسين القدرة المردودة

يتم استخدام المصادر الآتية للقدرة المردودة بغرض تحسين معامل
القدرة:

- ١ - المحركات المتزامنة Synchronous motors
 - ٢ - المكثفات المتزامنة Synchronous Condensers
 - ٣ - المكثفات الساكنة Static Capacitors
- عند اختيار المصدر المناسب للقدرة المردودة فإن المقارنة تتم تبعاً
لاعتبارات عديدة تحددها العوامل الآتية.
- ١ - مدى الثقة Reliability في عمل الأجهزة بالصورة المطلوبة منها دون أعطال
أو انخفاض في جودة الأداء.
 - ٢ - العمر الافتراضي للجهاز.
 - ٣ - تكاليف الشراء والتركيب.
 - ٤ - تكاليف التشغيل.
 - ٥ - تكاليف الصيانة.
 - ٦ - متطلبات المكان وسهولة التركيب.
 - ٧ - ظروف التشغيل وطبيعته.

لقد كانت المكثفات المتزامنة هي المصدر الأساسي للقدرة المردودة في
المنظومات الكهربائية وخاصة منظومات النقل، وذلك على مدى فترة تزيد على

جدول ٣ - ٨ قيم نمطية لجهد المعاوقة بالمائة للمحولات
احادية الطور (٥٠ هرتز)

						الجهد العالي ك.ف.
١١٠	٦٦	٣٣	١١	٦,٦	٣,٣	المقنن ك.ف.أ.
			٤,٥	٤,٥	٤,٥	٥
		٤,٧٥	٤,٥	٤,٥	٤,٥	٧,٥
		٤,٧٥	٤,٥	٤,٥	٤,٥	١٠
		٤,٥	٤,٥	٤,٥	٤,٥	١٥
		٤,٥	٤,٥	٤,٥	٤,٥	٢٠
		٤,٥	٤,٥	٤,٥	٤,٥	٢٥
		٤,٥	٤,٥	٤,٥	٤,٥	٣٠
		٤,٥	٤,٥	٤,٥	٤,٥	٤٠
		٤,٥	٤,٥	٤,٥	٤,٥	٥٠
	٥,٥	٤,٥	٤,٥	٤,٥	٤,٥	٧٥
	٥,٥	٤,٥	٤,٥	٤,٥	٤,٥	١٠٠
٥,٥	٥,٥	٤,٥	٤,٥	٤,٥	٤,٥	١٢٥
٦,٥	٥,٥	٥,٠	٤,٧٥	٤,٧٥	٤,٧٥	٢٠٠
٦,٥	٥,٥	٥,٠	٤,٧٥	٤,٧٥	٤,٧٥	٢٥٠
٧,٠	٦,٠	٥,٠	٤,٧٥	٤,٧٥	٤,٧٥	٣٣٣
٧,٠	٦,٠	٥,٠	٤,٧٥	٤,٧٥	٤,٧٥	٥٠٠
٧,٥	٧,٠	٦,٠	٥,٥	٥,٥		٨٣٣
٧,٥	٧,٠	٦,٠	٥,٥	٥,٥		١٠٠٠
٧,٥	٧,٠	٦	٦	٦		١٣٣٣
٧,٥	٧,٠	٦,٠	٦,٠			١٦٦٧
٨,٠	٧,٥	٧	٦,٠			٢٥٠٠
٩	٨,٥	٨,٠	٧,٠			٥٠٠٠
١٠,٠	٩,٠	٩,٠				٨٣٣٣
١٠,٠	١٠,٠	١٠,٠				١٠٠٠٠

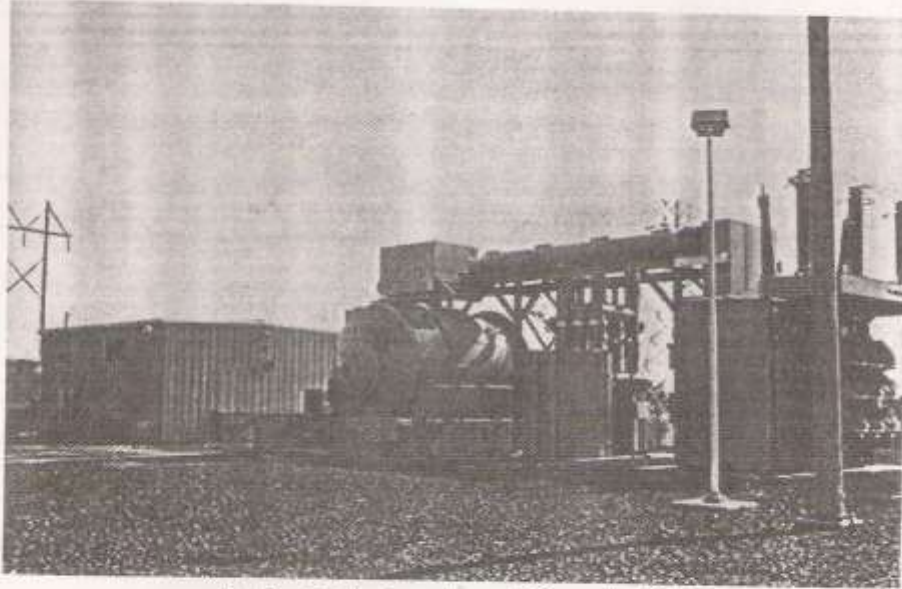
جدول ٣ - ٩ قيم نمطية لجهد المعاوقة بالمائة للمحولات
ثلاثية الطور (٥٠ هرتز)

						الجهد العالي ك.ف.
١١٠	٦٦	٣٣	١١	٦,٦	٣,٣	المقنن ك.ف.
		٦,٠	٤,٧٥	٤,٧٥	٤,٧٥	٥
		٥,٢٥	٤,٧٥	٤,٧٥	٤,٧٥	٧,٥
		٤,٧٥	٤,٧٥	٤,٧٥	٤,٧٥	١٥ - ١٠
		٤,٥	٤,٥	٤,٥	٤,٥	٧٥ - ٢٠
	٥,٥	٥,٠	٤,٧٥	٤,٧٥	٤,٧٥	٢٠٠ - ١٠٠
٦,٥	٥,٥	٥,٠	٤,٧٥	٤,٧٥	٤,٧٥	٤٠٠ - ٢٥٠
٧,٠	٦,٠	٥,٠	٤,٧٥	٤,٧٥	٤,٧٥	١٠٠٠ - ٦٠٠
٧,٠	٦,٥	٥,٥	٥,٠	٥,٠		١٢٥٠
٧,٥	٧,٠	٦,٠	٥,٥	٥,٥		١٥٠٠
٧,٥	٧,٠	٦,٠	٦,٠	٦,٠		٢٠٠٠
٧,٥	٧,٠	٦,٠	٦,٠	٦,٠		٢٥٠٠
٨,٠	٧,٥	٧,٠	٦,٠			٣٠٠٠
٨,٠	٧,٥	٧,٠	٦,٠			٤٠٠٠
٨,٠	٧,٥	٧,٠	٦,٠			٥٠٠٠
٨,٥	٨,٠	٧,٥	٧,٠			٦٠٠٠
٩,٠	٨,٥	٨,٠	٧,٠			٧٥٠٠
١٠,٠	٩,٠	٩,٠				١٠٠٠٠
١٠,٠	٩,٠	٩,٠				١٢٥٠٠
١٠,٠	١٠,٠	١٠,٠				١٥٠٠٠
١٠,٠	١٠,٠	١٠,٠				٢٠٠٠٠
١٠,٠	١٠,٠	١٠,٠				٢٥٠٠٠
١٠,٠	١٠,٠	١٠,٠				٣٠٠٠٠

خمسين عاماً. إلا أنه لعوامل عديدة، وأهمها العامل الاقتصادي، فقد بدأ الاستغناء عن المكثفات المتزامنة منذ أوائل السبعينات وذلك في المنظومات الصغيرة نسبياً كمنظومات توزيع القوى الكهربائية وأغلب المنشآت الصناعية. وقد تم استبدالها بالمكثفات الساكنة. إن الميزة الأساسية للمكثفات المتزامنة على المكثفات الساكنة هي أن المكثفات المتزامنة لها خاصية إمكانية إمداد القدرة المردودة بكمية كبيرة في لحظات الطوارئ المصحوبة بانخفاض الجهد، وذلك على العكس من المكثفات الساكنة. ولعل هذا هو السبب في أن المهندسين لا يزالون يفضلون استعمال المكثفات المتزامنة في منظومات النقل حيث يتطلب الأمر مقننات عالية من القدرة المردودة.

يوجد استخدام آخر هام للمكثفات المتزامنة في خطوط نقل التيار الثابت ذات الجهد العالي (HVDC) high voltage d.c. transmission، حيث يتم استخدامها في إمداد القدرة المردودة اللازمة لعمل المقومات مما يؤدي إلى استقرار المنظومة وتقويتها حيث يكون منسوب القصر منخفضاً عند طرف جهد الاستقبال على جانب التيار المتردد. يبين الشكل ٣ - ٥ أحد المكثفات المتزامنة.

يمكن اعتبار المحركات المتزامنة مصدراً مناسباً للقدرة المردودة إذا وجدت هذه المحركات أصلاً في المنشأة الصناعية. تعمل المحركات المتزامنة



شكل ٣ - ٥ مكثف متزامن بمقنن ١٦٧ م.ف.أ.ر

عادة على معامل قدرة يتراوح بين الوحدة و (٨, ٠ متقدم). وعلى هذا الأساس فإن الصناعات التي تحتاج إلى استخدام المحركات لمزامنة يمكنها الاستفادة بقدرة تلك المحركات على تحسين معامل لقدرة. ويمكن القول بصفة عامة أن استخدام محركات حثية مع مكثفات ساكنة يكون أفضل دائماً من استخدام محركات متزامنة تعمل على معامل قدرة متقدم وأقل من (٨, ٠).

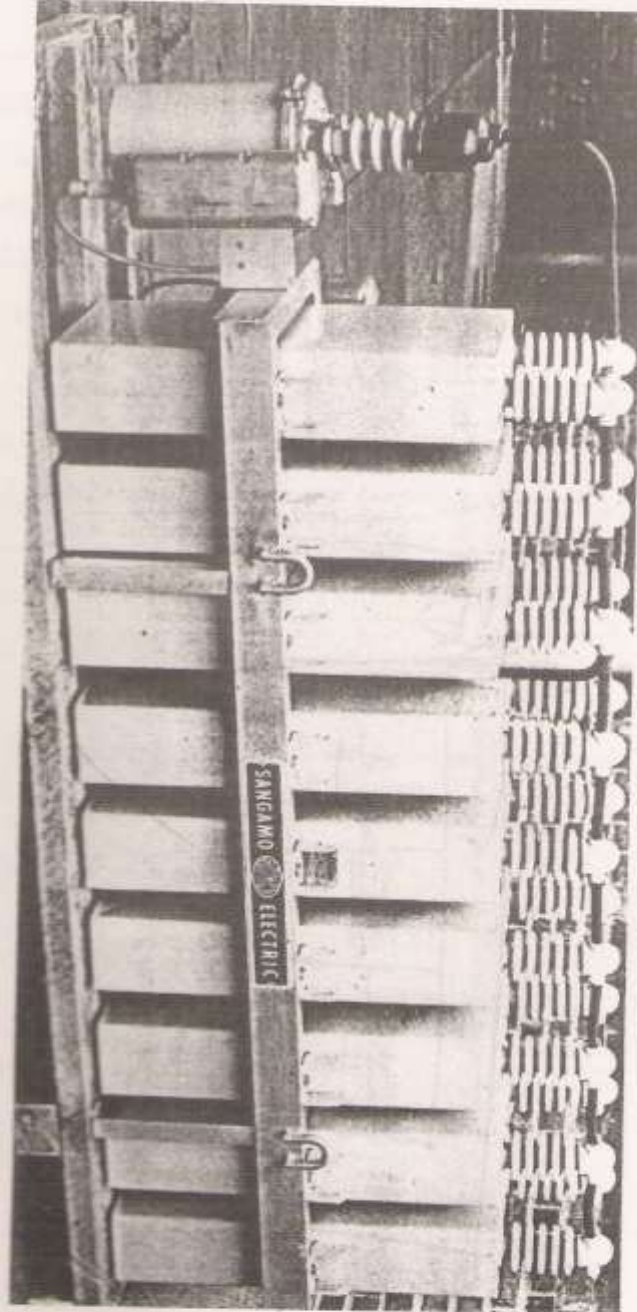
في الحالات التي تستخدم فيها المنشأة الصناعية محطة توليد خاصة بها فإن تلك المولدات تعمل عادة على معامل قدرة (٨, ٠ متأخر). وفي حالة ما إذا كانت تلك المنشأة تعمل على معامل قدرة متأخر أقل من ذلك فيُنصح بعمل تحسين لمعامل القدرة وذلك لتجنب هبوط الجهد ومفقودات التيار (I^2R) وبالتالي خفض قيمة مقنن المحطة.

تجدر الإشارة هنا إلى أن تحسين معامل القدرة إلى قيمة أكبر من (٩٥, ٠) ليس له ضرورة ولا يُنصح به عادة. إن ذلك يرجع إلى بعض شروط التشغيل وخاصة مع المحركات الحثية كما سيأتي بيانه على التفصيل في الباب القادم. علاوة على ذلك فإن حجم المكثف المطلوب يزيد بمعدل مرتفع جداً مع زيادة قيمة معامل القدرة عن (٩٥, ٠)، مما يجعل هذه الزيادة ليس لها ما يبررها من وجهة النظر الاقتصادية.

لقد كانت الميزة الأساسية للمكثفات المتزامنة هي إمكانية استخدامها كجهاز لتحسين تنظيم الجهد بالإضافة إلى تحسين معامل القدرة. إن ذلك كان يرجع إلى إمكانية التحكم فيها بطريقة أفضل من المكثفات الساكنة. إلا أن التطور الكبير في نظم التحكم الالكترونية والمصاحب للتطور التقني في صناعات الكترنيات القوى قد جعل إمكانية التحكم في المكثفات الساكنة يتم بصورة جيدة مما أدى إلى تفضيل استخدام تلك المكثفات في جميع المنشآت الصناعية حيث أنها تتميز بما يأتي :

- ١ - انخفاض تكاليف الشراء والتركيب.
- ٢ - نظراً لأنها أجهزة ساكنة فلإنها لا تحتاج تقريباً إلى صيانة تذكر.
- ٣ - تحتاج إلى حيز أقل للتركيب.
- ٤ - تعمل بكفاءة تامة وبجودة عالية.
- ٥ - عمرها الافتراضي مرتفع.

يبين الشكل ٣-٦ أحد المكثفات الساكنة المجمعة والتي تعمل على جهد منخفض. تتكون هذه التجميعات banking من مجموعة من الوحدات والتي يمكن استبدال أي منها دون الإخلال بعمل باقي الوحدات.



شكل ٣-٦ تجميعية مكثفات ساكنة مكدسة من وحدات منفصلة.

٦.٢ حساب حجم المكثف

يمكن تقدير حجم المكثف المطلوب (مقنن ك.ف.أ.ر) باستخدام إحدى الطرق الأربع الآتية:

- ١ - طريقة الحساب.
- ٢ - الطريقة البيانية.
- ٣ - باستخدام الجداول.
- ٤ - باستخدام المنحنيات.

١.٦.٣ طريقة الحساب

لتوضيح طريقة الحساب نتصور حملاً كلياً مقداره (٤٠٠ ك.و) يعمل على معامل قدرة (٠,٨ متأخر)، والمطلوب تحديد حجم المكثف اللازم لرفع معامل القدرة إلى (٠,٩ متأخر).

$$P = 400 \text{ KW.}$$

$$p.f. = 0.8$$

$$KVA = \frac{P}{p.f.}$$

$$= \frac{400}{0.8} = 500 \text{ Kva}$$

القدرة المردودة على الخط هي:

$$Q = \sqrt{(KVA)^2 - (KW)^2}$$

$$= \sqrt{(500)^2 - (400)^2}$$

$$= 300 \text{ Kvar.}$$

وعند رفع معامل القدرة إلى (٠,٩) فإن معنى ذلك أن يصبح:

$$KVA' = \frac{400}{0.9} = 444.44 \text{ Kva}$$

والقدرة المردودة النهائية هي :

$$Q' = \sqrt{(444.44)^2 - (400)^2}$$
$$= 193.7 \text{ Kvar.}$$

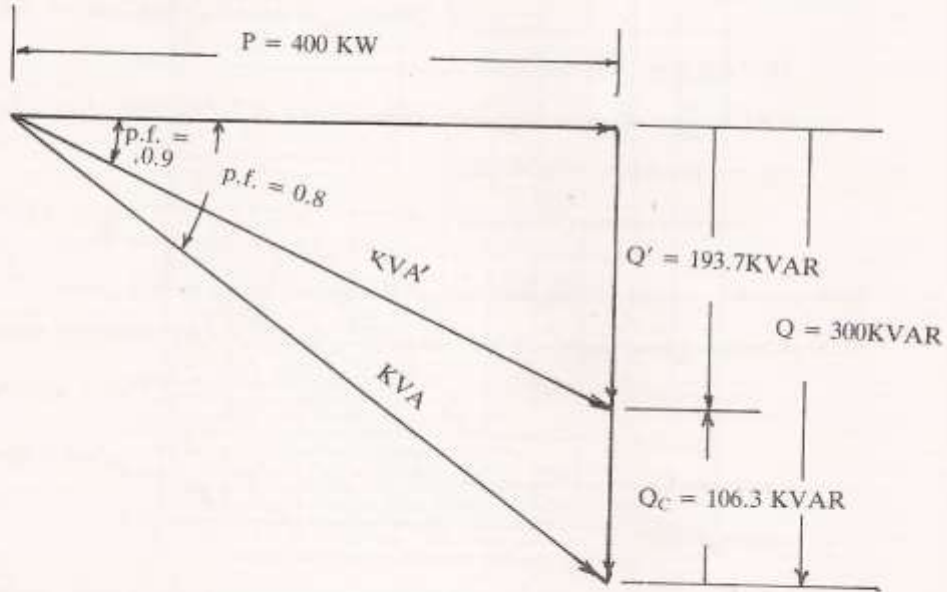
وبذلك فإن حجم المكثف المطلوب يصبح

$$Q_C = Q - Q'$$
$$= 300 - 193.7$$
$$= 106.3 \text{ Kvar.}$$

رغم أن طريقة الحساب تعطي فكرة واضحة عن مقادير جميع الكميات إلا أنها طريقة مطولة نسبياً.

٢.٦.٣ الطريقة البيانية

يمكن تنفيذ نفس خطوات الطريقة الحسابية عن طريق الرسم . يبين الشكل ٣ - ٧ تنفيذ هذه الخطوات . بدأنا العمل برسم مثلث القدرة قبل التحسين وذلك بمعلومية قية القدرة الفعالة (٤٠٠ ك.و.) ومعامل القدرة



شكل ٣ - ٧ الطريقة البيانية لتحديد حجم المكثف.

المتأخر (٨, ٠). وبعد ذلك يتم تكوين مثلث جديد يتكون من نفس القدرة الفعالة (حيث أنها لا تتغير) ولكن بمعامل القدرة الجديد (٩, ٠ متأخر). يمكن بذلك تعيين القدرة المردودة المناظرة ثم إيجاد مقنن المكثف المطلوب. يجب بطبيعة الحال تنفيذ تلك الطريقة باستخدام مقياس للرسم.

٣.٦.٣ باستخدام الجداول الجاهزة

هذه الطريقة هي أكثر الطرق استخداماً، حيث أنها تعطي مقنن المكثف المطلوب لتحسين معامل القدرة من $(\cos\phi_1)$ إلى $(\cos\phi_2)$ وذلك على النحو التالي :

يمكن كتابة العلاقات الآتية :

$$KW = (KVA)_1 \cdot \cos\phi_1$$

$$(KVAR)_1 = (KVA)_1 \cdot \sin\phi_1$$

ومنها، بالقسمة

$$(KVAR)_1 = (KW) \cdot \tan\phi_1$$

وعند تحسين معامل القدرة إلى $(\cos\phi_2)$ فإن :

$$(KVAR)_2 = (KW) \cdot \tan\phi_2$$

وعلى ذلك فإن القدرة المردودة المطلوبة (مقنن المكثف) تعطى بالعلاقة

$$Q_C = (KVAR)_1 - (KVAR)_2 \\ = (KW) (\tan\phi_1 - \tan\phi_2) \quad (3.30)$$

تسمى الكمية $(\tan\phi_1 - \tan\phi_2)$ في المعادلة (3.30) بمعامل الضرب - multiplying factor، وهي مدونة في الجدول ٣ - ١٠، حيث يمكن استخدام هذا الجدول مباشرة كما يلي :

للمثال السابق

$$\cos\phi_1 = 0.8$$

$$\cos\phi_2 = 0.9$$

نجد من الجدول أن معامل الضرب = 0.266، وعلى ذلك فإن قدرة المكثف هي (تبعاً للمعادلة 3.30).

$$Q_C = 400 \times 0.266$$

$$= 106.4 \text{ Kvar}$$

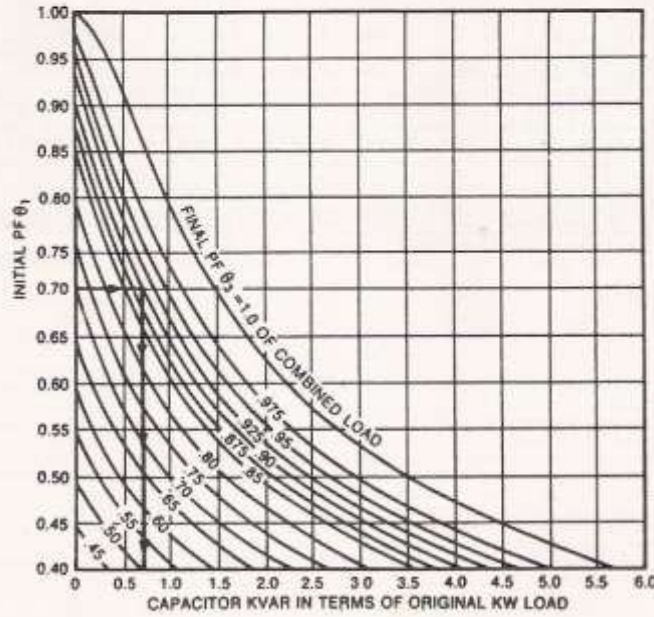
وهي نفس النتيجة التي حصلنا عليها من قبل وذلك بالدقة المسموحة.

٤.٦.٣ باستخدام المنحنيات

قامت بعض الشركات بتجهيز منحنيات يمكن عن طريقها تحديد حجم المكثف المطلوب. بالإشارة إلى الشكل ٣ - ٨، نفرض أن المطلوب هو تحسين معامل القدرة من (٠,٧) إلى (٠,٩). نرسم خطاً أفقياً مقابل معامل القدرة (٠,٧) إلى أن يلاقي منحنى معامل القدرة (٠,٩) ثم نرسم خطاً رأسياً لتحديد معامل الضرب على المحور الأفقي حيث نجده يساوي (٠,٥٤) وعلى ذلك فإن حجم المكثف المطلوب لحمل مقداره (١٠٠٠ ك.و.) مثلاً هو:

$$Q_C = 1000 \times 0.54$$

$$= 540 \text{ Kvar.}$$



شكل ٣ - ٨

تعيين مقنن المكثف بيانياً بمعلومية معامل القدرة الابتدائي $(\cos \theta_1)$ ومعامل القدرة النهائي $(\cos \theta_2)$.

جدول ٣ - ١٠ معامل الضرب لتحسين معامل القدرة من
($\cos\phi_1$) إلى ($\cos\phi_2$) متأخر

معامل الضرب لتحسين معامل القدرة إلى:										$\cos\phi_1$
٠,٨٠	٠,٨٥	٠,٩٠	٠,٩٥	٠,٩٦	٠,٩٧	٠,٩٨	٠,٩٩	١,٠٠		
٣,١٢٢	٣,٢٥٢	٣,٣٣٨	٣,٥٤٣	٣,٥٨٠	٣,٦٢١	٣,٦٦٩	٣,٧٢٩	٣,٨٧٢	٠,٢٥	
٢,٩٦٤	٣,٠٩٤	٣,٢٣٠	٣,٣٨٥	٣,٤٢٢	٣,٤٦٣	٣,٥١١	٣,٥٧١	٣,٧١٤	٠,٢٦	
٢,٨١٦	٢,٩٤٥	٣,٠٨٢	٣,٢٣٧	٣,٢٧٤	٣,٣١٥	٣,٣٥٣	٣,٤٢٣	٣,٥٦٦	٠,٢٧	
٢,٦٧٩	٢,٨٠٩	٢,٩٤٥	٣,١٠٠	٣,١٣٧	٣,١٧٨	٣,٢٢٦	٣,٢٨٦	٣,٤٢٩	٠,٢٨	
٢,٥٥٠	٢,٦٨٠	٢,٨١٦	٢,٩٧١	٣,٠٠٨	٣,٠٤٩	٣,٠٩٧	٣,١٥٧	٣,٣٠٠	٠,٢٩	
٢,٤٣١	٢,٥٦١	٢,٦٩٧	٢,٨٥٢	٢,٨٨٩	٢,٩٣٠	٢,٩٧٨	٣,٠٣٨	٣,١٨١	٠,٣٠	
٢,٣١٥	٢,٤٤٥	٢,٥٨١	٢,٧٣٦	٢,٧٧٣	٢,٨١٤	٢,٨٦٢	٢,٩٩٢	٣,٠٦٥	٠,٣١	
٢,٢١٠	٢,٣٤٠	٢,٤٧٦	٢,٦٣١	٢,٦٦٧	٢,٧٠٩	٢,٧٥٧	٢,٨١٧	٢,٩٦٠	٠,٣٢	
٢,١١١	٢,٢٤١	٢,٣٧٧	٢,٥٣٢	٢,٥٦٩	٢,٦١٠	٢,٦٥٨	٢,٧١٨	٢,٨٦١	٠,٣٣	
٢,٠١٥	٢,١٤٥	٢,٢٨١	٢,٤٣٦	٢,٤٧٣	٢,٥١٤	٢,٥٦٢	٢,٦٦٢	٢,٧٦٥	٠,٣٤	

(*) : صناعات الدرفلة والتحكم بالتأثيرستور والأفران الحثية عديمة القلب المستخدمة في الصناعات الثقيلة
(coreless induction furnaces).

تابع جدول ٣ - ١٠

معامل الضرب لتحسين معامل القدرة إلى	$\cos\phi_1^*$								
٠,٨٠ ٠,٨٥ ٠,٩٠ ٠,٩٥ ٠,٩٦ ٠,٩٧ ٠,٩٨ ٠,٩٩ ١,٠٠									
١,٩٢٧ ٢,٠٥٧ ٢,١٩٣ ٢,٣٤٨ ٢,٣٨٥ ٢,٤٢٦ ٢,٤٧٤ ٢,٥٣٤ ٢,٦٧٧	٠,٣٥								
١,٨٤٢ ١,٩٧٢ ٢,١٠٨ ٢,٢٦٣ ٢,٣٠٠ ٢,٣٤١ ٢,٣٨٩ ٢,٤٤٩ ٢,٥٩٢	٠,٣٦								
١,٧٦١ ١,٨٩١ ٢,٠٢٧ ٢,١٨٢ ٢,٢١٩ ٢,٢٦٠ ٢,٣٠٨ ٢,٣٦٣ ٢,٥١١	٠,٣٧								
١,٦٨٤ ١,٨١٤ ١,٩٥٠ ٢,١٠٥ ٢,١٤٢ ٢,١٨٣ ٢,٢٣١ ٢,٢٩١ ٢,٤٣٤	٠,٣٨								
١,٦٦٢ ١,٧٤٢ ١,٨٧٨ ٢,٠٣٣ ٢,٠٧٠ ٢,١١١ ٢,١٥٩ ٢,٢١٩ ٢,٣٦٢	٠,٣٩								
١,٥٤١ ١,٦٧١ ١,٨٠٧ ١,٩٦٢ ١,٩٩٩ ٢,٠٤٠ ٢,٠٨٨ ٢,١٤٨ ٢,٢٩١	٠,٤٠								
١,٤٧٥ ١,٦٠٥ ١,٧٤١ ١,٨٩٦ ١,٩٣٣ ١,٩٧٤ ٢,٠٢٢ ٢,٠٨٢ ٢,٢٢٥	٠,٤١								
١,٤١١ ١,٥٤١ ١,٦٧٧ ١,٨٣٢ ١,٨٦٩ ١,٩١٠ ١,٩٥٨ ٢,٠١٨ ٢,١٦١	٠,٤٢								
١,٥٣٠ ١,٤٨٠ ١,٦١٦ ١,٧٧١ ١,٨٠٨ ١,٨٤٩ ١,٨٩٧ ١,٩٥٧ ٢,١٠٠	٠,٤٣								
١,٢٩١ ١,٤٢١ ١,٥٥٦ ١,٧١٢ ١,٧٤٩ ١,٧٩٠ ١,٨٣٨ ١,٨٩٨ ٢,٠٤١	٠,٤٤								

(*) : لحام القوس الكهربى وصناعات الغزل والنسيج .

تابع جدول ٣ - ١٠

معامل الضرب لتحسين معامل القدرة إلى:	$\cos \phi_1$								
	٠,٨٠	٠,٨٥	٠,٩٠	٠,٩٥	٠,٩٦	٠,٩٧	٠,٩٨	٠,٩٩	١,٠٠
٠,٤٥	١,٢٣٤	١,٣٦٤	١,٥٠٠	١,٦٥٥	١,٦٩٢	١,٧٣٣	١,٧٨١	١,٨٤١	١,٩٨٤
٠,٤٦	١,١٨٠	١,٣١٠	١,٤٤٦	١,٦٠١	١,٦٣٨	١,٦٧٩	١,٧٢٧	١,٧٨٧	١,٩٣٠
٠,٤٧	١,١٢٨	١,٢٥٨	١,٣٩٤	١,٥٤٩	١,٥٨٦	١,٦٢٧	١,٦٧٥	١,٦٣٥	١,٨٧٨
٠,٤٨	١,٠٧٨	١,٢٠٨	١,٣٤٤	١,٤٩٩	١,٥٣٦	١,٥٧٧	١,٦٢٥	١,٦٨٥	١,٨٢٨
٠,٤٩	١,٠٢٩	١,١٥٩	١,٢٩٥	١,٤٥٠	١,٤٨٧	١,٥٢٨	١,٥٧٦	١,٦٣٦	١,٧٧٩
٠,٥٠	٠,٨٩٢	١,٢٢١	١,٢٤٨	١,٤٠٣	١,٤٤٠	١,٤٨١	١,٥٢٩	١,٥٨٩	١,٧٣٢
٠,٥١	٠,٩٣٦	١,٠٦٦	١,٢٠٢	١,٣٥٧	١,٣٩٤	١,٤٣٥	١,٤٨٣	١,٥٤٣	١,٦٨٦
٠,٥٢	٠,٨٩٣	١,٠٢٣	١,١٥٩	١,٣١٤	١,٣٥١	١,٣٩٢	١,٤٤٠	١,٥٠٠	١,٦٤٣
٠,٥٣	٠,٨٥٠	٠,٩٨٠	١,١١٦	١,٢٧١	١,٣٠٨	١,٣٤٩	١,٣٩٧	١,٤٥٧	١,٦٠٠
٠,٥٤	٠,٨٠٩	٠,٩٣٩	١,٠٧٥	١,٢٣٠	١,٢٦٧	١,٣٠٣	١,٣٥٦	١,٤١٦	١,٥٥٩

(*) : صناعات الأساسات والورش والآلات.

تابع جدول ٣ - ١٠

$\cos \phi_1$	معامل الضرب لتحسين معامل القدرة إلى								
	١,٠٠	٠,٩٩	٠,٩٨	٠,٩٧	٠,٩٦	٠,٩٥	٠,٩٠	٠,٨٥	٠,٨٠
٠,٥٥	١,٥١٩	١,٣٧٦	١,٣١٦	١,٢٦٨	١,٢٢٧	١,١٩٠	١,٠٣٥	٠,٨٩٩	٠,٧٦٩
٠,٥٦	١,٤٨٠	١,٣٣٦	١,٢٧٧	١,٢٢٩	١,١٨٨	١,١٥١	٠,٩٩٦	٠,٨٦٠	٠,٧٣٠
٠,٥٧	١,٤٤٢	١,٢٩٩	١,٢٣٩	١,١٩١	١,١٥٠	١,١١٣	٠,٩٥٨	٠,٨٢٢	٠,٦٩٢
٠,٥٨	١,٤٠٥	١,٢٦٢	١,٢٠٢	١,١٥٤	١,١١٣	١,٠٧٦	٠,٩٢١	٠,٧٨٥	٠,٦٥٥
٠,٥٩	١,٣٦٩	١,٢٢٦	١,١٦٦	١,١١٨	١,٠٧٧	١,٠٤٠	٠,٨٨٥	٠,٧٤٩	٠,٦١٩
٠,٦٠	١,٣٣٣	١,١٩٠	١,١٣٠	١,٠٨٢	١,٠٤١	١,٠٠٤	٠,٨٤٩	٠,٧١٣	٠,٥٨٣
٠,٦١	١,٢٢٩	١,١٥٦	١,٠٩٦	١,٠٤٨	١,٠٠٧	٠,٩٧٠	٠,٨١٥	٠,٦٧٩	٠,٥٤٩
٠,٦٢	١,٢٦٥	١,١٢٢	١,٠٦٢	١,٠١٤	٠,٩٧٣	٠,٩٣٦	٠,٧٨١	٠,٦٤٥	٠,٥١٥
٠,٦٣	١,٢٣٣	١,٠٩٠	١,٠٣٠	٠,٩٨٢	٠,٩٤١	٠,٩٠٤	٠,٧٤٩	٠,٦١٣	٠,٤٨٣
٠,٦٤	١,٢٠١	١,٠٥٨	٠,٩٩٨	٠,٩٥٠	٠,٩٠٩	٠,٨٧٢	٠,٧١٧	٠,٥٨١	٠,٤٥١

(*) : صناعات البلاستيك والطباعة

تابع جدول ٣ - ١٠

معامل الضرب لتحسين معامل القدرة إلى:									$\cos\phi_1^*$
٠,٨٠	٠,٨٥	٠,٩٠	٠,٩٥	٠,٩٦	٠,٩٧	٠,٩٨	٠,٩٩	١,٠٠	
٠,٤١٩	٠,٥٤٩	٠,٦٨٥	٠,٨٤٠	٠,٨٧٧	٠,٩١٨	٠,٩٦٦	١,٠٢٦	١,١٦٩	٠,٦٥
٠,٣٨٨	٠,٥١٨	٠,٦٥٤	٠,٨٠٩	٠,٨٤٦	٠,٨٨٧	٠,٩٣٥	٠,٩٩٥	١,١٣٨	٠,٦٦
٠,٣٥٨	٠,٤٨٨	٠,٦٢٤	٠,٧٧٩	٠,٨١٦	٠,٨٥٧	٠,٩٠٥	٠,٩٦٥	١,١٠٨	٠,٦٧
٠,٣٢٨	٠,٤٥٨	٠,٥٩٤	٠,٧٤٩	٠,٧٨٦	٠,٨٢٧	٠,٨٧٥	٠,٩٣٥	١,٠٧٨	٠,٦٨
٠,٢٩٩	٠,٤٢٩	٠,٥٦٥	٠,٧٢٠	٠,٧٥٧	٠,٧٩٨	٠,٨٤٦	٠,٩٠٦	١,٠٤٩	٠,٦٩
	٠,٤٩٩	٠,٥٣٦	٠,٦٩١	٠,٧٢٨	٠,٧٦٩	٠,٨١٧	٠,٨٧٧	١,٠٣٠	٠,٧٠
٠,٢٤٢	٠,٣٧٢	٠,٥٠٨	٠,٦٦٣	٠,٧٠٠	٠,٧٤١	٠,٧٨٩	٠,٨٤٩	٠,٩٩٢	٠,٧١
٠,٢١٤	٠,٣٤٤	٠,٤٧٠	٠,٦٣٥	٠,٦٧٢	٠,٧١٣	٠,٧٦١	٠,٨٢١	٠,٩٦٤	٠,٧٢
٠,١٨٦	٠,٣١٦	٠,٤٥٢	٠,٦٠٧	٠,٦٤٤	٠,٦٨٥	٠,٧٣٣	٠,٧٩٣	٠,٩٣٦	٠,٧٣
٠,١٥٩	٠,٢٨٩	٠,٤٢٥	٠,٥٨٠	٠,٦١٧	٠,٦٥٨	٠,٧٠٦	٠,٧٦٦	٠,٩٠٩	٠,٧٤

(*) : مستودعات التبريد وصناعات الطوب

تابع جدول ٣ - ١٠

معامل الضرب لتحسين معامل القدرة إلى:	١,٠٠	٠,٩٩	٠,٩٨	٠,٩٧	٠,٩٦	٠,٩٥	٠,٩٠	٠,٨٥	٠,٨٠	$\cos\phi_1$
	٠,٨٨٢	٠,٧٣٩	٠,٦٧٩	٠,٦٣١	٠,٥٩٠	٠,٥٥٣	٠,٣٩٨	٠,٢٦٢	٠,١٣٢	٠,٧٥
	٠,٨٥٥	٠,٧١٢	٠,٦٥٢	٠,٦٠٤	٠,٥٦٣	٠,٥٢٦	٠,٣٧١	٠,٢٣٥	٠,١٠٥	٠,٧٦
	٠,٨٢٩	٠,٦٨٦	٠,٦٢٦	٠,٥٧٨	٠,٥٣٧	٠,٥٠٠	٠,٣٤٥	٠,٢٠٩	٠,٠٧٩	٠,٧٧
	٠,٨٠٢	٠,٦٥٩	٠,٥٥٩	٠,٥٥١	٠,٥١٠	٠,٤٧٣	٠,٣٨١	٠,٢٨٢	٠,١٥٢	٠,٧٨
	٠,٧٧٦	٠,٦٣٣	٠,٥٧٣	٠,٥٢٥	٠,٤٨٤	٠,٤٤٧	٠,٢٩٢	٠,١٥٦	٠,٠٢٦	٠,٧٩
—	٠,٧٥٠	٠,٦٠٧	٠,٥٤٧	٠,٤٩٩	٠,٤٥٨	٠,٤٢١	٠,٢٦٦	٠,١٣٠	—	٠,٨٠
—	٠,٧٢٤	٠,٥٨١	٠,٥٢١	٠,٤٧٣	٠,٤٣٢	٠,٣٩٥	٠,٢٤٠	٠,١٠٤	—	٠,٨١
—	٠,٦٩٨	٠,٥٥٥	٠,٤٩٥	٠,٤٤٧	٠,٤٠٦	٠,٣٦٩	٠,٢١٤	٠,٠٧٨	—	٠,٨٢
—	٠,٦٧٢	٠,٥٢٩	٠,٤٦٩	٠,٤٢١	٠,٣٨٠	٠,٣٤٣	٠,١٨٨	٠,٠٥٢	—	٠,٨٣
—	٠,٦٤٦	٠,٥٠٣	٠,٤٤٣	٠,٣٩٥	٠,٣٥٤	٠,٣١٧	٠,١٦٢	٠,٠٢٦	—	٠,٨٤

(*) : الصناعات الكيماوية ومصانع الاسمنت

تابع جدول ٣ - ١٠

معامل الضرب لتحسين معامل القدرة إلى:									$\cos\phi_1^*$
٠,٨٠	٠,٨٥	٠,٩٠	٠,٩٥	٠,٩٦	٠,٩٧	٠,٩٨	٠,٩٩	١,٠٠	
—	—	٠,١٣٦	٠,٢٩١	٠,٣٢٨	٠,٣٦٩	٠,٤١٧	٠,٤٧٧	٠,٦٣٠	٠,٨٥
—	—	٠,١٠٩	٠,٢٦٤	٠,٣٠١	٠,٣٤٢	٠,٣٩٠	٠,٤٥٠	٠,٥٩٢	٠,٨٦
—	—	٠,٠٨٣	٠,٢٣٨	٠,٢٧٥	٠,٣١٦	٠,٣٦٤	٠,٤٢٤	٠,٥٦٧	٠,٨٧
—	—	٠,٠٥٦	٠,٢١١	٠,٢٤٨	٠,٢٨٩	٠,٣٣٧	٠,٣٩٧	٠,٥٤٠	٠,٨٨
—	—	٠,٠٢٨	٠,١٨٣	٠,٢٢٠	٠,٢٦١	٠,٣٠٩	٠,٣٦٩	٠,٥١٢	٠,٨٩
—	—	—	٠,١٥٥	٠,١٩٢	٠,٢٣٣	٠,٢٨١	٠,٣٤١	٠,٤٨٤	٠,٩٠
—	—	—	٠,١٢٧	٠,١٦٤	٠,٢٠٥	٠,٢٥٣	٠,٣١٣	٠,٤٥٦	٠,٩١
—	—	—	٠,٠٩٧	٠,١٣٤	٠,١٧٥	٠,٢٢٣	٠,٢٨٣	٠,٤٢٦	٠,٩٢
—	—	—	٠,٠٦٦	٠,١٠٣	٠,١٤٤	٠,١٩٢	٠,٢٥٢	٠,٣٩٥	٠,٩٣
—	—	—	٠,٠٣٤	٠,٠٧١	٠,١١٢	٠,١٦٠	٠,٢٢٠	٠,٣٦٣	٠,٩٤

(*) : أفران القوس الكهربائي ومحركات قفص السنجاب الحثية ذات السرعات العالية - high speed squirrel-cage motors

تابع جدول ٣ - ١٠

معامل الضرب لتحسين معامل القدرة إلى	١,٠٠	٠,٩٩	٠,٩٨	٠,٩٧	٠,٩٦	٠,٩٥	٠,٩٠	٠,٨٥	٠,٨٠	$\cos(\phi)_1$
٠,٣٢٩	٠,١٨٦	٠,١٣٦	٠,٠٧٨	٠,٠٣٧	—	—	—	—	—	٠,٩٥
٠,٢٩٢	٠,١٤٩	٠,١٠٩	٠,٠٤١	—	—	—	—	—	—	٠,٩٦
٠,٢٥١	٠,١٠٨	٠,٠٤٨	—	—	—	—	—	—	—	٠,٩٧
٠,٢٠٣	٠,٠٦٠	—	—	—	—	—	—	—	—	٠,٩٨
٠,١٤٣	—	—	—	—	—	—	—	—	—	٠,٩٩

(٣٦) : أحمال الإضاءة - المصابيح الحرارية - مصابيح الفلورسنت مع وجود المكثف - السخانات ذات المقاومة

تحسين معامل القدرة في الصناعة

Power Factor Improvement in Industry

١.٤ مقدمة

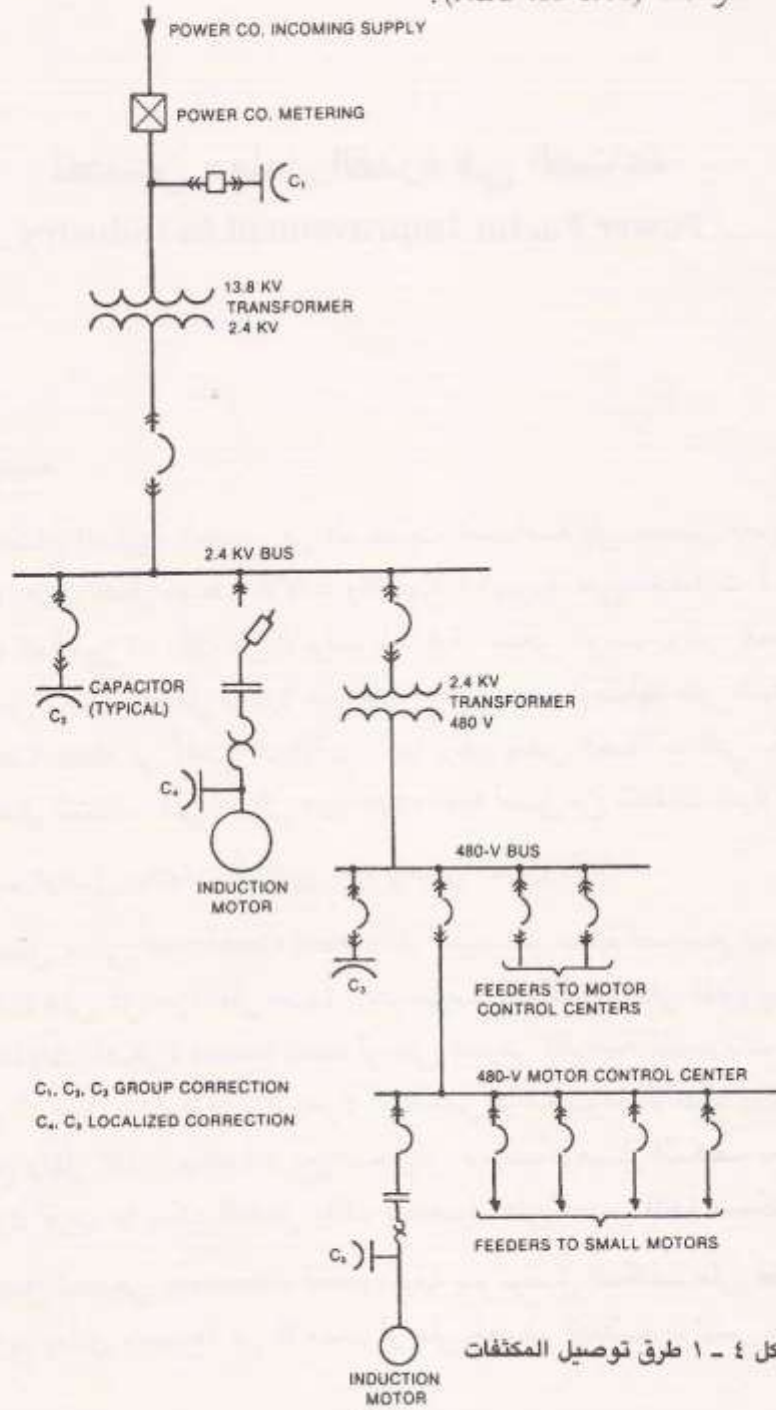
تحتاج الغالبية العظمى من المنشآت الصناعية إلى تحسين معامل القدرة، حيث تعمل معظم الآلات والأجهزة الكهربائية على معاملات قدرة منخفضة كما تبين لنا ذلك من الأبواب السابقة. يمكن الوصول إلى الحالة النهائية من تحسين معامل القدرة باستخدام مكثفات يتم توصيلها على التوازي Shunt Capacitors في أغلب الحالات، كما توجد بعض الحالات التي يكون فيها توصيل المكثف على التوالي Series Capacitor أفضل من مكثفات التوازي.

يتم توصيل مكثفات التوازي عادة بإحدى الطرق لآتية:

١ - توصيل محلي Localized Connection، وفيه تتم عملية تصحيح معامل القدرة على كل جزء على حدة. يتم توصيل المكثفات على التوازي مع المغذيات الصغيرة small feeders أو على الدوائر الفرعية للمحركات، أو يتم التوصيل مباشرة على المحرك أو الحمل أو مجموعة الأحمال، ويتم فتح وقفل تلك المكثفات مع المحرك. ويجب توصيل المكثف بحيث يكون أقرب ما يمكن للحمل وذلك للحصول على أحسن فائدة ممكنة.

٢ - توصيل تجميعي group connection، وفيه يتم توصيل المكثف على قضيب توزيع يغذي مجموعة من الأحمال أو على مصدر التغذية الرئيسي سواء

على جانب الجهد المنخفض أو على جانب الجهد العالي . يبين
الشكل ٤ - ١ الطرق العامة في توصيل مكثفات التوازي وذلك تبعاً
للمواصفة (NEC-460 1990) .



إن اختيار الطريقة المناسبة التي يتم بها توصيل المكثف يعتمد على عدة عوامل من أهمها ما يأتي :

- ١ - إقتصاديات التركيب والتشغيل
- ٢ - طبيعة الأحمال (محركات - أفران - محولات . . .)
- ٣ - شروط وخطة التشغيل ، كأن تعمل مجموعة من الأحمال مثلاً في نفس الوقت أو أن توصل مجموعة من الأحمال المعينة على قضيب توزيع واحد ، أو غير ذلك .

سوف نتناول في هذا الباب طرق استخدام المكثفات بالنسبة لأهم الآلات والأجهزة التي تمثل القاسم المشترك في أغلب الصناعات ، وهي :

- ١ - المحركات .
- ٢ - المحولات .
- ٣ - أجهزة اللحام
- ٤ - الأفران

٢.٤ تحسين معامل قدرة المحركات

يشراوح مقدار القدرة المردودة للمحركات الحثية بين (٠,٥ - ١,٠٠) كيلووات لكل كيلووات من قدرة المحرك الفعالة . ويعتمد هذا المقدار على سرعة المحرك ومقنن قدرته بالكيلووات ونسبة تحميله إلى مقنن قدرته . ويمكن ملاحظة الخواص المشتركة الآتية لكل المحركات الحثية :

أ - للمحركات التي لها نفس السرعة فإن معامل قدرتها يميل إلى الارتفاع بزيادة مقننات القدرة الفعالة لتلك المحركات . والعكس أيضاً صحيح ، حيث يميل معامل القدرة إلى الانخفاض بانخفاض مقنن القدرة الفعالة للمحركات التي لها نفس السرعة .

ب - لمحرك معين له مقنن قدرة فعالة فإن معامل القدرة له يميل إلى الانخفاض بانخفاض تحميل المحرك . ويرتفع معامل القدرة بارتفاع التحميل حتى يصل إلى أقصى قيمة له عند مقنن الحمل الكامل .

يعطي الجدول ٤ - ١ - أ قيماً نمطية لمتوسط القدرة المردودة للمحركات ذات السرعات العالية (١٠٠٠ - ٣٠٠٠ لفة/دقيقة) ، بينما يعطي الجدول

٤ - ١ - ب تلك القيم للمحركات ذات السرعات المنخفضة
(٣٧٥ - ٧٥٠ لفة/دقيقة).

جدول ٤ - ١ - ١

قيم نمطية للقدرة المردودة من المحركات الحثية (سرعة عالية)

السرعة المقننة (لفة/دقيقة)									مقنن المحرك (HP)
١٠٠٠			١٥٠٠			٣٠٠٠			
القدرة المردودة (ك.ف.أ.) عند نسبة مئوية من الحمل الكامل هي:									
٥٠	٧٥	١٠٠	٥٠	٧٥	١٠٠	٥٠	٧٥	١٠٠	
٠,٨	١,١	١,١	٠,٧	٠,٨	٠,٩	٠,٦	٠,٧	٠,٨	١
١,٣	١,٣	١,٥	١,٤	١,٤	١,٥	١,١	١,١	١,٢	٢
٢	٢	٢	١,٧	١,٨	٢,١	١,٥	١,٦	١,٧	٣
٢,٧	٢,٩	٣,٢	٢,٥	٢,٨	٣,٢	٢,١	٢,٣	٢,٦	٥
٣,٦	٣,٩	٤,٣	٣,٦	٣,٧	٤,٣	٢,٥	٢,٨	٣,٣	٧
٤,٥	٥	٥,٦	٤,٥	٤,٩	٥,٧	٣,٣	٣,٩	٤,٤	١٠
٦,٣	٦,٩	٨,٢	٦	٧	٨,٤	٥,٢	٦	٦,٧	١٥
٧,٨	٨,٨	١٠	٧	٩	١٠	٦	٧	٩	٢٠
١١	١٣	١٥	١١	١٢	١٤	٩	١٠	١٣	٣٠
١٥	١٦	١٩	١٤	١٦	١٧	١٢	١٤	١٦	٤٠
١٧	١٩	٢٣	١٧	٢٠	٢١	١٤	١٧	٢٠	٥٠
١٩	٢١	٢٤	١٧	٢٠	٢٤	١٦	١٧	٢٠	٦٠
٢٢	٢٥	٢٧	١٩	٢٢	٢٦	١٦	١٧	٢١	٧٠
٢٥	٢٩	٣١	٢١	٢٤	٣٠	١٨	٢٠	٢٤	٨٠
٢٨	٣٣	٣٧	٢٦	٣٠	٣٣	٢١	٢٢	٢٧	٩٠
٣٣	٣٨	٤٤	٢٩	٣٣	٣٧	٢٣	٢٥	٣٠	١٠٠
٣٤	٤١	٤٧	٣٤	٣٩	٤٤				١٢٠
٣٨	٤٦	٥٢	٣٧	٤٣	٤٨				١٤٠
٤٢	٥٢	٥٩	٤٠	٤٤	٥٦				١٦٠
٤٧	٥٦	٦٦	٤٥	٥٠	٦٣				١٨٠
٤٨	٥٨	٦٨	٤٦	٥٥	٦٣				٢٠٠
٥٣	٦٤	٧٥	٥٠	٦١	٦٨				٢٢٠
٥٧	٦٨	٨٦	٥٧	٦٩	٧٧				٢٥٠

جدول ٤ - ١ - ب
قيم نمطية للقدرة المردودة من المحركات الحثية (سرعة منخفضة)

السرعة المقننة (لفة/دقيقة)									مقنن المحرك (HP)
٣٧٥			٥٠٠			٧٥٠			
القدرة المردودة (ك.ف.ا.ر.) عند نسبة مئوية من الحمل الكامل هي:									
٥٠	٧٥	١٠٠	٥٠	٧٥	١٠٠	٥٠	٧٥	١٠٠	
			١,٤	١,٥	١,٥	١	١,١	١,٢	١
			٢,٥	٢,٨	٢,٨	١,٩	٢	٢,١	٢
			٣,٥	٣,٧	٣,٩	٢,٤	٢,٥	٢,٨	٣
			٤,٩	٥,٣	٥,٦	٣,٨	٤,٢	٤,٤	٥
			٦,٥	٦,٩	٧,١	٥,١	٥,٥	٥,٦	٧
			٦,٦	٧,٥	٨,٦	٦,٧	٧	٧,٤	١٠
			١٠	١١	١٣	٨,٧	٩,٧	١٠	١٥
			١٣	١٤	١٦	١٠,٨	١١,٩	١٢,٤	٢٠
			١٨	٢١	٢٢	١٥	١٧	١٨	٣٠
			٢٠	٢٤	٢٧	١٨	٢٠	٢١	٤٠
٢٨	٣٢	٣٦	٢٥	٢٩	٣٢	٢٢	٢٧	٢٩	٥٠
٣١	٣٤	٤١	٣٠	٣٥	٤٠	٢٥	٢٨	٣٠	٦٠
٣٦	٤٠	٤٧	٣٣	٣٧	٤٤	٢٥	٢٨	٣٣	٧٠
٣٩	٤٥	٥٣	٣٧	٤٣	٥٠	٢٦	٣٢	٣٧	٨٠
٤٤	٥١	٦٠	٣٨	٤٤	٥١	٢٩	٣٤	٤٠	٩٠
٤٧	٥٤	٦٢	٤٢	٤٩	٥٧	٣٢	٣٨	٤٤	١٠٠
			٤٥	٥٣	٦١	٣٨	٤٥	٥٣	١٢٠
			٥٢	٦٢	٧١	٤٢	٥٢	٦١	١٤٠
			٦٢	٧٥	٨٤	٤٧	٥٤	٦٦	١٦٠
						٥١	٥٨	٧٠	١٨٠
						٥٨	٦٨	٨٢	٢٠٠
						٦٤	٧٥	٩٠	٢٢٠
						٧٣	٨٥	١٠٣	٢٥٠

يتم تحسين معامل القدرة في المحركات الحثية عن طريق استخدام مكثفات على التوازي وذلك بإحدى الطرق الآتية:

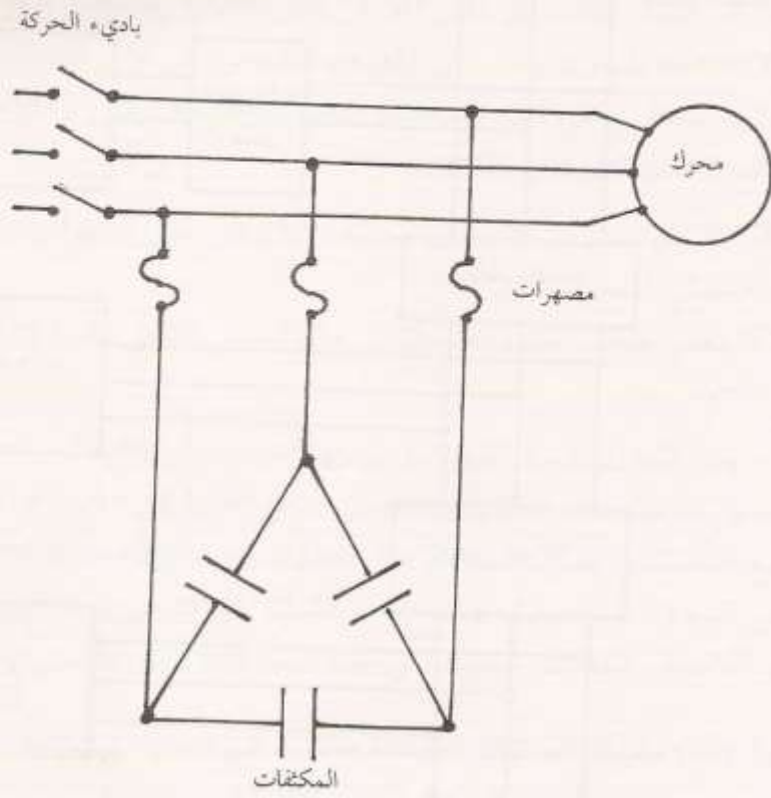
- أ - توصيل فردي على المحرك.
- ب - توصيل تجميعي محلي على مجموعة محركات.
- ج - توصيل مركزي على الجهد المنخفض.

إن اختيار الطريقة الملائمة يجب أن يتم بعد دراسة وافية وتحليل دقيق لجميع العوامل الفنية والاقتصادية التي تتضمن طريقة حساب تكاليف استهلاك الطاقة وكمية الخفض في المفقودات ومقدار زيادة قدرة كيلو فولت أمبير الشبكة وتحسين الجهد بالإضافة إلى تكاليف تركيب وتشغيل مكثفات تحسين القدرة. سوف نناقش فيما يلي كل طريقة من الطرق الثلاثة المذكورة بالتفصيل.

١.٢.٤ التوصيل الفردي (التحسين الفردي)

يتم في طريقة التحسين الفردي individual correction توصيل المكثف مباشرة على أطراف المحرك. ويتم توصيل المكثفات الثلاثة عادة على شكل دلتا كما هو مبين بالشكل ٤ - ٢. ويتم استعمال مكثف ذي مقنن كيلوفار ثابت، حيث يكون هذا المكثف مناسباً في جميع حالات تحميل المحرك. إن هذا يرجع إلى أن قيمة القدرة المردودة للمحرك لا تتغير على مدى كبير من اللاحمل إلى الحمل الكامل (راجع جدولي ٤ - ١ أ و ٤ - ١ ب). تعطى عملية التوصيل الفردي على المحرك أحسن النتائج من حيث تحسين معامل القدرة، حيث يعمل كل من المحرك والمكثف كوحدة واحدة بحيث يتم توصيلهما على مصدر القدرة أو فصلهما عنه كوحدة واحدة. ويمكن كذلك توصيل المحرك بين مصدر التغذية وبإحدى الحركة motor starter، كما يمكن توصيل المكثف عند أول مصدر التغذية. يبين الشكل ٤ - ٣ المواضع المختلفة للمكثف.

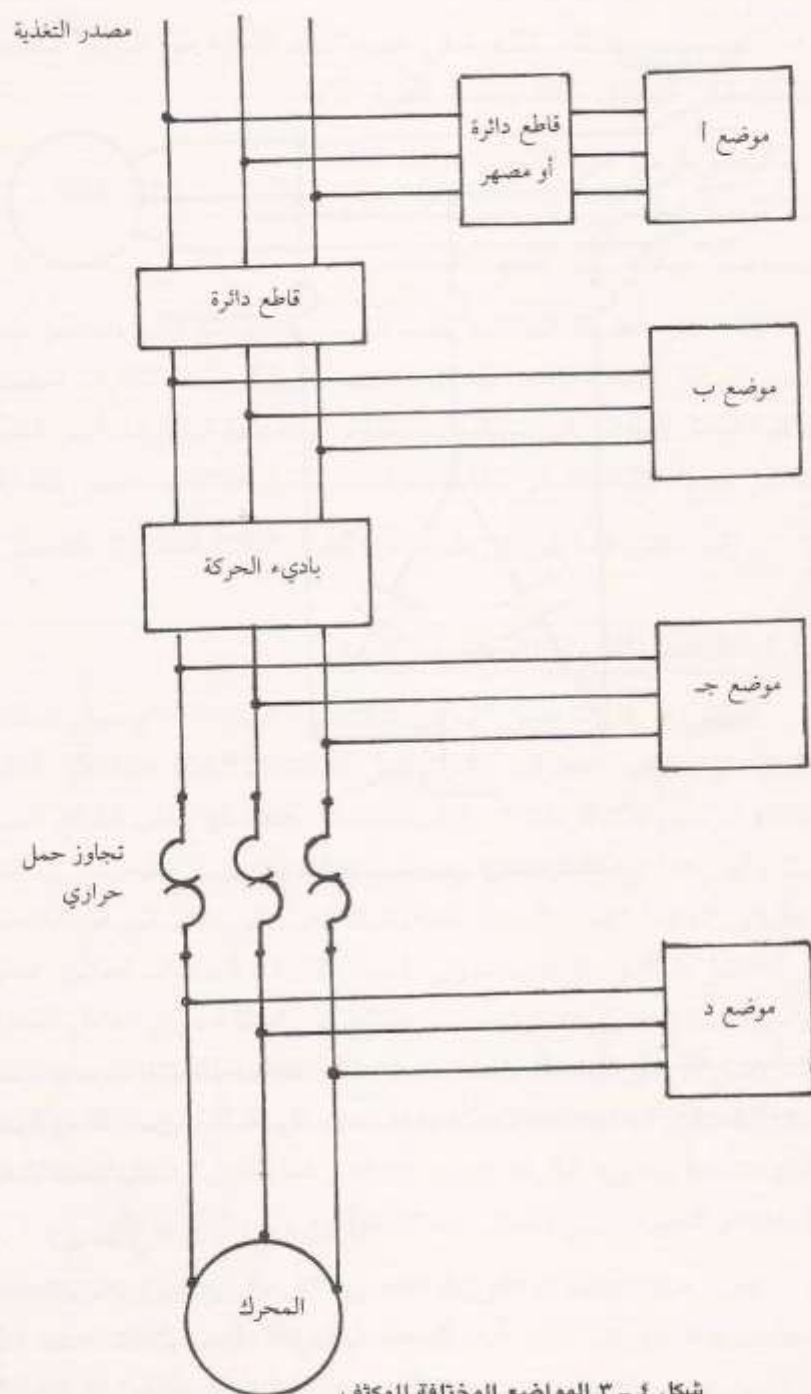
يجب عند استعمال طريقة التحسين الفردي تحديد مقنن المكثف المطلوب بدقة شديدة، حيث أن زيادة حجم المكثف قد ينشأ عنه تجاوز خطير في الجهد في لحظات معينة من التشغيل قد ينتج عنه تدمير المحرك والمكثف



شكل ٤ - ٢ التحسين الفردي للمحركات

معاً. تحدث تلك اللحظات عادة عندما يكون المحرك والمكثف معاً على التوازي أثناء دوران المحرك وهما مفصولان عند مصدر التغذية كما في الحالات الآتية:

- i - عند فصل المنبع عن المحرك.
- ii - عند تحويل ياديء الحركة من نجمة إلى دلتا
- iii - عند استعمال محول ذاتي لبدا الحركة
- iv - عند عمل قاطع الدائرة أو انصهار المصهر.



شكل ٤ - ٣ المواضع المختلفة للمكثف

إن اختيار مكثف ذي مقنن أكبر من مقنن الكيلوفولت أمبير اللاحملي no-load KVA للمحرك يتسبب في رفع جهد المحرك في مثل تلك الحالات المذكورة سابقاً. وعلى ذلك فإن معظم الخبرات العالمية توصي باختيار حجم المكثف بإحدى الطريقتين الآتيتين:

- ١ - ألا يتعدى مقنن (ك.ف.أ.ر) للمكثف ٩٠٪ من مقنن الكيلوفولت أمبير اللاحملي للمحرك.
- ٢ - ألا يتعدى معامل القدرة للمحرك في حالة الحمل الكامل القيمة (٠,٩٨) متأخر.

يبين الجدول ٤ - ٢ القيم الموصى بها لمقننات المكثفات المستعملة في التحسين الفردي للمحركات بحيث تحسن معامل القدرة إلى ٠,٩٥ أو أكبر عند جميع الأحمال. ويمكن استخدام هذا الجدول بثقة تامة للمحركات العادية وحتى قدرة (١٠٠ حصان). وننصح عند الشك بالتأكد من قيمة الكيلوفولت أمبير اللاحملي للمحرك وخصوصاً في حالة المحركات ذات التصميم الخاص.

جدول ٤ - ٢ مقننات المكثفات الموصلة مباشرة على المحركات الحثية لتحسين معامل القدرة إلى ٠,٩٥ على الأقل لجميع الأحمال.

مقنن المكثف بالكيلوفار عند سرعة (لفة/دقيقة):						مقنن المحرك
٥٠٠	٦٠٠	٧٥٠	١٠٠٠	١٥٠٠	٣٠٠٠	(HP)
١,٥	١,٥	١,٥	١	١	٠,٥	٢,٥
٣	٣	٢,٥	١,٥	١,٥	١	٥
٤	٤	٣	٢,٥	٢	١,٥	٧,٥
٥	٥	٤	٣	٣	٢,٥	١٠
٦	٦	٥	٤	٣	٣	١٢,٥
٦	٦	٦	٤	٤	٣	١٥
٨	٨	٦	٥	٤	٤	١٧,٥
١٠	٨	٦	٦	٥	٥	٢٠
١٠	٨	٨	٦	٥	٥	٢٢,٥
١٢	١٠	٨	٦	٦	٦	٢٥

12	10	10	8	7	7	27,0
12	12	10	8	8	7	30
12	12	10	8	8	7	32,0
12	12	12	10	8	8	30
16	12	12	10	8	8	37,0
16	12	12	10	10	8	20
16	12	12	12	10	8	22,0
18	16	12	12	10	8	20
18	16	12	12	10	10	27,0
18	18	16	12	12	10	00
20	18	16	12	12	10	00
22	20	18	12	12	12	70
22	20	18	16	12	12	70
22	22	18	18	12	12	70
22	22	20	18	16	12	70
24	22	20	20	16	12	80
24	22	22	20	18	12	80
24	26	22	22	20	16	90
24	28	22	22	20	16	90
24	28	26	22	22	18	100
24	30	26	22	22	18	100
24	30	28	26	22	18	110
24	32	28	26	22	20	110
26	32	28	26	26	20	120
26	32	30	28	26	22	120
28	32	30	28	26	22	130
28	32	30	28	28	22	130
28	36	32	30	28	22	140
28	36	32	30	28	26	140
28	36	32	30	28	26	150
28	38	32	30	30	26	150
28	38	32	32	30	28	160
28	40	36	32	30	28	170
28	40	36	32	32	30	170
00	42	38	32	32	30	170

٥٠	٤٤	٣٨	٣٤	٣٤	٣٠	١٨٠
٥٢	٤٤	٣٨	٣٤	٣٤	٣٠	١٨٥
٥٢	٤٦	٤٠	٣٦	٣٤	٣٢	١٩٠
٥٤	٤٦	٤٢	٣٦	٣٤	٣٢	١٩٥
٥٤	٤٦	٤٤	٣٦	٣٦	٣٢	٢٠٠
٥٦	٤٨	٤٤	٣٨	٣٦	٣٢	٢٠٥
٥٨	٤٨	٤٦	٣٨	٣٦	٣٤	٢١٠
٥٨	٥٠	٤٦	٣٨	٣٦	٣٤	٢١٥
٦٠	٥٠	٤٨	٣٨	٣٦	٣٤	٢٢٠
٦٢	٥٢	٤٨	٤٠	٣٨	٣٦	٢٢٥
٦٢	٥٢	٥٠	٤٠	٣٨	٣٦	٢٣٠
٦٤	٥٤	٥٠	٤٢	٤٠	٣٦	٢٣٥
٦٦	٥٦	٥٢	٤٢	٤٠	٣٨	٢٤٠
٦٦	٥٦	٥٢	٤٢	٤٠	٣٨	٢٤٥
٦٨	٥٨	٥٤	٤٤	٤٢	٤٠	٢٥٠

يعطي الجدول ٤ - ٣ مقننات المكثفات المستعملة لتحسين معامل قدرة المحركات الحثية التي تعمل على تردد ٦٠ هرتز مع النسبة المئوية في خفض التيار (Ampere Reduction (AR والتي تعطى بالعلاقة:

$$AR\% = 100 \left\{ 1 - \frac{\cos\phi_1}{\cos\phi_2} \right\} \dots\dots\dots (4.1)$$

حيث $\cos\phi_1$ معامل القدرة قبل التحسين و $\cos\phi_2$ معامل القدرة بعد التحسين وتستخدم تلك القيم لرفع معامل القدرة إلى حوالي ٠,٩٥

يبين الشكل ٤ - ٤ مثلاً تطبيقاً على التوصيل الفردي للمكثفات على أنواع ومقننات مختلفة من المحركات (مستخلصة من NEC 460-7, 1990).

يجب أخذ الملاحظات الآتية في الاعتبار عند استخدام التحسين الفردي لمعاملات قدرة المحركات الحثية:

١ - إن التحسين الفردي يكون مناسباً في حالات التشغيل المستمر على حمل ثابت تقريباً، وذلك بالنسبة لكل محرك على حدة.

جدول ٤ - ٣ مقننات المكثفات لتحسين معامل قدرة المحركات (٦٠ هرتز)*

سرعة المحرك المقننة (لفة/دقيقة)												مقنن
٣٦٠٠		١٨٠٠		١٢٠٠		٩٠٠		٧٢٠		٦٠		المحرك
مقنن	نسبة	مقنن	نسبة	مقنن	نسبة	مقنن	نسبة	مقنن	نسبة	مقنن	نسبة	HP
المكثف ك.ف. التيار	خفض المكثف	المكثف ك.ف. التيار	خفض المكثف	المكثف ك.ف. التيار	خفض المكثف	المكثف ك.ف. التيار	خفض المكثف	المكثف ك.ف. التيار	خفض المكثف	المكثف ك.ف. التيار	خفض المكثف	
١,٥	١٤	١,٥	١٥	٢	٢٠	٢	٢٧	٢,٥	٣٥	٣,٥	٤١	٣
٢	١٢	٢	١٣	٣	١٧	٣	٢٥	٤	٣٢	٤,٥	٣٧	٥
٢,٥	١١	٢,٥	١٢	٤	١٥	٤	٢٢	٥,٥	٣٠	٦	٣٤	٧,٥
٣	١٠	٣	١١	٥	١٤	٥	٢١	٦,٥	٢٧	٧,٥	٣١	١٠
٤	٩	٤	١٠	٦,٥	١٣	٦,٥	١٨	٨	٢٣	٩,٥	٢٧	١٥
٥	٩	٥	١٠	٧,٥	١٢	٧,٥	١٦	٩	٢١	١٢	٢٥	٢٠
٦	٩	٦	١٠	٧,٥	١١	٧,٥	١٥	١١	٢٠	١٤	٢٣	٢٥
٧	٨	٧	٩	٩	١١	٩	١٤	١٢	١٨	١٦	٢٢	٣٠
٩	٨	٩	٩	١١	١٠	١٢	١٣	١٥	١٦	٢٠	٢٠	٤٠
١٢	٨	١١	٩	١٥	١٠	١٢	١٢	١٩	١٥	٢٤	١٩	٥٠
١٤	٨	١٤	٨	١٨	١٠	١٨	١١	٢٢	١٥	٢٧	١٩	٦٠
١٧	٨	١٦	٨	٢١	١٠	٢١	١٠	٢٦	١٤	٣٢,٥	١٨	٧٥
٢٢	٨	٢١	٨	٢٧	٩	٢٧	١٠	٣٢,٥	١٣	٤٠	١٧	١٠٠
٢٧	٨	٢٦	٨	٣٠	٩	٣٢,٥	١٠	٤٠	١٣	٤٧,٥	١٦	١٢٥
٣٢,٥	٨	٣٠	٨	٣٥	٩	٣٧,٥	١٠	٤٧,٥	١٢	٥٢,٥	١٥	١٥٠
٤٠	٨	٣٧,٥	٨	٤٢,٥	٩	٤٧,٥	١٠	٤٧,٥	١٢	٦٥	١٤	٢٠٠
٥٠	٨	٤٥	٨	٥٢,٥	٨	٥٧,٥	٩	٥٧,٥	١١	٧٧,٥	١٣	٢٥٠
٥٧,٥	٨	٥٢,٥	٨	٦٠	٨	٦٥	٩	٨٠	١١	٨٧,٥	١٢	٣٠٠
٦٥	٨	٦٠	٨	٦٧,٥	٨	٧٥	٩	٨٧,٥	١٠	٩٥	١١	٣٥٠
٧٠	٨	٦٥	٨	٧٥	٨	٨٥	٩	٩٥	١٠	١٠٥	١١	٤٠٠
٧٥	٨	٦٧,٥	٨	٨٠	٨	٩٢,٥	٩	١٠٠	٩	١١٠	١١	٤٥٠
٧٧,٥	٨	٧٢,٥	٨	٨٢,٥	٨	٩٧,٥	٩	١٠٧,٥	٩	١١٥	١٠	٥٠٠

60Hz NEMA Class B (*)

٢ - لا يُفضل استخدام التحسين الفردي في حالات المحركات التي تعمل على أحمال متقطعة (كمحركات الأوناش مثلاً)، ولا في حالات المحركات التي تتعرض لعمليات عكس الحركة. وعند الضرورة لاستخدام التحسين

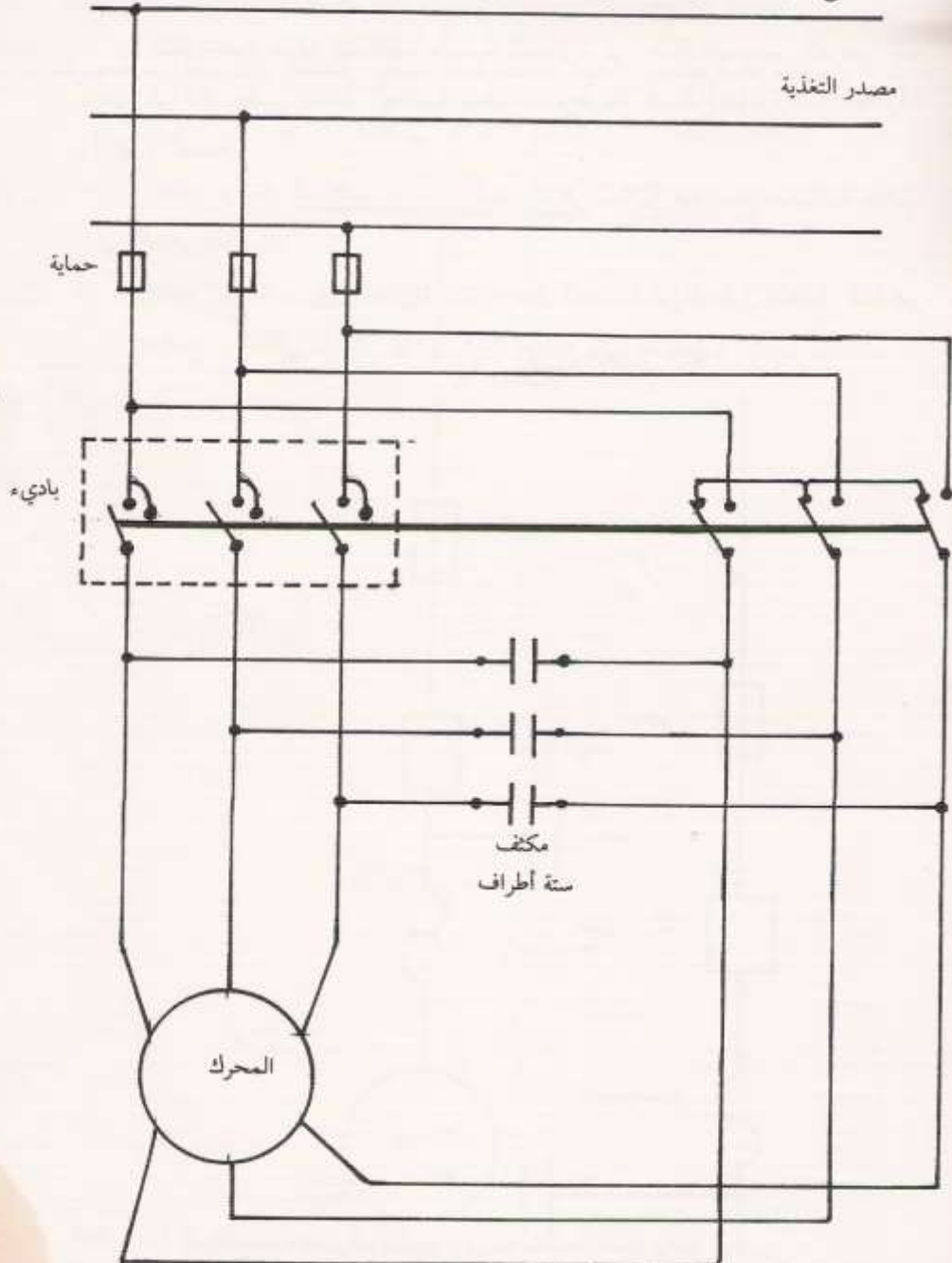
الفردى فىجب ألا يزىء مقنن كيلوفار المكثف عن هذا الذى ىستخدم للقدرة المستمرة للمحرك، حيث تكون قدرة المحرك المستمرة أقل بكثير من قدرته المتقطعة. وىجب استشارة مصنع المحركات بهذا الشأن.

٣- ىجب الاحتياط جيداً عند استخدام التحسين الفردى لمحركات ذات فرملة تعمل بفقد الجهد، حيث يلزم استخدام نظام تحكم وفصل بحيث ىتم عزل المحرك والفرملة تماماً عن المكثف فى وضع السكون. كما ىجب عمل الاحتياطات اللازمة عند وجود أجهزة تحكم الكترونية موصلة مع المحرك حتى لا تتعرض تلك الأجهزة إلى التدمير بسبب ارتفاع الجهد عند خفض الحمل أو فصله.

٤- إن تأثير وضع المكثف فى تحسين معامل القدرة وخفض تيار التغذية ىبدأ من موضع المكثف وىتجه نحو مصدر التغذية وليس نحو الحمل، وعلى ذلك فإن وضع المكثف أقرب ما ىمكن من المحرك يقلل الفقد فى الدائرة بين الحمل وأجهزة القياس كما ىخفف من الحمل على محول التوزيع. كما أن وضع المكثف بجوار المحرك ىرفع من الجهد مما يؤدى إلى أداء أفضل للمحرك. إلا أن الخطر الأساسى من تلك الطريقة هو أن يزىء الارتفاع فى الجهد عن الحدود المسموح بها فى حالة الأحمال الخفيفة، حيث يقل تأثير تيار الحمل الحثى بينما يزىء تيار المكثف السعوى (أو ىظل كما هو على وجه التقريب)، حيث ىعتمد تيار المكثف أساساً على جهد نقطة التوصيل.

٥- تستخدم المكثفات عادة على هيئة دلتا فى المحركات سواء فى لحظة البدء starting أو بعد التشغيل، وذلك عند استخدام باديء حركة نجمة دلتا. وىمكن توصيل المكثفات على شكل نجمة عند بدء الحركة ثم تحويلها بعد ذلك إلى دلتا مع المحرك. وتستخدم تلك الطريقة عندما ىكون معامل القدرة للمحرك منخفضاً نسبياً بحيث أن الحاجة تدعو إلى استخدام أقصى كيلوفار للمكثف عند التشغيل. تسمى توصيلة الدلتا للمكثف توصيلة بثلاثة أطراف three-terminal capacitor، بينما تسمى توصيلة النجمة توصيلة بستة أطراف six-terminal capacitor. وىجب مراعاة أنه إذا كان المحرك مزوداً بباديء حركة نجمة - دلتا تلقائى العمل فىمكن توصيل المكثفات بطريقة

طبيعية. أما إذا كان باديء الحركة من النوع الميكانيكي فيجب استعمال مكثفات خاصة لهذا الغرض، حيث تكون تلك المكثفات موصلة على شكل نجمة عند بدء الحركة مما يعرضها لجهود أكبر. يبين الشكل ٤ - ٥



شكل ٤ - ٥ توصيل مكثف بستة أطراف مع باديء حركة نجمة - دلتا ميكانيكي

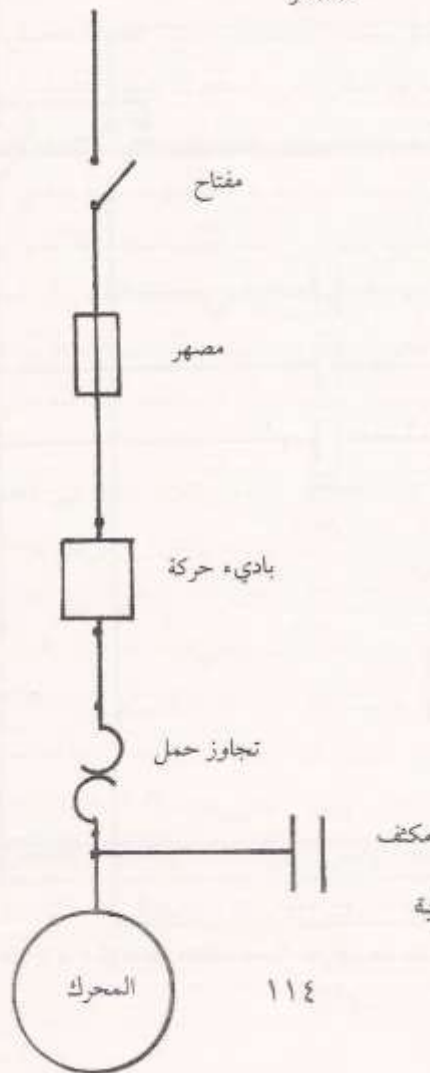
توصيلة المكثفات باستخدام بادئ حركة نجمة - دلتا ميكانيكي . ويمكن استعمال تلك المكثفات بعد ذلك لأي توصيل .

موقع المكثف

عند اختيار موقع المكثف بالنسبة للمحرك في حالة التحسين الفردي فإنه يجب مراعاة بعض النقاط الخاصة بمقننات وطريقة ضبط أجهزة بدء الحركة وأجهزة الحماية .

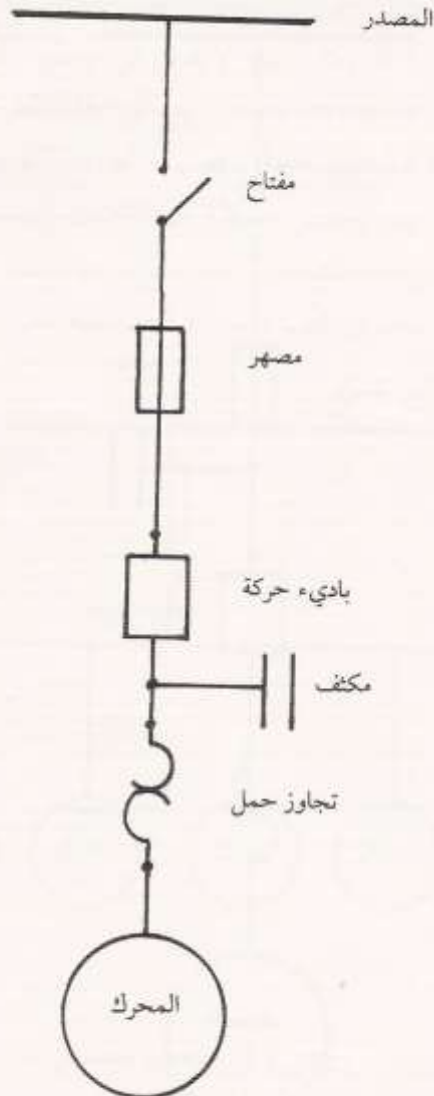
يمكن وضع المكثف بالنسبة للمحرك في ثلاثة مواضع مختلفة وذلك على النحو التالي :

أ - يوضع المكثف بين المحرك وبين جهاز الحماية من تجاوز الحمل كما هو موضح بالشكل ٤ - ٦ . يؤدي هذا الوضع إلى ما يأتي :



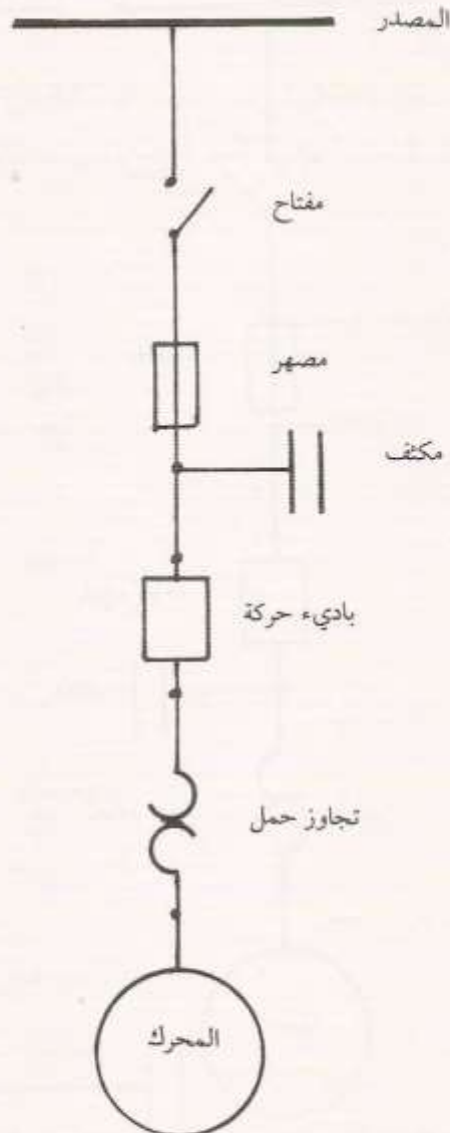
شكل ٤ - ٦ المكثف بين المحرك وحماية تجاوز الحمل.

- i - يعتمد حجم المكثف على تيار مغنطة المحرك .
 ii - ينخفض تيار باديء الحركة وكذلك التيار المار في جهاز الحماية من تجاوز الحمل ، بحيث يحتاج الأمر إلى إعادة ضبط جهاز الحماية .
 ب - يوضع المكثف بين جهاز الحماية من تجاوز الحمل وبين باديء الحركة كما في شكل ٤ - ٧ . يؤدي هذا الوضع إلى ما يأتي :



شكل ٤ - ٧ المكثف بين باديء الحركة وتجاوز الحمل.

- i - يعتمد حجم المكثف على تيار مغنطة المحرك .
 - ii - ينخفض تيار باديء الحركة .
 - iii - لا يتغير تيار جهاز حماية تجاوز الحمل ولا يحتاج الجهاز بذلك إلى عملية إعادة الضبط .
- ح - يوضع المكثف قبل باديء الحركة من ناحية مصدر التغذية كما في شكل ٤ - ٨ . يؤدي هذا الوضع إلى ما يأتي :

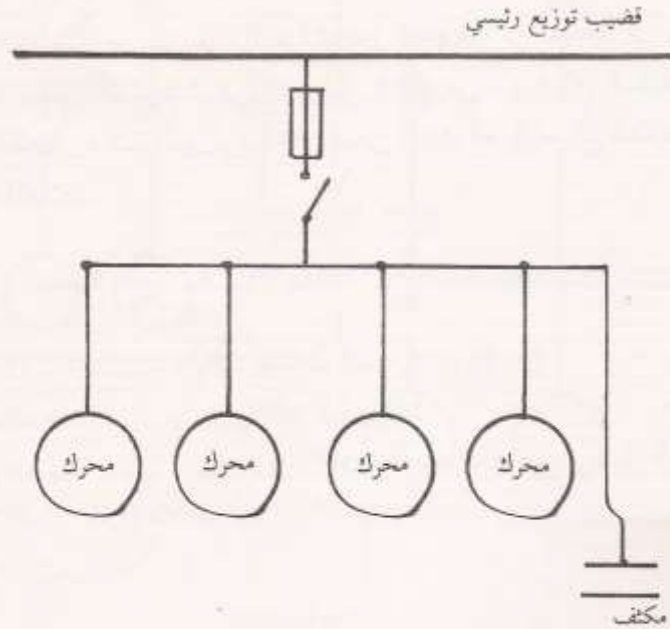


شكل ٤ - ٨ المكثف بين مصدر التغذية وباديء الحركة .

- i - لا يعتمد حجم المكثف على تيار مغنطة المحرك .
- ii - لا يتغير تيار باديء الحركة .
- iii - لا يتغير تيار جهاز حماية تجاوز الحمل ، ولا يحتاج الجهاز بذلك إلى إعادة ضبط .

٢.٢.٤ التوصيل التجميعي

رغم أن التوصيل الفردي يحقق أقصى استفادة من عملية التحسين في معامل القدرة، إلا أنه قد يكون من الأفضل في بعض الأحيان استخدام طريقة التحسين التجميعي group correction . يتم في هذه الطريقة توصيل المكثف بملامسه Contactor الخاص به على قضيب التوزيع الموصل عليه مجموعة من المحركات ، حيث يتم تحسين معامل قدرة تلك المحركات معاً كما في الشكل ٤ - ٩ . يكون هذا التوصيل أنسب من وجهة النظر الهندسية والاقتصادية في الحالات التي تحتوي فيها المنشأة الصناعية على عدد من المحركات



شكل ٤ - ٩ التحسين التجميعي .

الصغيرة، حيث يكون من الأفضل تجميع مجموعة تلك المحركات وتحسين معامل القدرة لها معاً. ويتم اللجوء إلى ذلك عندما يكون من غير المناسب إيجاد مكثف ذي مقنن مناسب لكل محرك على حدة.

نجد أيضاً أن كثيراً من المنشآت الصناعية لا تعمل دائماً على نفس الحمل الموصل Connected load في نفس الوقت (الحمل الموصل هو مجموع مقننات جميع أحمال المنشأة لو عملت كلها في نفس الوقت)، وعلى العكس من ذلك فإن أغلب المنشآت تعمل على أقصى طلب maximum demand يساوي ٦٠٪ من الحمل الموصل على وجه التقريب (أي على معامل طلب de-mand factor يساوي ٦٠٪)، بينما تكون ٤٠٪ من الأحمال متوقفة أو احتياطية. معنى ذلك أن توصيل مكثف على قضيب التوزيع الرئيسي لمجموعة الأحمال العاملة فعلاً (٦٠٪ من الحمل الموصل) يحقق نسبة توفير اقتصادية عالية (حوالي ٤٠٪) في سعر المكثف المطلوب فيما لو تم توصيل كل محرك بالمكثف الخاص به.

علاوة على ما سبق فإن ظاهرة تجاوز الجهد التي تحدث في التوصيل الفردي لا يمكن أن تحدث في التوصيل التجميعي نظراً لأن المكثف متصل بمفتاحه الخاص به كما سبق توضيحه. يمكن لذلك اختيار حجم المكثف بحرية أكبر تبعاً للعلاقة:

$$Q_C = \frac{P_1}{\eta_1} \tan \phi_1 + \frac{P_2}{\eta_2} \tan \phi_2 + \dots + \frac{P_n}{\eta_n} \tan \phi_n$$

حيث: P_1, P_2, \dots, P_n : مقننات المحركات (ك.و)

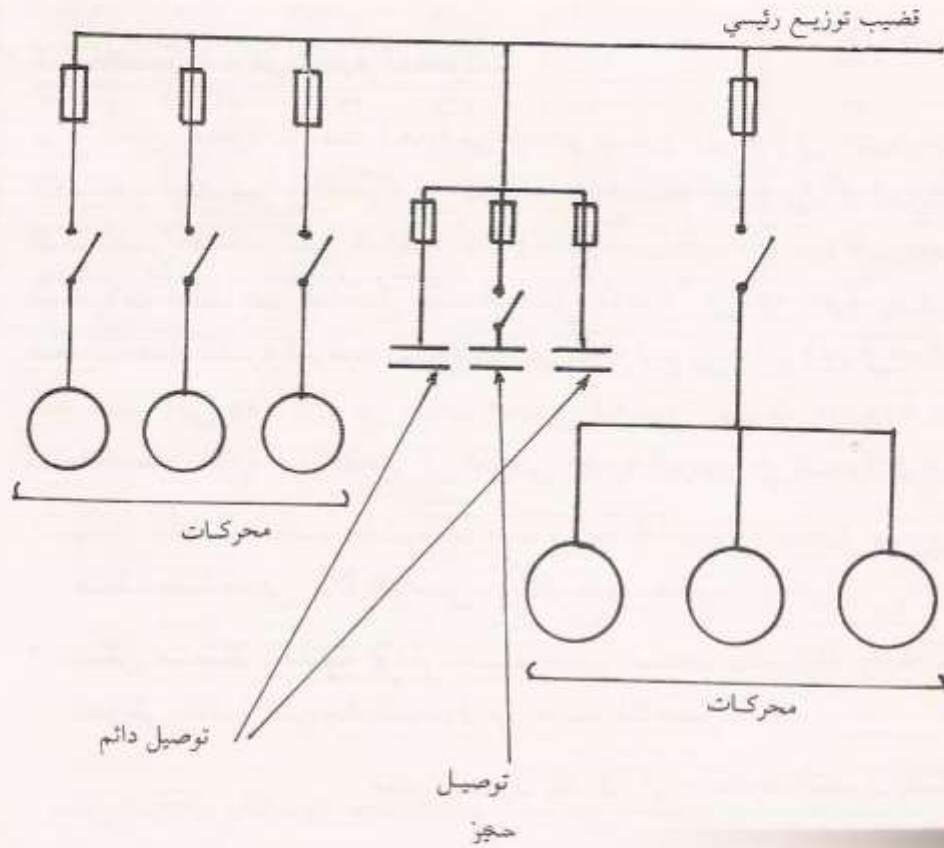
$\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n$: كفاءة المحركات

$\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n$: زوايا القدرة للمحركات قبل توصيل المكثف

Q_C : مقنن المكثف (ك.ف.أ.ر).

٣.٢.٤ التوصيل المركزي

التوصيل أو التحسين المركزي centralized correction هو عملية التحكم في القدرة المردودة عن طريق توصيل المكثف على لوحات التوزيع مباشرة وذلك على جانب الجهد المنخفض كما هو مبين بالشكل ٤ - ١٠. ويتكون المكثف عادة من مجموعة ثابتة من المكثفات تظل موصلة دائماً بصرف النظر عن مقدار الحمل، ومجموعة أخرى يتم توصيلها على الدائرة أو فصلها بطريقة ذاتية على خطوات، حيث يتم المحافظة على معامل القدرة الكلي في حدود (٠,٩٧). يمكن بهذه الطريقة تجنب ارتفاعات الجهد في فترات اللاحمل أو الأحمال الخفيفة.



شكل ٤ - ١٠ التحسين المركزي

تغذى المكثفات الدائمة الشبكة بكمية من القدرة المردودة وذلك بصفة دائمة. أما المكثفات المتحكم فيها ذاتياً فإنها تزود بمنظم متحكم في القدرة المردودة بحيث يعمل على فصل أو توصيل مجموعة المكثفات على خطوات في حدود (٥٠ - ١٠٠ ك.ف.ا.ر) للخطوة الواحدة. وتوجد أنواع مختلفة من أجهزة التحكم المستعملة في مجالات الصناعة تكون حساسة لأحد متغيرات التشغيل (الجهد - التيار - الكيلوفار). كما يوجد بعض الأنواع التي تعمل تبعاً للزمن. وعلى المهندس دراسة واختيار الطريقة الأنسب لظروف التشغيل.

إن اللجوء إلى التحسين المركزي يكون مفيداً عند وجود أعداد كبيرة من الأحمال أو عندما تكون دورة الحمل حادة التغيرات بحيث يلزم فصل المكثفات أو توصيلها تبعاً لقيمة الحمل.

٣.٤ تحسين معامل قدرة المحولات

تعتبر المحولات مصدراً هاماً من مصادر القدرة المردودة في الشبكات الكهربائية، حيث يحتاج المحول إلى قدرة مردودة لمغنطة القلب وإنشاء المجال المغناطيسي داخله. يبين الجدول ٤ - ٤ القيم النمطية للقدرة المردودة للمحولات وذلك عند اللاحمل وعند التحميل الكامل. ويمكن القول بصفة عامة أن مقدار القدرة المردودة لمحولات التوزيع يتراوح بين (١ - ٢٪) في حالة اللاحمل وبين (٤ - ٦٪) في حالة الحمل الكامل. ويمكن الاسترشاد بالملاحظات الآتية عند اللجوء إلى تعويض القدرة المردودة في المحولات:

- ١ - يمكن اعتبار أن مقدار القدرة المردودة في حالة الحمل الكامل يساوي ضعف مقدارها في حالة اللاحمل، وذلك بصفة عامة.
- ٢ - يمكن استعمال العلاقة الآتية لتحديد حجم المكثف بالكيلوفار واللازم لتعويض القدرة المردودة للمحول في حالة اللاحمل:

$$\text{مقنن المكثف بالكيلوفار} = \frac{\text{مقنن المحول (ك.ف.ا.)} \times \text{معاوقة المحول بالمائة}}{200}$$

٢٠٠

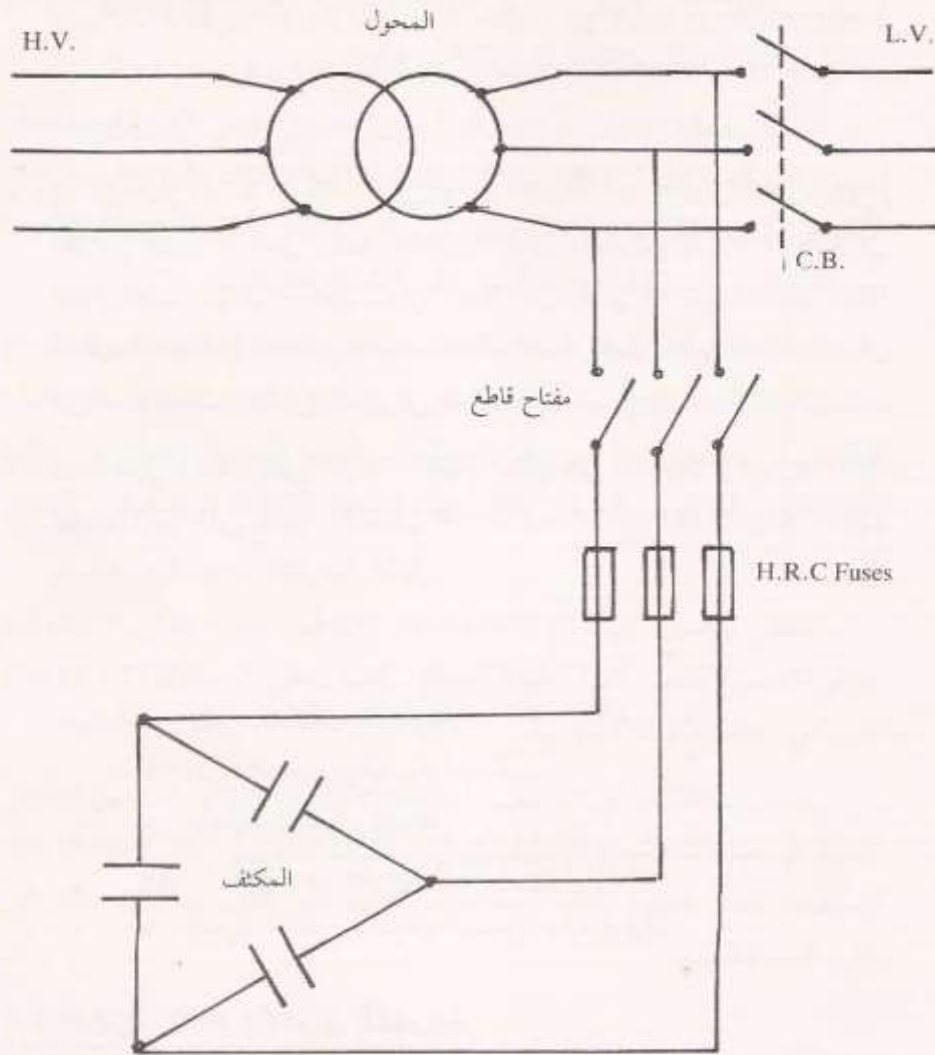
جدول ٤ - ٤ القدرة المربودة في محولات التوزيع (ف.١.ر)

٢٣/١٧,٥/١٢/٧,٢ ك.ف.		٢٤ ك.ف.		٣٦ ك.ف.		المقنن ك.ف. ١.
حامل كامل	لا حامل	حامل كامل	لا حامل	حامل كامل	لا حامل	
١٣٦٠	١٠٨٠	—	—	—	—	١٦
٢١٣٠	١٥٠٠	٢٤٧٠	١٧٤٠	٢٩٨٠	١٩٥٠	٢٥
٣١٧٠	٢٠٢٠	٣٦٨٠	٢٣٢٠	٣٨٨٠	٢٥٢٠	٤٠
٤٤٦٠	٢٥٠٠	٥٣٠٠	٣٠٢٠	٥٧٦٠	٣٤٨٠	٦٣
٥٣٤٠	٢٧٦٠	٦٥٤٠	٣٥٦٠	٧٢٦٠	٤٢٨٠	٨٠
٦٩٢٠	٣٦٠٠	٧٩٦٠	٤١٦٠	٨٨٨٠	٥٠٨٠	١٠٠
٨٧٦٠	٤٥٠٠	٩٨٦٠	٥٠٠٠	١١٠٠٠	٦١٤٠	١٢٥
١٠٥٨٠	٥٠٠٠	١٢٣٩٠	٦٠٥٠	١٣٨٤٠	٧٥٠٠	١٦٠
١٣٥٥٠	٦٣٠٠	١٥١٦٠	٧١٦٠	١٦٩٠٠	٨٩٠٠	٢٠٠
١٦٩٥٠	٧٨٠٠	١٨٩٧٠	٨٦٢٠	٢١٠٥٠	١٠٧٠٠	٢٥٠
٢١٧٠٠	١٠٠٠٠	٢٣٨٠٠	١٠٣٠٠	٢٦١٠٠	١٢٦٠٠	٣١٥
٢٥٧٠٠	١٠٨٠٠	٣٠٠٠٠	١٣٢٠٠	٣٢٠٠٠	١٥٢٠٠	٤٠٠
٣٢٣٠٠	١٣٥٠٠	٣٦٨٠٠	١٥٨٠٠	٣٩٠٠٠	١٨٠٠٠	٥٠٠
٤٠٧٠٠	١٧٠٠٠	٤٣٦٠٠	١٨٨٠٠	٤٦٠٠٠	٢١٢٠٠	٦٣٠

جدول ٤ - ٥ مقننات المكثفات للتوصيل المباشر على المحول

مقنن المحول ك.ف.أ	مقنن المكثف (ك.ف.أ) عند جهد		
	١٠/٥ ك.ف	٢٠/١٥ ك.ف	٣٠/٢٥ ك.ف
٢٥	٢	٢,٥	٣
٤٠	٣	٤	٥
٥٠	٤	٥	٦
٦٣	٥	٦	٧
٧٥	٥	٦	٧
٨٠	٦	٧	٨
١٠٠	٦	٨	١٠
١٢٥	٧	٨	١٠
١٦٠	١٠	١٢	١٥
٢٠٠	١٠	١٥	٢٠
٢٥٠	١٥	١٨	٢٢
٣١٥	١٨	٢٠	٢٥
٤٠٠	٢٠	٢٢	٢٨
٥٠٠	٢٠	٢٥	٣٠
٦٣٠	٣٠	٣٢	٤٠
٧٥٠	٣٠	٣٥	٤٥
١٠٠٠	٤٥	٥٠	٥٥

٣ - عند توصيل المكثف بصفة دائمة على جانب الجهد المنخفض من المحول (كما في شكل ٤ - ١١) فيجب ألا يزيد مقنن هذا المكثف عن (١٠ - ١٥٪) من مقنن المحول وذلك لتجنب ارتفاعات الجهد في حالات التحميل الخفيف أو حالة اللاحمل . ويبين الجدول ٤ - ٥ مقننات المكثفات الموصى بها لتحسين معامل قدرة المحولات عن طريق التوصيل المباشر المستمر على جانب الجهد المنخفض .



شكل ٤ - ١١ توصيل المكثف على جانب الجهد المنخفض للمحول.

٤ - يجب ملاحظة أن اختيار حجم المكثف يتأثر إلى حد كبير بوجود التوافقيات الناشئة سواء نتيجة لتشبع قلب المحول أو لوجود أحمال لخطية تكون مصدراً لتلك التوافقيات. إن خطورة تلك التوافقيات ينتج أساساً من احتمال حدوث رنين resonance على إحدى هذه التوافقيات مما يعرض المحول

والمكثف لخطورة حدوث تحاوزات خطيرة في الجهد أو التيار. ويجب دراسة هذا الموضوع بعناية عند استعمال مكثفات على التوازي مع المحول.

٥ - إن التوصيل الدائم للمكثف على جانب الجهد المنخفض للمحول يرفع كلاً من جهد اللاحمل وجهد الحمل الكامل للمحول، إلا أنه لا يغير في مقدار تنظيم جهد المحول. وفي حالة الرغبة في تحسين تنظيم الجهد فيجب استخدام مكثفات ذاتية التحكم حيث تعمل هذه المكثفات في فترات الأحمال العالية وتفصل في فترات الأحمال الخفيفة واللاحمل.

٦ - إن توصيل مكثف على أطراف الجهد المنخفض للمحول يرفع جهد هذا المحول من على جانبيه. ويمكن حساب قيمة ارتفاع جهد أطراف المحول باستخدام المعادلة التقريبية الآتية:

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{Q}{P} \cdot X$$

حيث: Q : مقنن المكثف بالكيلوفار

P : مقنن المحول بالكيلوفولت أمبير

X : مفاعلة المحول بالمائة

ΔV : ارتفاع جهد أطراف المحول بالكيلوفولت

V : الجهد المقنن لأطراف المحول بالكيلوفولت.

٤.٤ أجهزة اللحام والأفران الكهربائية

تتميز أجهزة اللحام والأفران الكهربائية ببعض الخصائص التي يكون لها تأثير مباشر أو غير مباشر على منظومة التغذية. أهم هذه الخصائص هي ما يأتي:

- ١ - تحتاج تلك الأحمال إلى كميات كبيرة من التيار على جهود منخفضة، ويتم ذلك عن طريق استخدام محولات خافضة للجهد.
- ٢ - تمثل تلك الأجهزة أحمالاً غير متزنة بالنسبة للشبكة.
- ٣ - معامل القدرة لمثل تلك الأحمال منخفض بدرجة كبيرة.

٤ - تتسبب تلك الأحمال في حدوث ظاهرة انغماس الجهد voltage dip ، وذلك نظراً لأنها أحمال متقطعة ذات تيارات عالية.

تحتاج عملية اختيار المكثف المناسب لتحسين معامل القدرة في أحمال أجهزة اللحام والأفران الكهربائية إلى خبرة خاصة وذلك نظراً لطبيعة تلك الأحمال . ويتم ذلك عادة بالتعاون بين الشركة الموردة لتلك الأجهزة أو الأفران وبين المهندس المسئول عن تشغيلها على الشبكة بعد ذلك .

يمكن القول - بصفة عامة - أنه يتم تحسين معامل قدرة أجهزة اللحام باستخدام مكثف توازي يوصل مع المحول وينفصل معه . ويكون مقنن هذا المكثف في حدود ٥٠٪ من مقنن كيلوفولت أمبير المحول وذلك في حالة أجهزة الطور الواحد . أما في حالة أجهزة اللحام ثلاثية الأطوار فيكون المقنن أقل من ذلك .

يعطي الجدول (٤ - ٦) والجدول (٤ - ٧) قيماً نمطية يمكن الاسترشاد بها في تحسين معامل قدرة أجهزة اللحام . كما يعطي الجدول (٤ - ٨) تلك القيم في حالة الأفران الكهربائية .

يمكن - علاوة على ما سبق - استخدام مكثفات التوالي لتحسين معامل القدرة في منشآت اللحام الكبيرة وكذلك الأفران الكهربائية . إن استعمال تلك المكثفات يمنع بصورة تلقائية انغماسات الجهد التي يكون لها تأثير ضار على باقي المستهلكين .

جدول ٤ - ٦ مقننات المكثفات لتحسين معامل قدرة
أجهزة اللحام ذات محول أحادي
الطور وبتشغيل منفرد

مقنن ك.ف.ا. المتواصل	متوسط معامل القدرة قبل التصحيح	مقنن المكثف ك.ف.ا.ر.	معامل القدرة بعد التصحيح
٩	٠,٣٥	٤	٠,٥٥
١٢	٠,٣٥	٦	٠,٦٢٥
١٨	٠,٣٥	٨	٠,٥٨
٢٤	٠,٣٥	١٢	٠,٠٦٢
٣٠	٠,٣٥	١٥	٠,٠٦٢
٣٦	٠,٣٥	١٨	٠,٠٦٢

جدول ٤ - ٧ مقننات المكثفات لتحسين معامل قدرة أجهزة اللحام ذات محول
ثلاثي الأطوار وبتشغيل متعدد.

النوع	أقصى مقنن ك.ف.ا.	المقنن المتواصل ك.ف.ا.	معامل القدرة قبل التصحيح	مقنن المكثف ك.ف.ا.ر.	معامل القدرة بعد التصحيح
٣/٣٥٠	٩٥	٥٧	٠,٣٥	١٦,٥	٠,٤٨
٦/٣٥٠	١٩٠	٩٥	٠,٣٥	٣٠	٠,٤٩
٩/٣٥٠	٢٨٥	١٢٨	٠,٣٥	٤٥	٠,٥١
١٢/٣٥٠	٣٨٠	١٦٠	٠,٣٥	٦٠	٠,٥٣

جدول ٤ - ٨ مقننات المكثفات لتصحيح معامل قدرة
أفران القوس الكهربى

مقنن المكثف ك.ف.أ.ر	مقنن محول الفرن ك.ف.أ.
٢٠٠٠ - ١٥٠٠	٥٠٠٠
٥٠٠٠ - ٤٠٠٠	١٢٥٠٠
١٢٠٠٠ - ٧٥٠٠	٣٠٠٠ - ٢٥٠٠٠
٢٥٠٠٠ - ١٥٠٠٠	٦٠٠٠٠ - ٥٠٠٠٠
٤٥٠٠٠ - ٤٠٠٠٠	١٠٠٠٠٠
٧٠٠٠٠ - ٦٠٠٠٠	١٥٠٠٠٠

مواصفات التركيب

Installation Specifications

١.٥ مقدمة

تم تخصيص هذا الباب لبيان أهم المواصفات واشتراطات التركيب والتشغيل والحماية للمكثفات. كما يحتوي الباب على بعض الاحتياطات الواجب الانتباه لها جيداً عند استخدام المكثفات في تحسين معامل القدرة.

٢.٥ الطاقة المختزنة في المكثف

ذكرنا في البند (١.٥) أن المكثف يخزن طاقة كهربية داخله مقدارها $(\frac{1}{2} CV^2)$. عند فصل المكثف عن مصدر التغذية تظل هذه الطاقة مختزنة داخل المكثف. ومن الواجب تفريغ هذه الطاقة من المكثف وإلا فإن ذلك قد يعرض الأفراد المتعاملين مع المكثف إلى صدمات كهربية خطيرة، أو قد يؤدي قصر الدائرة على المكثف إلى تلفه. تنص جميع المواصفات الخاصة بالمكثفات على ضرورة تفريغ تلك الطاقة. تنص المواصفة (NEC-460) على ضرورة تزويد المكثف بمقاومة تفريغ، وإذا لم يكن المكثف مزوداً بتلك المقاومة فيجب إيجاد وسيلة تفريغ تتصل بالمكثف تلقائياً بمجرد فصله عن المصدر.

يُزود المكثف عادة بمفتاح خارجي يستخدم كوسيلة فصل، ويوجد بداخل هذا المفتاح جهاز تفريغ الطاقة من المكثف. يتكون جهاز التفريغ عادة من

ملف ذي محاثية عالية ومقاومة صغيرة حتى لا يستهلك طاقة كهربية أثناء التشغيل العادي، وعند فصل المكثف فإن المقاومة الصغيرة تساعد على سرعة تفريغ المكثف.

تنص المواصفة (NEC-460) على ما يأتي:

يجب تزويد المكثف بوسيلة لتفريغ الطاقة التي بداخله بعد فصله عن المنبع تبعاً لما يأتي:

- أ - المكثفات التي تعمل على جهد ٦٠٠ فولت أو أقل ينخفض جهدها إلى ٥٠ فولت أو أقل خلال دقيقة واحدة من لحظة الفصل أو أقل من دقيقة.
- ب - المكثفات التي تعمل على جهد أعلى من ٦٠٠ فولت ينخفض جهدها إلى ٥٠ فولت أو أقل خلال فترة زمنية لا تتجاوز خمس دقائق من لحظة الفصل عن المنبع.

٣.٥ الموصلات

تسحب المكثفات عادة تياراً ثابتاً من المصدر الموصلة عليه. إن هذا التيار يتعرض في أغلب الأحيان إلى زيادة قيمته بسبب ما يأتي:

- ١ - التغير في جهد المصدر والذي يصل إلى ١١٠٪ من الجهد العادي.
- ٢ - التغير في تردد المنبع (في حدود $\pm 0.5\%$).
- ٣ - تأثير تيارات التوافقيات harmonic currents في الشبكة.
- ٤ - نسبة السماح التي يشير لها صانعو المكثفات على الصورة $(-0\%, +15\%)$ ، وهذا يعني أن المقتن الفعلي للمكثف لا يقل أبداً عن المقتن الإسمي له ولا يزيد عن ١٥٪ من ذلك المقتن.

يتم اختيار مساحة مقطع الكابيل الموصل للمكثف تبعاً لمقدار

التيار المار فيه، والذي يتم حسابه بالطرق العادية تبعاً للعلاقة:

$$I = \frac{(KVAR)}{\sqrt{3} (KV)} \quad (5.1)$$

حيث (KVAR) هو مقتن المكثف.

تنص المواصفة (NEC-460) على اختيار حجم الكابل على أساس تيار يساوي ١٣٥٪ من التيار المحسوب من المعادلة (5.1) وتختلف تلك النسبة في بعض المواصفات الأخرى ولكنها لا تقل عن ١٢٥٪ على وجه العموم، وذلك لمكثفات الجهد المنخفض (حتى ١٠٠٠ فولت). أما بالنسبة للمكثفات التي تعمل على جهود أعلى من ذلك فإن هذه النسبة تصل إلى ١٤٠٪. يعطي الجدول ٥ - ١ أحجام كابلات توصيل مكثفات الجهد المنخفض (كابلات

جدول ٥ - ١ أحجام كابلات المكثفات
(عازل PBC حتى ١٠٠٠ فولت) ثلاثة قلوب

موصل نحاس		موصل ألومنيوم مصمت	
تيار المكثف (أمبير)	حجم الموصل (مم ²)	تيار المكثف (أمبير)	حجم الموصل (مم ²)
حتى ١٥	١,٥	—	—
٢٠ - ١٦	٢,٥	—	—
٢٦ - ٢١	٤	—	—
٣٤ - ٢٧	٦	—	—
٤٧ - ٣٥	١٠	—	—
٦١ - ٤٨	١٦	حتى ٤٦	١٦
٨٠ - ٦٢	٢٥	٦١ - ٤٧	٢٥
١٠٠ - ٨١	٣٥	٧٤ - ٦٢	٣٥
١٢٤ - ١٠١	٥٠	٨٨ - ٧٥	٥٠
١٥٢ - ١٢٥	٧٠	١١٦ - ٨٩	٧٠
١٨٨ - ١٥٣	٩٥	١٤٠ - ١١٧	٩٥
٢١٦ - ١٨٩	١٢٠	١٦٤ - ١٤١	١٢٠
٢٤٨ - ٢١٧	١٥٠	١٨٨ - ١٦٥	١٥٠
٢٨٤ - ٢٤٩	١٨٥	٢١٦ - ١٨٩	١٨٥
٣٣٦ - ٢٨٥	٢٤٠	٢٥٦ - ٢١٧	٢٤٠
٣٨٠ - ٣٣٧	٣٠٠	٢٩٦ - ٢٥٧	٣٠٠
٤٤٠ - ٣٨١	٤٠٠	—	—

جدول ٥ - ٢ أحجام كابلات المكثفات
(عازل PVC حتى ١٠٠٠ فولت) قلب واحد

موصل نحاس		موصل ألومنيوم مصمت	
تيار المكثف (أمبير)	حجم الموصل (مم ²)	تيار المكثف (أمبير)	حجم الموصل (مم ²)
٣٤١ - ٤٠٠	٢٤٠	٢٥٧ - ٣٠٠	٢٤٠
٤٠١ - ٤٥٦	٣٠٠	٣٠١ - ٣٤٤	٣٠٠
٤٥٧ - ٥١٢	٤٠٠	٣٤٥ - ٣٩٦	٣٨٠
٥١٣ - ٥٧٦	٥٠٠	٣٩٧ - ٤٤٨	٤٨٠
٥٧٧ - ٦٤٨	٦٣٠	٤٤٩ - ٥٠٤	٦٠٠
٦٤٩ - ٦٩٦	٨٠٠	٥٠٥ - ٥٦٨	٧٤٠
٦٩٧ - ٧٥٢	١٠٠٠	٥٦٩ - ٦٣٢	٦٩٠
		٦٣٣ - ٦٩٦	١٢٠٠

ثلاثية القلب (three-core)، ويعطي الجدول ٥ - ٢ أحجام كابلات القلب الواحد single-core لتلك المكثفات. أما في حالة مكثفات الجهد العالي فيمكن الاسترشاد بالجدول ٥ - ٣. ويجب ملاحظة ما يأتي في تلك الجداول:

١ - بالنسبة للجدول ٥ - ١ فإن تلك القيم مبنية على أساس كابلات PVC موضوعة في الهواء بدرجة حرارة محيطية = ٣٠°م وأقصى درجة حرارة تشغيل مستمر = ٧٠°م. ويجب استعمال معاملات تقنين derating factors إذا تغيرت تلك الظروف.

٢ - بالنسبة للجدول ٥ - ٢، فإن الكابلات موضوعة في الهواء على شكل تلامس مثلثي trefoil ودرجة حرارة محيطية = ٣٠°م. والكابلات PVC بأقصى درجة حرارة تشغيل مستمر = ٧٠°م.

بالنسبة للجدول ٥ - ٣، فإن الكابلات المستعملة موضوعة في الهواء. وهي كابلات ثلاثية القلب. وقد تم الاختيار على أساس نسبة ١٤٠٪ من تيار المكثف.

جدول ٥ - ٣ أحجام كابلات مكثفات الجهد العالي (ثلاثة قلوب)

موصلات الألومنيوم مجدولة			موصلات نحاس مجدولة			مساحة مقطع الموصل (مم ²)
أقصى تيار للمكثف (أمبير)	مقنن المكثف (م.ف.أ.ر.)	أقصى تيار للمكثف (أمبير)	أقصى تيار للمكثف (م.ف.أ.ر.)	مقنن المكثف (م.ف.أ.ر.)	أقصى تيار للمكثف (أمبير)	
١٦	٥٢	١,٠	٦٧	١,٢٥	١,٢٥	١٦
٢٥	٦٧	١,٢٥	٨٥	١,٦	١,٦	٢٥
٣٥	٧٨	١,٥	١٠٣	١,٩٦	١,٩٦	٣٥
٥٠	٩٦	١,٨	١٢٥	٢,٤	٢,٤	٥٠
٧٠	١٢١	٢,٣	١٥٧	٣,٠	٣,٠	٧٠
٩٥	١٤٦	٢,٧	١٨٩	٣,٦	٣,٦	٩٥
١٢٠	١٧١	٣,٢٥	٢٢١	٤,٢	٤,٢	١٢٠
١٥٠	١٩٢	٣,٦٥	٢٥٠	٤,٧	٤,٧	١٥٠
١٨٥	٢٢٥	٤,٢	٢٨٥	٥,٤	٥,٤	١٨٥
٢٤٠	٢٦٤	٥	٣٣٩	٦,٥	٦,٥	٢٤٠
٣٠٠	٣٠٧	٥,٨	٣٨٥	٧,٣	٧,٣	٣٠٠
٤٠٠	٣٥٣	٦,٧	٤٤٢	٨,٤	٨,٤	٤٠٠

٤.٥ التجاوزات المسموحة

رغم أن المكثفات يتم تصنيعها تبعاً لمقننات محددة وتحت ظروف تشغيل معينة، إلا أن تلك المقننات وظروف التشغيل قد تتغير في أغلب الأحيان بحيث يؤدي ذلك إلى حدوث تجاوزات في التحميل على المكثف. يعتمد أداء المكثف على العوامل الآتية:

- أ - الجهد.
- ب - درجة حرارة الوسط المحيط.
- ج - خرج المكثف النهائي الذي قد يتغير تحت نفس ظروف الجهد ودرجة الحرارة نتيجة لوجود تيارات التوافقيات.

١.٤.٥ تجاوز الجهد

تبعاً لمعظم المواصفات فإن المكثف يجب أن يعمل بطريقة سليمة عند جهد فعال بين طرفيه لا يتعدى ١١٠٪ من جهده المقنن. ومع هذا فإنه يمكن السماح لإمكانية حدوث تجاوزات أكبر في الجهد نتيجة لظروف التشغيل كما سبق توضيحه في الباب الرابع. ولهذا السبب فإن المواصفات تنص على ألا يقل جهد المكثف المقنن عن ٩٥٪ من أعلى جهد من المتوقع أن يتعرض له المكثف لفترة زمنية محسوسة.

تبعاً لما سبق فإنه من الموصى به أن يتم اختيار جهد المكثف المقنن أعلى قليلاً من جهد الشبكة المقنن، فيتم اختيار جهد المكثف ٢٣٠ فولت مثلاً لشبكة جهدها ٢٢٠ فولت و ٤٠٠ فولت لشبكة جهدها ٣٨٠ فولت، وهكذا.

٢.٤.٥ تجاوز درجة الحرارة

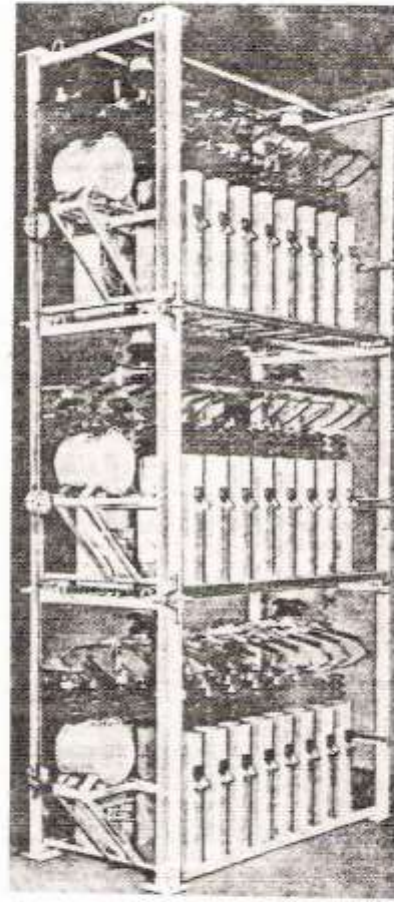
تتأثر مقدرة المكثف على العمل تحت ظروف خدمة محددة بدرجة حرارة الوسط المحيط، حيث تعتمد درجة الحرارة النهائية التي يستقر عندها المكثف على مفقودات عزل المكثف ودرجة الحرارة الخارجية. يتم تصنيع معظم المكثفات تبعاً لتوصية اللجنة الدولية الكهروتقنية (IEC) كما يأتي:

- أ - لا تتعدى درجة حرارة الوسط المحيط ٤٠°م.
- ب - لا تتعدى القيمة المتوسطة لدرجة حرارة الوسط المحيط ٣٠°م على مدى فترة زمنية ٢٤ ساعة.
- ج - لا تتعدى القيمة المتوسطة لدرجة حرارة الوسط المحيط ٢٠°م على مدى فترة زمنية مقدارها عام كامل.

يقصد بدرجة حرارة الوسط المحيط درجة حرارة الهواء الملامس للمكثف وليس درجة حرارة الحجرة الموجود بها هذا المكثف. فإذا كان المكثف موضوع داخل خزانة مثلاً فإن درجة حرارة الوسط المحيط هي درجة حرارة الهواء داخل الخزانة.

إن ارتفاع درجة الحرارة عن تلك التي تم تصنيع المكثف عليها يؤثر على عمر عازل المكثف وبالتالي على عمر المكثف بأكمله. ويمكن مراعاة ما يأتي:

- ١ - الالتزام بقدر الإمكان بدرجات الحرارة المقننة للمكثف.
- ٢ - عدم وضع المكثفات في أماكن زائدة الحرارة. ويتم التهوية عادة بطريقة طبيعية وذلك عن طريق وضع تجميعات المكثفات بطريقة تساعد على تخلل الهواء بينها. ويتم ترك فراغات في حدود ١٠ سم بين كل وحدتين متجاورتين كما هو موضح بالشكل ٥ - ١.



شكل ٥ - ١ تجميعة مكثفات بتهوية طبيعية

٣ - يراعى عدم وضع المكثفات بجانب البطاريات، حيث تمثل البطاريات مصدراً من مصادر ارتفاع درجة الحرارة.

٤ - في حالة عدم إمكانية تحقيق الشروط السابقة فيجب تحديد درجة الحرارة المحيطة الفعلية وترتيب الأمر مع صانع المكثف لمراعاة ذلك.

٣.٤.٥ تجاوز التيار

ذكرنا في البند ٣.٥ أن المكثف قد يتعرض لتجاوز في التيار قد يصل إلى ١٣٥٪ من التيار المقنن. إن أي تجاوز في التيار يتسبب في زيادة مفقودات عازل المكثف مما يؤدي بالضرورة إلى رفع درجة حرارته. من الممكن أن يحدث تجاوز في التيار دون تغير في جهد أطراف المكثف نتيجة لحدوث تيارات على ترددات عالية وهي ما يُعرف باسم تيارات التوافقيات harmonic currents. وعند توقع حدوث مثل تلك التيارات فيجب مراعاة ما يأتي :

١ - تزويد مفتاح المكثف بمرحل حراري thermal relay يتم ضبطه بحيث يفتح دائرة المكثف إذا زاد التيار فيها عن ١٣٥٪ من التيار المقنن.

٢ - إذا كان من المؤكد وجود توافقيات عالية كما في حالة أحمال المقومات rectifiers وغيرها فإنه من الضروري عمل دراسة شاملة لهذا الموضوع لتحديد تلك التوافقيات ومقاديرها مع احتمال حدوث رنين resonance بين المكثف وأي جزء من الشبكة على إحدى هذه التوافقيات.

٣ - إن توصيل المكثف مباشرة على أطراف المحرك يسمح بمرور التوافقيات ودورانها بين المكثف والمحرك دون أي حماية. وعلى ذلك فإن هذا التوصيل غير مرغوب فيه عند توقع وجود تيارات التوافقيات.

٥.٥ الحماية والتحكم

يجب تزويد المكثف بوسيلة حماية ضد زيادة التيار (مصهر أو قاطع دائرة)، وذلك على كل موصل متصل بالمكثف إذا كان المكثف موضوعاً بين بادئ الحركة للمحرك وبين مصدر التغذية. ويمكن الاعتماد على حماية تجاوز الحمل الخاصة بالمحرك والموجودة في بادئ الحركة إذا كان المكثف موضوعاً بين المحرك وبادئ الحركة.

عند استعمال وسيلة حماية خاصة بالمكثف فيجب اختيارها بأقل مقنن ممكن. فعند توصيل المكثف على الخط يكون التيار الابتدائي اللحظي عالياً، حيث يعمل المكثف غير المشحون كدائرة قصر في تلك اللحظة (راجع البند ١ - ٧). ويمكن اختيار مقنن وسيلة الحماية ٢٥٠٪ من مقنن تيار المكثف وذلك للحماية من تيار القصر. وعند اعتبار المكثف كحمل ثابت فإنه لا يحتاج إلى حماية تجاوز الحمل الخاصة به كما هي الحال في حالة المحركات التي تحتاج إلى هذا النوع من الحماية.

تزود معظم المكثفات بمصهرات داخلية للحماية من قصر الدائرة داخل المكثف نفسه. تقنن تلك المصهرات عادة من ١٦٥٪ إلى ٢٥٠٪ من مقنن تيار القدرة المردودة للمكثف وذلك للسماح بتخطي تيار القفل اللحظي للمكثف والذي يمكن حسابه من العلاقة الآتية:

$$I = 1.15 I_0 \left(1 + \sqrt{\frac{\text{Short Circuit KVA}}{\text{Capacitor KVAR}}} \right) \quad (5.2)$$

حيث: I : أقصى تيار لحظي يمر في المكثف
 I_0 : القيمة الذروية Peak value لتيار المكثف المقنن.

ويعطى تردد التيار I بالعلاقة:

$$f_1 = f_0 \sqrt{\frac{\text{Short Circuit KVA}}{\text{Capacitor KVAR}}} \quad (5.3)$$

حيث: f_1 : تردد التيار I
 f_0 : تردد الشبكة الطبيعي.

يجب ملاحظة أنه في حالة زيادة تيار القفل اللحظي للمكثف عن عشرين ضعفاً من التيار المقنن فإن الحاجة تكون ضرورية للحد من هذا التيار الكبير. يتم استخدام مفاعلات توصل على التوالي بطريقة دائمة على كل خط من خطوط المكثف الثلاثة للحد من التيار وذلك في حالة مكثفات الجهد العالي. أما في حالة مكثفات الجهد المنخفض فيمكن استخدام إما مقاومات يتم توصيلها لحظة القفل وفصلها بعد ذلك، وإما مفاعلات كما في حالة مكثفات الجهد المنخفض.

إن قيمة تيار القفل اللحظي لا تتعدى في أغلب الأحيان عشرين ضعفاً من التيار المقنن وذلك على تردد حوالي ١٠٠٠ هرتز. إلا أنه قد تحدث ظاهرة تفريغ بين مكثف موصل فعلاً على الشبكة ومكثف آخر يتم توصيله على تلك الشبكة، حيث يمثل المكثف الجديد دائرة قصر لحظي للمكثف المشحون والموصل فعلاً على الشبكة. يمكن استخدام العلاقة الآتية لحساب التيار العابر الذي يمر عند توصيل المكثف على التوازي مع تجميعية مكثف موصل فعلاً على الشبكة بتردد f_0 :

$$I_p = 2900 \sqrt{\frac{[(n-1)]}{n} \times \frac{KVAR}{L_0}} \quad (5.4)$$

حيث: n : عدد خطوات تجميعية المكثف

I_p : التيار العابر بالأمبير

$KVAR$: مقنن خطوة التجميعية لكل طور

L_0 : المحاثية بين خطوات التجميعية بالميكروهنري لكل طور، وتعطى

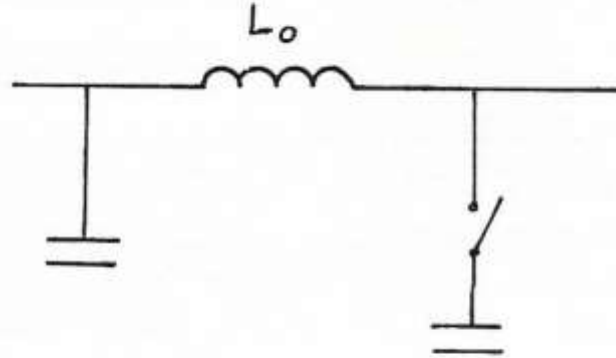
العلاقة الآتية التردد (f) للتيار I_p .

$$f = \frac{126V}{\sqrt{L_0 \times KVAR}} \quad (5.5)$$

حيث V الجهد المقنن الطوري بالقولت (القيمة الفعالة).

يبين الشكل ٥-٢ دائرة توضح طريقة توصيل تجميعتي مكثفات على التوازي خلال محاثية L_0 . يمكن استخدام القيم الآتية للمحاثية L_0 وذلك بصورة تقريبية:

الخطوط الهوائية : ١ ميكروهنري لكل متر لكل طور
 كابلات ثلاثية القلب : ٣, ٠ ميكروهنري لكل متر لكل طور
 تجميعية المكثفات : ١ ميكروهنري لكل وجه
 أجهزة الفصل : ١ ميكروهنري لكل وجه



شكل ٥ - ١ توصيل مكثف على مكثف موصل خلال محاطة.

عند توصيل المكثف على جانب الحمل فإن المصهرات الداخلية تكون كافية ولا يحتاج المكثف إلى مصهرات إضافية إلا في حالة استخدام تجميعية مكثفات فإن المصهرات الإضافية تكون ضرورية.

يجب أن تكون وسيلة فصل المكثف عديدة الأقطاب multipole حيث يجب فصل توصيلات المكثف جميعها معاً. كما يجب تأريض grounding الغلاف المعدني الخارجي للمكثف بطريقة سليمة.

يجب مراعاة ما يأتي عند توصيل المكثف على جانب المحرك :

- أ - إعادة ضبط أجهزة الحماية والتحكم على أساس القيمة الفعلية الجديدة للتيار الذي سوف يمر في تلك الأجهزة كما سبق بيانه في الباب الرابع.
- ب - قد يحدث أحياناً عند استخدام بادئ حركة نجمة - دلتا أن يرتفع صوت المحرك ولا يتمكن من اكتساب سرعته المقننة عندما يكون البادئ في

وضع النجمة. إن ذلك مرجعة إلى حدوث دائرة رنين بين المحرك والمكثف على تيار التوافقية الثالثة. ويمكن التغلب على تلك المشكلة في حالة ظهورها بوضع مقاومات في موصلي طورين من الأطوار الثلاثة للكابل الواصل بين المكثف وملفات المحرك. تؤخذ قيم هذه المقاومات بين ٠,٣ أوم و ١ أوم. إن ذلك يساعد على تخميد تيارات التوافقيات.

٦.٥ الاختيار تبعاً للمواصفات الأمريكية

لا يختلف اختيار تجهيزات المكثف في المواصفات الأمريكية كثيراً عن مواصفات اللجنة الدولية الكهروتقنية. ويمكن الاستعانة بالجدول ٥ - ٤ في هذا الشأن، وهو إحدى النشرات الفنية لشركة (Fedral Pacific Electric Co.) تبعاً للمواصفة (NEC 460).

جدول ٤ - دليل اختيار تجهيزات المكثف

Switching devices—minimum current ratings

Capacitor Rating	Minimum cable and conduit sizes			Safety switch	Contactor	Molded-case ACB	Magnetic AC	
kvar	amps	AWG or MCM	Conduit in.	Rating amps	Fuse amps	NEMA size	Trip-rating amps	Trip-rating amps
240-v, 3-PHASE SERVICE								
5	12.0	10	3/4	30	20	2	20	20
7.5	18.0	8	3/4	30	30	2	30	30
10	24.1	8	3/4	60	40	2	40	40
15	36.1	6	1	60	60	3	70	50
30	72.2	2	1 1/4	200	125	4	125	100
60	144	4/0	2 1/2	400	250	5	225	200
90	217	500	3	400	400	6	350	300
120	289	(2) 4/0	(2) 2 1/2	600	500	6	500	400
180	433	(2) 500	(2) 3	800	800	7	700	600
270	650	(3) 500	(3) 3	1,200	1,200	8	—	1,000
480-v, 3-PHASE SERVICE								
5	6.01	12	1/2	30	15	2	15	15
7.5	9.02	12	1/2	30	15	2	15	15
10	12.0	10	3/4	30	20	2	20	20
15	18.0	8	3/4	30	30	2	30	30
20	24.0	8	3/4	60	50	2	40	40
25	30.1	8	3/4	60	50	3	70	50
40	48.1	3	1 1/4	100	90	3	90	70
50	60.1	2	1 1/4	200	125	4	100	90
80	96.2	1/0	2	200	175	4	150	150
120	144	4/0	2 1/2	400	250	5	225	200
160	192	350	3	400	350	5	300	300
240	289	(2) 4/0	(2) 2 1/2	600	500	6	450	400
360	433	(2) 500	(2) 3	800	800	7	700	600

تابع جدول ٥ - ٤

600-v, 3-PHASE SERVICE									
5	4.81	14	1/2	30	10	2	15	15	
10	9.62	12	1/2	30	20	2	15	15	
15	14.4	10	3/4	30	25	2	30	20	
20	19.2	8	3/4	60	35	2	30	30	
25	24.1	6	3/4	60	40	2	40	40	
40	38.5	4	1	100	70	3	70	50	
50	48.1	4	1 1/4	100	80	3	90	70	
80	77.0	1	1 1/2	200	150	4	125	125	
120	115	3/0	2	200	200	5	175	175	
160	154	250	2 1/2	400	300	5	250	225	
240	231	500	3	600	450	6	350	350	
360	347	(2) 350	(2) 3	600	600	6	550	500	

Notes:
 1. Cable and conduit sizes are based upon three single-conductor, 600-v cables, (Type RH, RH+RW, RHW rubber and THW, THWH thermoplastic insulation) for each conduit.
 2. The switching device should be selected for the fault duty of the system on which it will operate.
 3. For kVA ratings in excess of table, consult manufacturer.
 Table courtesy Federal Pacific Electric Co.

مراجع الكتاب

- 1 - T. Longland, T.W.Hunt, A. Brecknell, "Power Capacitor Handbook", Butterworths, 1984.
- 2 - I. Lazar, "Electrical Systems Analysis and Design for Industrial Plants", McGraw-Hill, 1980.
- 3 - Timothy J.E. Miller, "Reactive Power Control in electric Systems", J.W., 1982.
- ٤ - عبد المنعم موسى ، «محولات القوى والتوزيع» دار الراتب الجامعية، ١٩٩٣ .
- 5 - National Electrical Code Handbook, McGraw-Hill, 1990
- 6 - American Electricians' Handbook, McGraw-Hill, 1992.

مجموعة كتب

الأسس العلمية والخبرة العملية في الهندسة الكهربائية

تتضمن الكتب الموضوعات الآتية

- كابلات توزيع القوى الكهربائية
- محولات التوزيع
- مكثفات القوى - تحسين معامل القدرة - التوافقيات
- الحماية والتنسيق في المنشآت الصناعية
- التآريض الوقائي والصناعي
- إضاءة المنشآت الصناعية والتجارية

شركة مشورات :
دار الراتب الجامعية

سجل تجاري ٤٧١٨٤ / بيروت

الإدارة : بناية اسكندراني رقم (٣) الطابق (٢) مقابل مسجد الجامعة
المكتب : بيروت - بناية سعيد جعفر - تجاه جامعة بيروت العربية

ص. ب. : ١٩٥٢٢٩ بيروت / لبنان

تلفون : ٣٠٦٥٠٥ - ٣١٧١٦٩ - ٣١٣٩٢٣ - ص. ب. : ١٩٥٢٢٩

تلكس RATEB 43917 LE

تحسين معامل القدرة

٩ -

عام

يقتصر هذا الجزء من الدليل الإرشادي على دراسة كيفية تحسين معامل القدرة في شبكات توزيع القوى الكهربائية فى المباني، كأحد أهم عناصر اشتراطات جودة التغذية الكهربائية وكذلك تحسين كفاءة استخدام الطاقة فى المباني.

يؤثر انخفاض معامل القدرة سلباً على أداء المنظومة الكهربائية ويعتمد ذلك على طبيعة الأحمال من حيث كونها أحمال خطية (Resistive loads) أو أحمال حثية غير خطية (Inductive loads) مثل (المحولات ، المحركات الحثية، المصابيح الفلورية ، الموحدات ، الأفران الكهربائية ، أفران الحث ، ... الخ.) حيث تؤدي الطبيعة غير الحثية لهذه الأحمال إلى تبديد جزء من الطاقة المغذية لها في صورة قدرة غير فعالة تستوجب العمل على استيعابها، وذلك عن طريق تعويض هذا الجزء بواسطة مصدر خارجي يعمل كمولد للقدرة غير الفعالة (KVAR-Generator) لإضافة قدرة غير فعالة لمنظومة القدرة الكهربائية ويكون عادة عن طريق مكثف يتم توصيله على التوازي مع الحمل المراد تحسين معامل القدرة له.

يؤدي تركيب المكثف مع الأحمال الحثية فى نفس الدائرة إلى تبادل التيار بينهما على نحو يجعل التيار المتقدم (Leading current) المسحوب بواسطة المكثف يعادل جزء من التيار المتأخر (Lagging current) للأحمال الحثية اللازم للمغطة فلذا يعتبر المكثف هو الأداة الأساسية التي تستخدم لتحسين معامل القدرة، وينعكس ذلك انعكاساً إيجابياً على أداء المنظومة من حيث تخفيض الطاقة المفقودة في الكابلات والخطوط وزيادة ساعاتها عند نفس الحمل، حيث يمكن لهذه الكابلات والخطوط تحمل نقل قدرات إضافية لأحمال إضافية، كما تنخفض القدرة الظاهرية (Apparent power kVA) لذلك الحمل، وكذلك تزداد القدرة المتاحة في المحولات المستخدمة في الشبكة وتتحسن الجهود عند مراكز الأحمال.

وبذلك يكون لتحسين معامل القدرة في منظومة نقل وتوزيع القوى الكهربائية فائدة قصوى حيث يتيح الاستفادة من فائض السعة لمهمات الشبكات القائمة في تغذية أحمال إضافية دون الحاجة إلى توسعتها أو إعادة هيكلتها، وكذلك إلى توفير نفقات إنشاء شبكات جديدة وتوجيهها لاستثمارات أخرى على المستوى القومي.

يوجد مجلد خاص (المجلد السادس) بالكود المصري لأسس تصميم واشتراطات تنفيذ التوصيلات والتركيبات الكهربائية - الأنظمة الخاصة - عن تحسين معامل القدرة.

تعويض القدرة غير الفعالة في شبكات التوزيع

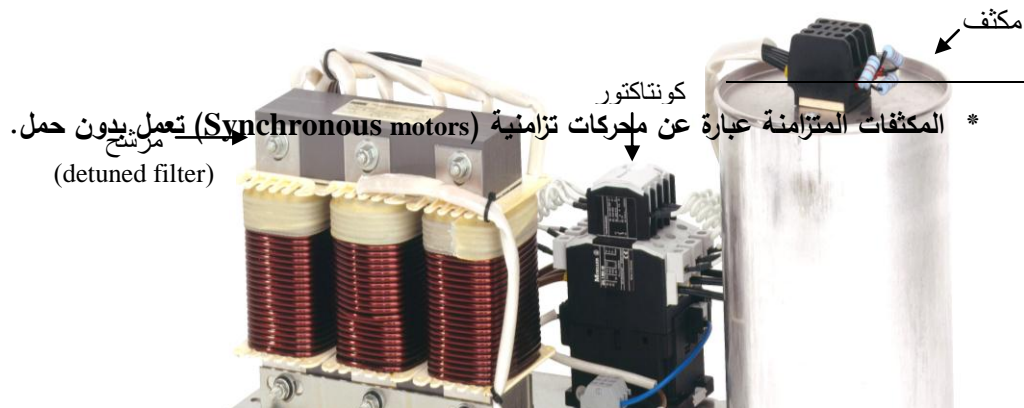
(Reactive power compensation)

تتلخص وسائل تعويض القدرة غير الفعالة فيما يلي:

- يعمل هذا التعويض على الحد من قيمة التيار غير الفعال لتشغيل الأحمال الحثية التي تستهلك قدرة غير فعالة كبيرة وجعل هذا التيار في حده الأدنى، ويتحقق ذلك للمعدات الحثية ومنها الآلات التأثيرية (محولات كهربائية ، محركات كهربائية، ألخ) بحيث تصبح ذات معامل قدرة مرتفع نسبياً. وكذلك استبدال المعدات المستخدمة بأخرى ذات معامل قدرة أعلى، مثل استبدال الكابح المغناطيسي للمصابيح الفلورية بكابح إلكتروني.
- يؤدي التخطيط الجيد للشبكات الداخلية للمنشآت أثناء مرحلة التصميم بتقسيم الأحمال إلى مجموعات بحيث تحتوى كل مجموعة على كل من الأحمال التأثيرية والسعوية معاً، إلى خفض القدرة غير الفعالة المستهلكة بواسطة الحمل الاجمالي، حيث تقوم الأحمال السعوية بتعويض الشبكة بجزء من القدرة غير الفعالة المطلوبة للحمل إجمالاً، وبالتالي تنخفض القدرة الظاهرية الكلية (Total apparent power) عند نقطة التوصيل المختارة مع شبكة التغذية للقدرة الكهربائية .
- يعتبر تحديد سعة المحركات والمحولات بشكل مناسب وكذلك عدم تشغيلها في الوقت الذي لا تحتاجه العمليات، من أهم عوامل تحسين معامل القدرة في الشبكات المغذية لها.

ملحوظة:

- (١) يجب في كل الأحوال دراسة تحديد العائد الاقتصادي المترتب على إضافة أحمال سعوية لمنظومة القدرة واختيار الحمل السعوى المناسب لكل حالة، سواء كانت مجموعات مكثفات استاتيكية (Static condenser banks) أو استخدام المكثفات المتزامنة* (Synchronous condenser) خصوصاً في محطات القوى الفرعية التي تغذى تجمعات رئيسية .
- (٢) يبين شكل (٩-١) وحدة ذات ملف ومكثف للحد من تأثير محتوى التوافقيات (Harmonic contents) وكذلك تحسين معامل القدرة.



شكل رقم (٩-١): وحدة ملف و مكثف للحد من تأثير محتوى
التوافقيات و تحسين معامل القدرة

٩-٢ الخصائص الواجب توافرها في المكثفات المستخدمة في تصحيح معامل القدرة
يبين شكل (٩-٢) نموذجاً لمكثفات تحسين معامل القدرة مركبة داخل لوحة تحتوى على
نقط توزيع جهد منخفض.



شكل رقم (٩-٢): نموذج للوحة توزيع (جهد منخفض)
مركب بها مكثفات تحسين معامل القدرة

- يجب توافر الخصائص التالية في المكثفات المستخدمة في تصحيح معامل القدرة:

- (١) يكون الفقد الخاص بالمكثف منخفضا (في حدود ٠.٤ - ٠.٥ وات / ك.فار) مما يؤدي إلى تخفيض التكلفة الجارية (Running cost)، والحد من الارتفاعات في درجات الحرارة لضمان سلامة العزل الخاص بالمكثف ، وكذا ضمان شروط تشغيل مناسبة للمكثفات المستخدمة .
- (٢) إضافة مقاومة تفريغ (أومية) مستقلة (Discharge resistor) لكل وحدة مكثف من مجموعة وحدات المكثفات المستخدمة حيث يؤدي ذلك إلى أنه في حالة حدوث انهيار لإحدى مقاومات التفريغ أو أكثر يمكن لباقي الوحدات الاستمرار في تفريغ الشحنات من خلال مقاومات التفريغ الخاصة بها ، بما في ذلك المكثفات التي انهارت مقاومات التفريغ لها .
- (٣) يجب أن يتضمن تصميم كل مكثف خاصية الالتئام الذاتي (Self healing)، التي تؤدي إلى التئام العزل تلقائيا عند تعرض أجزاء منه للتصدع نتيجة التعرض لجهود زائدة مؤقتة، كارتفاعات الجهد التي تحدث أثناء مراحل التشغيل غير العادية لمنظومة القدرة، مثلما يحدث في الحالات العابرة (Transients)، والظواهر الأخرى التي تتعرض لها المنظومة وتحدث بها ارتفاعات مفاجئة للجهد .
- (٤) يجب أن تزود كل وحدة مكثفات بأداة فصل (قاطع تيار أو فيوزات) (Breaker or fuses) بشكل مستقل، حتى يمكن فصل التيار عن وحدة أو مجموعة المكثفات التي يحدث بها خلل، كأن يتعرض عزلها للانهيار، مع استمرار باقي الوحدات في العمل دون أن تتأثر المنظومة لحين إجراء الصيانة اللازمة للوحدة التي بها عطب إن أمكن أو تغيير اللازم ، وهذا يساهم بشكل إيجابي في زيادة الثقة والعول (Reliability) في منظومة القدرة وزيادة فرص تعافيتها في مواجهة الآثار السلبية الناجمة عن ظروف التشغيل غير العادية لضمان تغذية كهربائية جيدة للأحمال على وجه العموم .
- (٥) يجب أن يحتوى كل مكثف بشكل مستقل على أداة فصل عند زيادة الضغط (Over pressure device) داخل الوعاء لضمان عدم تعرض المكثف لانهيار يتعذر تداركه عن طريق خاصية الالتئام الذاتي للمكثف .
- (٦) يجب التأكيد على ضمان قوة العزل الكهربائي للمكثف ، واستقراره ، وزيادة عمره الافتراضي ، من خلال اختبارات الجهود العالية التي تجرى له طبقا لحدود القياسات المنصوص عليها في المواصفات المطلوب توافرها في المكثف ، وذلك حتى لا تتأثر سلامته أثناء عمليات الفصل عند الجهود الزائدة بواسطة وسيلة

الفصل المستخدمة وما قد ينجم عنها من شرر يمكن أن يتسبب في انهيارات جزئية (تصدعات) للعزل، أو تعرضه للانهييار الشامل في حالة ضعفه وعدم قدرته على تحمل درجات الحرارة العالية الناتجة عن الشرارة قبل إطفائها .

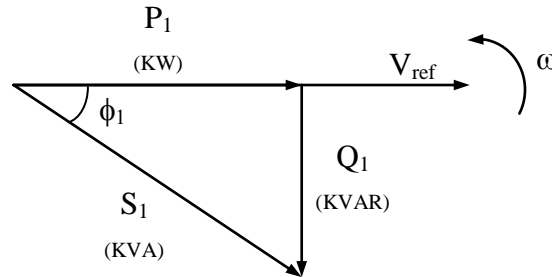
٣-٩ الحسابات الخاصة بتصحيح معامل القدرة

يمكن تلخيص بعض التعريفات والعلاقات الهامة المطلوبة عند إجراء العمليات الحسابية الخاصة بتصحيح معامل القدرة على النحو التالي :-

معامل القدرة

هو جيب تمام زاوية الطور التي يتخلف (lagging) أو يتقدم (leading) بها التيار عن الجهد ($\cos \Phi_1$) عند نقطة القياس المختارة، نتيجة لمروره خلال الممانعة الحثية لملفات المعدات التأثيرية الموجودة بالحمل، أو الممانعة السعوية للمكثفات به، على الترتيب .
يمثل شكل (٣-٩)، الحالة الأولى، حيث تعتبر الملفات في هذه الحالة عنصر استهلاك لقدرة غير فعالة (Reactive power)، وينبغي السيطرة على معدلات استهلاك هذا النوع من القدرة غير الفعالة لضمان معامل قدرة مناسب ، حيث الزيادة في هذا الاستهلاك يؤدي إلى ما يمكن اعتباره تبديدا للقدرة الظاهرية (kVA) المستمدة من مصدر التغذية بواسطة الحمل ويمكن حساب قيمة معامل القدرة ($p.f_1$) من المعادلة (١-٩).

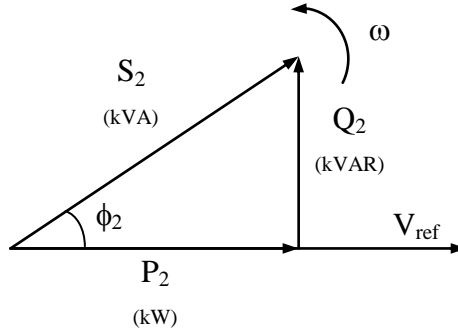
$$p.f_1 = \cos \Phi_1 = \frac{\text{Active Power}}{\text{Apparent Power}} = \frac{P_1 (kW)}{S_1 (kVA)} \quad (9-1)$$



شكل رقم (٣-٩)

ويمثل شكل (٤-٩) الحالة الثانية التي يتقدم فيها التيار عن الجهد في زاوية الطور نتيجة لمروره خلال الممانعة السعوية للمكثفات ، وفي هذه الحالة يمكن اعتبار المكثف عنصر إضافة للقدرة غير الفعالة ، ويمكن حساب معامل القدرة ($p.f_2$) في هذه الحالة من المعادلة (٢-٩):

$$p.f_2 = \cos \Phi_2 = \frac{\text{Active Power}}{\text{Apparent Power}} = \frac{P_2 \text{ (kW)}}{S_2 \text{ (kVA)}} \quad (9-2)$$

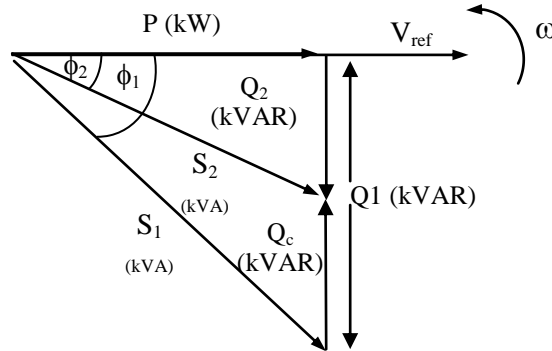


شكل رقم (٩-٤)

وحيث أن القدرة الفعالة (Active Power) ثابتة في الحالتين، بينما تتغير كل من القدرة غير الفعالة والقدرة الظاهرية بتغير معامل القدرة، لذا فيمكن التعبير عن العلاقة الرياضية التي يحسب منها معامل القدرة على النحو التالي من المعادلة (٩-٣):

$$\text{Reactive Power (kVAR)} = \text{Active Power (kW)} \times \tan \Phi \quad (9-3)$$

وعليه يمكن استنتاج قيمة القدرة غير الفعالة قبل وبعد تصحيح معامل القدرة كما هو موضح بالشكل (٩-٥):



شكل رقم (٩-٥)

حيث أن :

$$= \Phi_1 \cos(p.f_1) \text{ معامل القدرة قبل التصحيح}$$

$$= \Phi_2 \cos(p.f_2) \text{ معامل القدرة بعد التصحيح}$$

$$\tan \Phi_1 \times \text{القدرة الفعالة} = (p.f_1) \text{ القدرة}$$

$$\tan \Phi_2 \times \text{القدرة الفعالة} = (p.f_2) \text{ القدرة}$$

وبذلك تصبح قيمة القدرة غير الفعالة اللازمة لتصحيح معامل القدرة هي (Q_c) والتي يمكن حسابها من المعادلة (٩-٤):

$$Q_c(kVAR) = P(kW) \times \tan [\Phi_1] - \tan [\Phi_2] \quad (9-4)$$

ويتضح من الشكل أيضاً انخفاض القدرة الظاهرية S_1 (kVA) لتصبح عند القيمة S_2 (kVA)، وذلك نتيجة تصحيح معامل القدرة وهو ما يعود بالإيجاب على زيادة سعة مهمات شبكة التغذية (المصدر) من محولات وكابلات، كما يفيد المشترك (الحمل) في زيادة القدرة المتاحة للشبكة الداخلية للمنشأة، وإتاحة إضافة أحمال أخرى لها دون الحاجة إلى إنشاء شبكات إضافية .

يمكن تحديد سعة المكثفات المطلوب توصيلها على التوازي مع الحمل لتصحيح معامل القدرة من الجدول (٩-١)، والذي يحتوى على قيم ساعات المكثفات نظير كل حمل حثي على ضوء معامل القدرة الخاص بذلك الحمل والمطلوب تصحيحه، ومعامل القدرة المستهدف .

على سبيل المثال إذا كان معامل القدرة $(\cos \Phi)$ الأصلي مساوياً (٠.٧) والمطلوب تحسينه إلى (٠.٩٣) تكون سعة المكثفات المطلوبة (٠.٦٢٥) ك.فار لكل كيلووات، بينما إذا كان مطلوب تحسين معامل القدرة إلى (٠.٩٥) تكون سعة المكثفات المطلوبة (٠.٦٩١) ك.فار لكل كيلووات وهكذا .

جدول رقم (٩-١): يوضح قيمة الثابت $(K = kVAR / kW)$ المستخدم في حساب كمية القدرة غير الفعالة وكذلك معامل القدرة قبل وبعد التصحيح

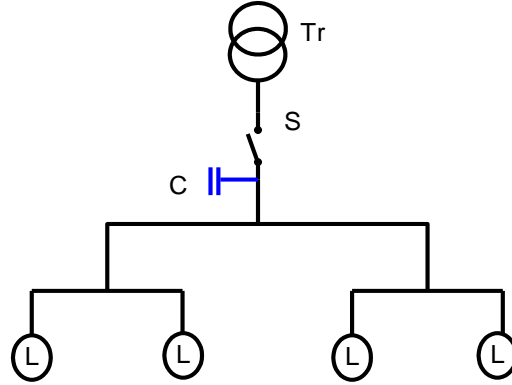
before compensation		kVAR rating of capacitor bank to Install per kW, to Improve Cos Φ (the power factor) or tan Φ , to a given value													
tan Φ	cos Φ	tan Φ	0.75	0.59	0.48	0.46	0.43	0.40	0.36	0.33	0.29	0.25	0.20	0.14	0.0

		cos Φ	0.80	0.86	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1
2.29	0.40	1.557		1.691	1.805	1.832	1.861	1.895	1.924	1.959	1.998	2.037	2.085	2.146	2.288
222	0.41	1.474		1.625	1.742	1.769	1.798	1.831	1.840	1.896	1.935	1.973	2.021	2.082	2.225
2-16	0.42	1.413		1.561	1.681	1.709	1.738	1.771	1.800	1.836	1.874	1.913	1.961	2.022	2.164
2-10	0.43	1.356		1.499	1.624	1.651	1.680	1.713	1.742	1.778	1.816	1.855	1.903	1.964	2.107
204	0.44	1.290		1.441	1.558	1.585	1.614	1.647	1.677	1.712	1.751	1.790	1.837	1.899	2.041
198	0.45	1.230		1.384	1.501	1.532	1.561	1.592	1.628	1.659	1.695	1.737	1.784	1.846	1.988
1.93	0.46	1.179		1.330	1.446	1.473	1.502	1.533	1.567	1.600	1.636	1.677	1.725	1.786	1.929
1.88	0.47	1.130		1.278	1.397	1.425	1.454	1.485	1.519	1.532	1.588	1.629	1.677	1.758	1.881
1.83	0.48	1.076		1.228	1.343	1.370	1.400	1.430	1.464	1.497	1.534	1.575	1.623	1.684	1.826
1.78	0.49	1.030		1.179	1.297	1.326	1.355	1.386	1.420	1.453	1.489	1.530	1.578	1.639	1.782
1.73	0.50	0.982		1.232	1.248	1.276	1.303	1.337	1.369	1.403	1.441	1.481	1.529	1.390	1.732
1-69	0.51	0.936		1.087	1.202	1.230	1.257	1.281	1.323	.357	1.395	1.435	1.483	1.544	1.686
164	0.52	0.894		1.043	1.160	1.188	1.215	1.249	1.281	.315	1.353	1.393	1.441	1.502	1.644
1.60	0.53	0.850		1.000	1.116	1.144	1.171	1.205	1.237	.271	1.309	1.349	1.397	1.458	1.600
1.56	0.54	0.809		0.959	1.075	1.103	1.130	1.164	1.196	.230	1.268	1.308	1.356	1.417	1.559
1.52	0.55	0.769		0.918	1.035	1.063	1.090	1.124	1.156	.190	1.228	1.266	1.316	1.377	1.519
1.48	0.56	0.730		0.879	0.996	1.024	1.051	1.085	1.117	.151	1.189	1.229	1.277	1.338	1.480
1.44	0.57	0.692		0.841	0.958	0.986	1.013	1.047	1.079	.113	1.151	1.191	1.239	1.300	1.442
1.40	0.58	0.665		0.805	0.921	0.949	0.976	1.010	1.042	.076	1.114	1.154	1.202	1.263	1.405
1.37	0.59	0.618		0.768	0.884	0.912	0.939	0.973	1.005	.039	1.077	1.117	1.165	1.226	1.368
1.33	0.60	0.584		0.733	0.849	0.878	0.905	0.939	0.971	.005	1.043	1.083	1.131	1.192	1.334
1.30	0.61	0.549		0.699	0.815	0.843	0.870	0.904	0.936	0.970	1.008	1.048	1.096	1.157	1.299
1.27	0.62	0.515		0.665	0.781	0.809	0.836	0.870	0.902	0.936	0.974	1.014	1.062	1.123	1.265
1.23	0.63	0.483		0.633	0.749	0.777	0.804	0.838	0.870	0.904	0.942	0.962	1.030	1.091	1.233
1.20	0.64	0.450		0.601	0.716	0.744	0.771	0.805	0.837	0.871	0.909	0.949	0.997	1.058	1.200
1.17	0.65	0.419		0.569	0.685	0.713	0.740	0.774	0.806	0.840	0.878	0.918	0.966	1.007	1.169
1.14	0.66	0.388		0.538	0.654	0.662	0.709	0.743	0.775	0.609	0.847	0.887	0.935	0.996	1.138
1.11	0.67	0.358		0.508	0.624	0.652	0.679	0.713	0.745	0.779	0.817	0.857	0.905	0.966	1.108
1.08	0.68	0.329		0.478	0.595	0.623	0.650	0.684	0.716	0.750	0.788	0.828	0.876	0.937	1.079
1.05	0.69	0.299		0.449	0.565	0.593	0.620	0.654	0.666	0.720	0.758	0.798	0.840	0.907	1.049
1.02	0.70	0.270		0.420	0.536	0.564	0.591	0.625	0.657	0.691	0.729	0.769	0.811	0.878	1.020
0.99	0.71	0.242		0.392	0.508	0.536	0.563	0.597	0.629	0.663	0.701	0.741	0.783	0.850	0.992
0.96	0.72	0.213		0.364	0.479	0.507	0.534	0.566	0.600	0.634	0.672	0.712	0.754	0.821	0.963
0.94	0.73	0.186		0.336	0.452	0.480	0.507	0.541	0.573	0.607	0.645	0.685	0.727	0.794	0.936
0.91	0.74	0.159		0.309	0.425	0.453	0.480	0.514	0.546	0.580	0.618	0.658	0.700	0.767	0.909
0.88	0.75	0.132		0.82	0.396	0.426	0.453	0.487	0.519	0.553	0.591	0.631	0.673	0.740	0.882
0.86	0.76	0.105		0.255	0.371	0.399	0.426	0.460	0.492	0.526	0.564	0.604	0.652	0.713	0.855
0.83	0.77	0.079		0.229	0.345	0.373	0.400	0.434	0.466	0.500	0.538	0.578	0.620	0.687	0.829
0.80	0.78	0.053		0.202	0.319	0.347	0.374	0.408	0.440	0.474	0.512	0.552	0.594	0.661	0.803
0.78	0.79	0.026		0.176	0.292	0.320	0.347	0.381	0.413	0.447	0.485	0.525	0.567	0.634	0.776
0.75	0.80			0.150	0.266	0.294	0.321	0.355	0.387	0.421	0.459	0.499	0.541	0.608	0.750
0.72	0.81			0.124	0.240	0.268	0.295	0.329	0.361	0.395	0.433	0.473	0.515	0.582	0.724
0.70	0.82			0.098	0.214	0.242	0.269	0.303	0.335	0.369	0.407	0.447	0.489	0.556	0.698
0.67	0.83			0.072	0.188	0.216	0.243	0.277	0.309	0.343	0.381	0.421	0.463	0.530	0.672
0.65	0.84			0.046	0.162	0.190	0.217	0.251	0.263	0.317	0.355	0.395	0.437	0.504	0.645
0.62	0.85			0.020	0.136	0.164	0.191	0.225	0.257	0.291	0.329	0.369	0.417	0.478	0.620
0.59	0.86				0.109	0.140	0.167	0.198	0.230	0.264	0.301	0.343	0.390	0.450	0.593
0.57	0.87				0.083	0.114	0.141	0.172	0.204	0.238	0.275	0.317	0.364	0.424	0.567
0.54	0.88				0.054	0.085	0.112	0.143	0.175	0.209	0.246	0.288	0.335	0.395	0.538
0.51	0.89				0.028	0.059	0.086	0.117	0.149	0.183	0.230	0.262	0.309	0.369	0.512
0.48	0.90					0.031	0.058	0.089	0.121	0.155	0.192	0.234	0.281	0.341	0.484

٩-٤ تحديد مواقع المكثفات المستخدمة في تصحيح معامل القدرة

يتم تركيب مجموعات المكثفات عادة بعد العدادات المركبة لدى المشترك، وعلى ثلاثة مستويات متباعدة للتركيبات الكهربائية الداخلية للمنشأة كما يلي:-

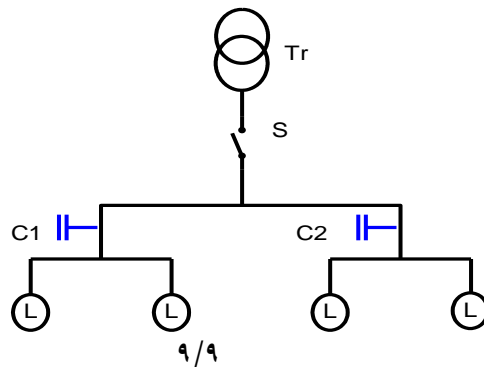
(١) عند لوحة المفاتيح الرئيسية للوحة الجهد المنخفض كما هو موضح بالشكل (٩-٦):



شكل رقم (٩-٦): تركيب المكثفات عند لوحة الجهد المنخفض الرئيسية للمنشأة

يحقق التركيب في هذا الموضع استيعاباً شاملاً لمحتويات أحمال المنشأة وخفض حمل المحول كما تقلل الساعات المطلوب توافرها في قواطع الدائرة المستخدمة ويسهل معه إمكانية فحص وحدات مجموعة المكثفات أو ملحقاتها لوجودها مجتمعة في مكان واحد كما يمكن في هذه الحالة أيضاً إضافة أية تركيبات أو توسعات جديدة للشبكة الداخلية للمنشأة بسهولة، ويعيب موقع المكثفات في هذه الحالة عدم التخلص من الفقد (Losses = I^2R) الناتج عن مرور مركبة التيار غير الفعال (I_r Reactive current component) في التركيبات المحصورة بين هذا الموقع للمكثفات ومواقع الأحمال.

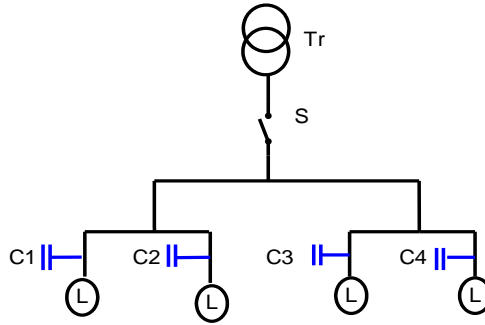
(٢) تركيب مجموعات المكثفات في حدود مناطق توزيع مجموعات الأحمال، كما هو موضح بالشكل (٩-٧):



شكل رقم (٧-٩): تركيب المكثفات بجوار نقاط التوزيع إلى الأحمال

ويحقق التركيب فى هذه المواقع الاستفادة من معامل تباين الحمل (Load diversity factor) لمجموعة من الأحمال مما يزيد من فاعلية تصحيح معامل القدرة ، كما يؤدى إلى تحسين الجهد عند نقاط توصيل كل مجموعة من مجموعات الأحمال، ويؤدى أيضا تركيب المكثفات فى هذه المواقع إلى إتاحة تحميل أعلى للمحول (توفير ساعات المحول التى كانت مستخدمة قبل التصحيح) إلا أن الفقد الناتج عن التركيبات التى تلى مواقع المكثفات فى هذه الحالة وحتى مواقع الأحمال تظل موجودة نتيجة لمرور مركبة التيار غير الفعال فى هذه التركيبات ، ويلاحظ أن الفقد فى هذه الحالة يقل نسبيا عنه فى الحالة السابقة .

(٣) تركيب مجموعات المكثفات عند نقاط توصيل الأحمال مباشرة كما هو موضح بالشكل (٨-٩):



شكل رقم (٨-٩)

تناسب طريقة التركيب هذه حالة الأحمال فى المناطق الصناعية المطلوب تصحيح معامل القدرة عندها على وجه الخصوص، حيث يتم تركيب المكثفات عند نقطة تغذية المحركات ذات القدرات الكبيرة نسبيا، وهى الطريقة الأكثر فاعلية من ناحية موقع المكثفات وذلك لأن القدرة غير الفعالة المولدة بواسطة المكثف يتم استهلاكها مباشرة بواسطة الحمل الحثى (المحرك) وبذلك يقل الفقد فى الخطوط وكذلك يقل

هبوط الجهد إلى الحد الأدنى، كما ينخفض التيار في شبكة التوزيع مما يؤدي إلى خفض تكاليف توزيع القدرة.

وتتميز هذه الطريقة بانعدام مرور التيار غير الفعال (I_f) في كابلات التركيبات وبذلك يقل الفقد في الخطوط (I^2R) بشكل ملحوظ .

ملحوظة:

يجب في جميع الأحوال دراسة مزايا تركيب مجموعات المكثفات في المواقع المختارة دراسة اقتصادية متأنية، من حيث التكاليف اللازمة عند كل حالة والمردود الاقتصادي لتحسين معامل القدرة حسب كل موقع أخذاً في الاعتبار طبيعة الأحمال المراد تصحيح معامل القدرة لها وظروف تشغيلها بما يحقق أكبر فائدة لكل من مرفق الكهرباء والمنفعين بها معاً لما في ذلك من مدلول اقتصادي إيجابي على مستوى الناتج القومي بصفة عامة .

المعلومات والقياسات الواجب توافرها لإجراء تصحيح معامل القدرة

٥-٩

يجب توافر المعلومات التالية عند البدء في الحسابات الخاصة بتصحيح معامل القدرة لتحديد قيمة القدرة غير الفعالة المطلوبة بواسطة المكثفات لتعويض ما تستهلكه الأحمال الحثية من هذه القدرة، ويتم الحصول على هذه المعلومات بواسطة أجهزة القياس المستخدمة في قياس المتغيرات الكهربائية على القضبان الرئيسية أو الفرعية لشبكة التغذية مثل قياس جهد الخط (Line voltage)، وجهد الطور (Phase voltage)، وكذا شدة التيار المار في الخط (Line current)، والتيار كل طور (Phase current) وكذلك قياس معامل القدرة $\cos \Phi$ إلى جانب القياسات السابقة .

ويتم توصيل أجهزة القياس المستخدمة للحصول على هذه القياسات عند نقط القياس المختارة بمراكز الأحمال لتسجيل قيم هذه القياسات على مدار ٢٤ ساعة، ويتم نقل النتائج إلى جهاز الحاسب الآلي ومن ثم رصد المعايير المطلوبة و اللازمة لتحديد قيمة القدرة غير الفعالة التي يستهلكها الحمل وبالتالي تحديد القدرة غير الفعالة التعويضية المطلوب توليدها بواسطة المكثف أو مجموعة المكثفات التي يتم تحديد سعتها على ضوء هذه القياسات ، و من هذه المعايير :-

* معامل القدرة الحالي

يتم احتساب معامل القدرة الحالي للمنشأة أو الحمل موضوع الدراسة على مدار فترة القياس وتحت ظروف تحميل مختلفة، ويراعى في تحديد سعة المكثفات اعتبار أساس الحساب على أقل معامل قدرة خلال فترة القياس .

* منحني الحمل

يجب استنتاج منحنيات الحمل (Load Curves) لكل من القدرة الفعالة (kW) والقدرة غير الفعالة (kVAR) للشبكة أو للأحمال المطلوب تصحيح معامل القدرة لها من خلال القياسات التي أمكن الحصول عليها خلال فترة القياس لاستنتاج مدى تباين الحمل تحت ظروف التحميل المختلفة.

* معاملات تباين الحمل (Load diversity factors) :

يتم استخلاص معاملات تباين الحمل من خلال القراءة الدقيقة لمنحنيات الحمل، وهذه المعاملات تكتسب أهمية خاصة لكونها كاشفة للمتغيرات الكهربائية بالشبكة نتيجة لتباين ظروف التحميل المتعلقة بطبيعة الحمل، وعلى ضوء هذه المعاملات يمكن تحديد مواقع المكثفات المستخدمة في تصحيح معامل القدرة .

* معامل القدرة المستهدف :

بعد قياس معامل القدرة للحمل قبل التصحيح يتم تحديد معامل القدرة المطلوب المستهدف (Target P.f.) وباستخدام الجدول رقم (٩-١) يمكن الحصول على المعامل K الذي يجب ضربه في قيمة القدرة الفعالة لتحديد قيمة القدرة غير الفعالة (kVAR) المطلوب إنتاجها بواسطة المكثف أو مجموعة المكثفات، ومن ثم سعة كل مكثف والتي يمكن حسابها من المعادلة (٩-٥):

$$\begin{aligned} - \tan \Phi_1 \tan Q (kVAR) &= P(kW) \times [\Phi_2 \\ Q (kVAR) &= K P(kW) \end{aligned} \quad (9-5)$$

حيث أن :

$$[\Phi_2 - \tan \Phi_1 \tan K =]$$

ويوصى بأن يتراوح معامل القدرة المستهدف ما بين ٠.٩ إلى ٠.٩٥ لضمان الحصول على أكبر عائد ممكن نتيجة لتصحيح معامل القدرة .

٦-٩ مواصفات المكثفات المستخدمة لتصحيح معامل القدرة

بعد الانتهاء من تحديد الأسلوب الأمثل لتعويض القدرة غير الفعالة كمرحلة ابتدائية من مراحل تحسين معامل القدرة في شبكات التوزيع، تبدأ مرحلة توصيف المكثفات وملحقاتها لتصبح مطابقة للمنصوص عليه بالمواصفات القياسية لتكون هذه المواصفات

هي الأساس الذي يتم المفاضلة عليه عند تحليل عروض الأسعار الخاصة بالتوريد و التركيب التي تقدم من الشركات المختصة في هذا المجال، على أن تكون المكثفات المطلوبة قادرة على التشغيل المستمر دون الإخلال بالشروط الآتية:-

* يجب أن يكون التصنيع و الاختبارات لوحداث المكثفات طبقا للمواصفات الدولية الكهروتقنية IEC 60831 .

* يجب أن يتحمل المكثف ١٣٠٪ من التيار المقنن للتشغيل نتيجة لوجود تيارات توافقيات .

* يجب أن يراعى في مرحلة التصميم أن يكون المكثف أو مجموعة المكثفات قادرة على إنتاج قدرة غير فعالة (KVAR) بنسبة ١٣٥٪ من القيمة المحسوبة، لتشمل القدرة غير الفعالة الإضافية التي تصاحب الجهود الزائدة نتيجة لظروف التشغيل غير العادية التي تمر بها المنظومة، بشرط ألا تتجاوز الزيادة الجهد المعدل المنصوص عليه أيضا على لوحة التوصيف.

* تقدر نسبة ١١٥٪ من القيمة المتوسطة للجهد المعتاد على أساس (Rated voltage r.m.s)، علما بان قيمة القدرة غير الفعالة المطلوبة للتحسين تحسب عند جهد التشغيل وهو ٤٠٠ فولت ، كما يمكن زيادة هذه القيمة للجهد إلى ٤٤٠ فولت في حالة تبين وجود محتوى توافقيات جهد أثناء القياس.

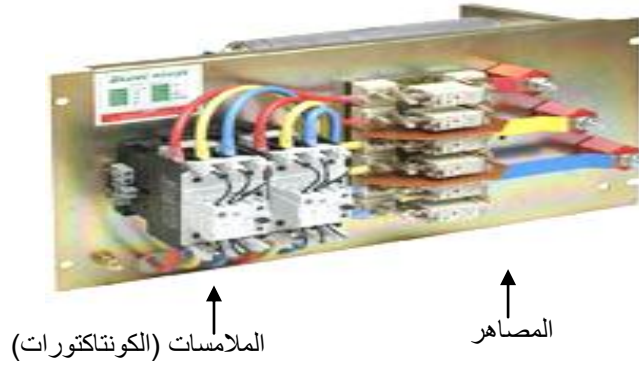
* يتم تحديد درجات الحرارة التي يتحملها المكثف طبقا لظروف المكان الموجود به لوحة الجهد المنخفض، ومن ثم الموقع المختار لتركيب المكثفات من حيث جودة التهوية ، على أن تتراوح ما بين ٥ - إلى ٥٥ °°

٧-٩ المهام الملحقه بالمكثفات

(أ) الملامسات وقواطع الفصل والتوصيل :

- يبين شكل (٩-٩) نموذج للملامسات (Contactors) والمصاهر المستخدمة مع مجموعة مكثفات تحسين معامل القدرة.

- يتم اختيار هذه المعدات على أساس التيار المقنن العادي (Rated normal current) بحيث تكون مصممة على أساس ١.٥ مرة من قيمة التيار المقنن لمجموعة المكثفات .



شكل رقم (٩-٩): الملاسمات والمصاهر المستخدمة
مع مجموعة مكثفات تحسين معامل القدرة

(ب) المصاهر المستخدمة في حماية وحدات المكثفات :

هي مصاهر ذات سعة قطع عالية ومحددة للتيار (Current limiting HRC) ومن الخصائص الرئيسية لها أنها تتحمل الموجات العابرة العالية الناتجة من تشغيل المكثفات .

عند حدوث قصر و انصهار احد المصاهر الداخلية المركبة على وحدة المكثف أو مصفوفة المكثفات ، يحدث ارتفاع في الجهد على مجموعة المكثفات المتصلة على التوازي مع هذا المصهر و يرجع ذلك الى زيادة ممانعة المجموعة نتيجة انخفاض السعة المكافئة للمجموعة المتوازية .

وللحفاظ على المكثفات يجب أن يكون زمن عمل المصهر صغيراً جداً بحيث يكون القطع سريعاً جداً و ذلك قبل حدوث أى انصهار لمصهر آخر بنفس المجموعة و بالتالي ارتفاع متتالي في الجهد.

(ت) استخدام منظم المراحل للتحكم في المكثفات آلياً :

(Automatic capacitor regulator)

* يمكن توصيف المكثفات من حيث التشغيل إما من النوع الثابت "Fixed type"

أو النوع القابل للفصل والتوصيل "Switched bank".

* تستخدم المكثفات الثابتة إذا كانت أحمال المنشأة المراد تركيب مكثف لها ثابتة تقريباً خلال فترات التشغيل والورديات .

* من عيوب النوع الثابت أنه يعمل على رفع جهد الشبكة الكهربائية إلى قيم أعلى من الجهد المقنن في خلال فترات اللاحمل و الأحمال الخفيفة ، كذلك تقل

الاستفادة من تخفيض فقد لأن اختيار قدرة المكثفات من هذا النوع يعتمد على قيمة ثابتة للقدرة غير الفعالة خلال ساعات اليوم الكامل .

* يفضل استخدام المكثفات من النوع القابل للفصل والتوصيل حيث يمكن التحكم في إضافة قيمة القدرة غير الفعالة اللازمة للشبكات الكهربائية في هذه الحالة ، وبذلك يتحسن الجهد ويقل فقد .

* إذا كانت الأحمال تتغير بصفة مستمرة خلال فترات التشغيل، فإنه يتم تركيب مكثفات من النوع القابل للفصل والتوصيل. وفي حالة الأحمال التي تجمع بين الحالتين السابقتين (أحمال ثابتة + أحمال متغيرة) فإنه يمكن تركيب مكثفات تحتوي على جزء ثابت وجزء من النوع القابل للفصل والتوصيل.

* تقسم المكثفات من النوع القابل للفصل والتوصيل إلى أجزاء تسمى مراحل (Steps) لها قدرات (ك. فار) محددة حيث يتم التحكم في دخول مرحلة أو أكثر عن طريق أجهزة التحكم الآلي (Automatic Regulator) من خلال ملامس (Contactor) لكل مرحلة .

الشروط الواجب توافرها في أجهزة التحكم الآلي (Automatic Regulator):

- * أن يكون تصميم الجهاز بسيطاً بقدر الإمكان وأن يكون موثقاً به.
- * أن يتحمل ظروف البيئة الصناعية.
- * له المقدرة على توصيل أو فصل مرحلة أو أكثر من المكثفات.
- * أن يكون سهل الضبط.
- * في حالة الأجهزة ذات المراحل المتعددة يجب أن يجهز لأي احتمال بإضافة مراحل تالية.

(ث) الكابلات المستخدمة في توصيل المكثفات :

يتم اختيار مساحة مقطع الكابل طبقاً للمواصفات الكهروتقنية الدولية (IEC 46 -) على أساس أن يكون التيار المار يساوي ١٣٥٪ من التيار المقنن للمكثف.

ويبين جدول (٩-٢) مقننات المصاهر ومقاطع موصلات الكابلات المستخدمة.

جدول رقم (٩-٢) : مقتنات المصاهر ومقاطع الموصلات

المستخدمة مع مكثفات تحسين معامل القدرة

طبقاً لمقتن أجهزة الملامسات (Contactors)

OUTPUT (kVAR)	RATED VOLTAGE 230 V, 50 HZ			RATED VOLTAGE 400 V, 50 HZ			VOLTAGE 415 V, 50 HZ		
	RATED CURRENT (A)	FUSE (A)	CABLE/ (mm ²)	RATED CURRENT (A)	FUSE (A)	CABLE/ (mm ²)	RATED CURRENT (A)	FUSE (A)	CABLE/ (mm ²)
2.5	6.3	16	2.5	3.6	10	1.5	3.5	10	1.5
5	12.6	25	4	7.2	20	2.5	7.0	20	2.5
6.67	16.7	35	6	9.6	20	2.5	9.3	20	2.5
7.5	19	35	6	10.80	20	2.5	10.4	20	2.5
8.33	21	35	6	12	20	2.5	11.6	20	2.5
10	25	50	10	14.4	25	4	13.9	25	4
12.5	31	63	16	18	35	6	17.4	35	6
15	38	63	16	21.7	35	6	20.9	35	6
16.7	42	80	25	24.1	50	10	23.2	50	10
20	50	100	35	28.9	50	10	27.8	50	10
25	63	125	50	36.1	63	16	34.8	63	16
30	75	125	50	43.3	80	25	41.7	80	25
33.3	84	160	70	48.1	80	25	46.3	80	25
40	100	160	95	57.7	100	35	55.6	100	35
50	125	250	120	72.2	125	50	69.6	125	50
60	--	--	--	86.6	160	70	83.5	160	70
66.7	--	--	--	96.3	160	70	92.8	160	70
70	--	--	--	101	160	70	97	160	70
75	--	--	--	108	160	70	104	160	70
83.3	--	--	--	120	200	95	116	200	95
100	--	--	--	144	250	120	139	250	120

٩-٨ أقل معامل قدرة مسموح به

- تشترط هيئات إمداد الكهرباء على عملائها ألا يقل معامل القدرة للأحمال الكبيرة الصناعية والتجارية عن قيمة محددة وعلى أن يكون معامل القدرة ٠.٩ على الأقل.

عندما يكون معامل القدرة أقل من ٠.٩ (مثلا ما بين ٠.٧ و ٠.٩) فإن تعريف تغذية الطاقة تزداد بمقدار ٠.٥٪ لكل ٠.٠١ إنخفاض في معامل القدرة عن أقل قيمة مسموح بها. ويمكن حساب تكلفة غرامة معامل القدرة من المعادلة (٩-٦):

$$\text{Annual cost of penalty} = 0.005 \times \left(\frac{0.9 - P.f}{0.01} \right) \times (\text{Annual consumption}) \times \text{tariff (L.E/kWhr)} \quad (9-6)$$

وفى حالة زيادة معامل القدرة عن ٠.٩٢ (ما بين ٠.٩٢ و ٠.٩٥) فسوف تنخفض التعريف بمقدار ٠.٥٪ لكل ٠.٠١ زيادة في معامل القدرة أكثر من ٠.٩٢ ويمكن حساب تكلفة حافز (Bonus) زيادة معامل القدرة من المعادلة (٩-٧) كالآتي:

$$\text{Annual cost of bonus} = 0.005 \times \left(\frac{P.f - 0.92}{0.01} \right) \times \text{Annual consumption (kwhr)} \times \text{tariff} \quad (9-7)$$

٩-٩ تصحيح معامل القدرة فى المباني التجارية

(أ) توصيل مكثف على التوازي مع الحمل

- لتحسين معامل القدرة يتم توصيل مكثف على التوازي مع الحمل (محركات كهربائية أو مصابيح تفريغ كهربي).
- يمكن حساب زيادة النسبة المئوية لتقليل الفقد فى القدرة الكهربائية عندما يتحسن معامل القدرة من $\cos \phi_1$ إلى $\cos \phi_2$ من المعادلة (٩-٨) كالآتي:

$$\% \text{ Reduction of losses} = \left[1 - \frac{(\cos \phi_1)^2}{(\cos \phi_2)^2} \right] \times 100 \quad (9-8)$$

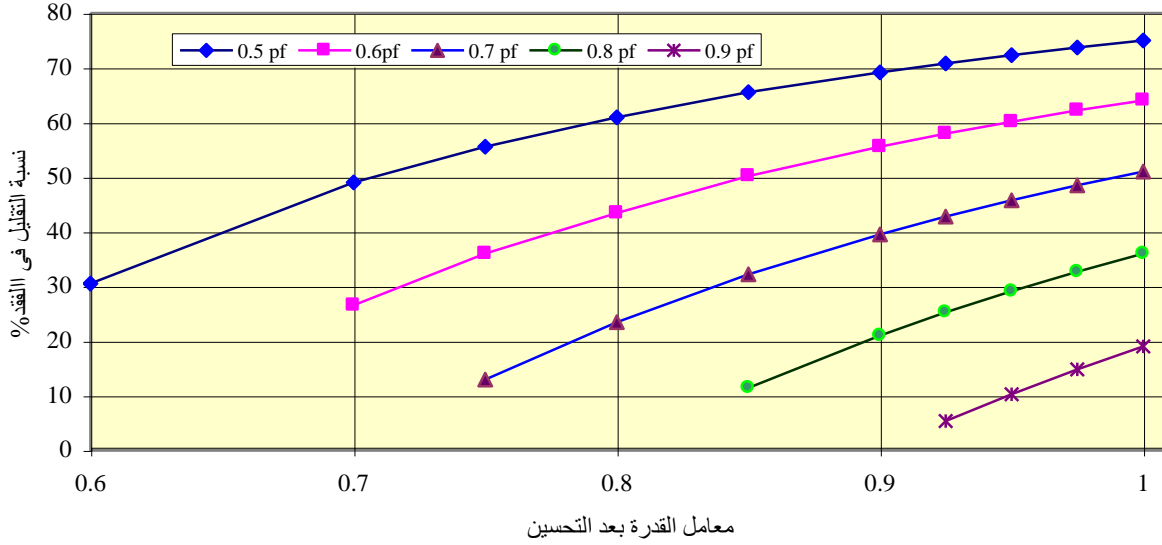
بفرض أن : $\cos \phi_1 = 0.6$

فإن النسبة المئوية لتقليل الفقد فى القدرة عند تحسين معامل القدرة إلى القيم الواردة فى جدول (٩-٣) وتكون كما يلى :

جدول رقم (٩-٣) تقليل الفقد فى القدرة الكهربائية نتيجة تحسين معامل القدرة
($P.f_1 = 0.6$)

معامل القدرة المستهدف (P.f 2)	٠.٧	٠.٨	٠.٩	١
تقليل الفقد %	٢٦.٥	٤٣.٧	٥٥.٥	٦٤

ويوضح شكل (٩-١٠) نسبة تقليل الفقد في القدرة عند تصحيح معامل قدرة من ٠.٥ إلى ٠.٩



شكل رقم (٩-١٠): النسبة المئوية لتقليل فقد القدرة نتيجة لتحسين معامل القدرة

توصيل مكثف على التوازي مع الحمل (المصابيح الفلورية)

- يكون معامل القدرة للمصابيح الفلورية عادة منخفضاً، ولذلك يمكن استخدام مكثف على التوازي لتحسين معامل القدرة.
- عندما يستخدم مكثف ٥ ميكروفاراد مع مصباح فلورى بطول ٦٠ سم قدرة ٢٠ وات، فإن معامل القدرة يتحسن من ٠.٣٦ إلى ٠.٩٤ وتتغير قيمة التيار من ٠.٣٧٩ أمبير إلى ٠.١٥ أمبير. أما إذا استخدم مكثف سعة ٥ ميكروفاراد مع مصباح فلورى بطول ١٢٠ سم قدرة ٤٠ وات، فيتحسن معامل القدرة من ٠.٤٨ إلى ٠.٩٣ وتتغير قيمة التيار من ٠.٤٠٤ أمبير إلى ٠.٢٠١ أمبير.

(ب) بنك مكثفات مع اللوحة الرئيسية

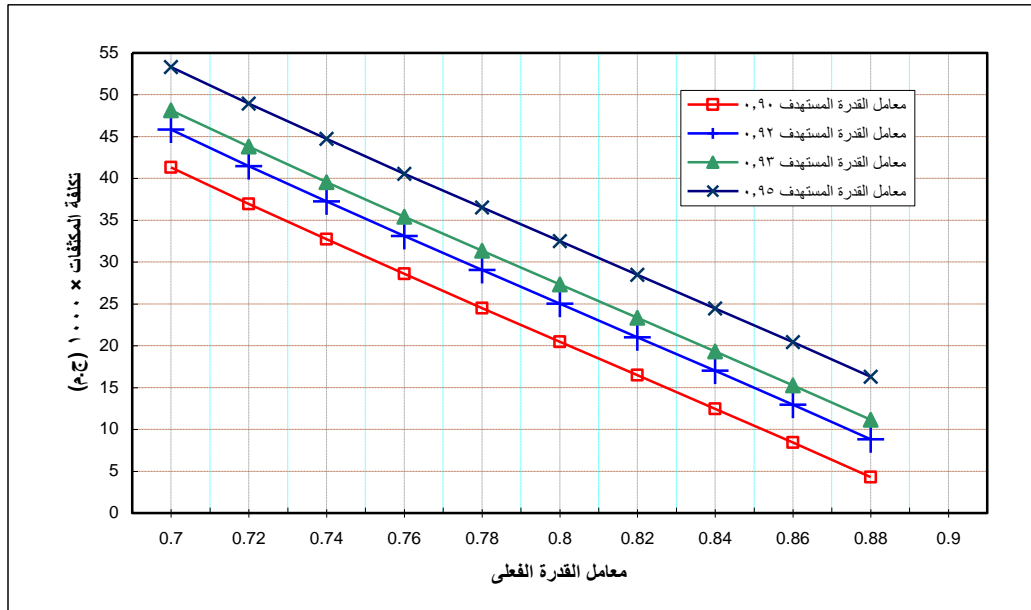
- لتحسين معامل القدرة الكلى فإنه يمكن استخدام بنك مكثفات (ثابت أو متغير) مع اللوحة الرئيسية بدلا من وضع مكثف منفرد على التوازي مع كل حمل.

- يمكن تحديد قيمة القدرة غير الفعالة للمكثفات المطلوبة $(kVAR)_c$ لتحسين معامل القدرة من $P.f_1$ إلى $P.f_2$ من المعادلة (٩-٩) كالآتي :

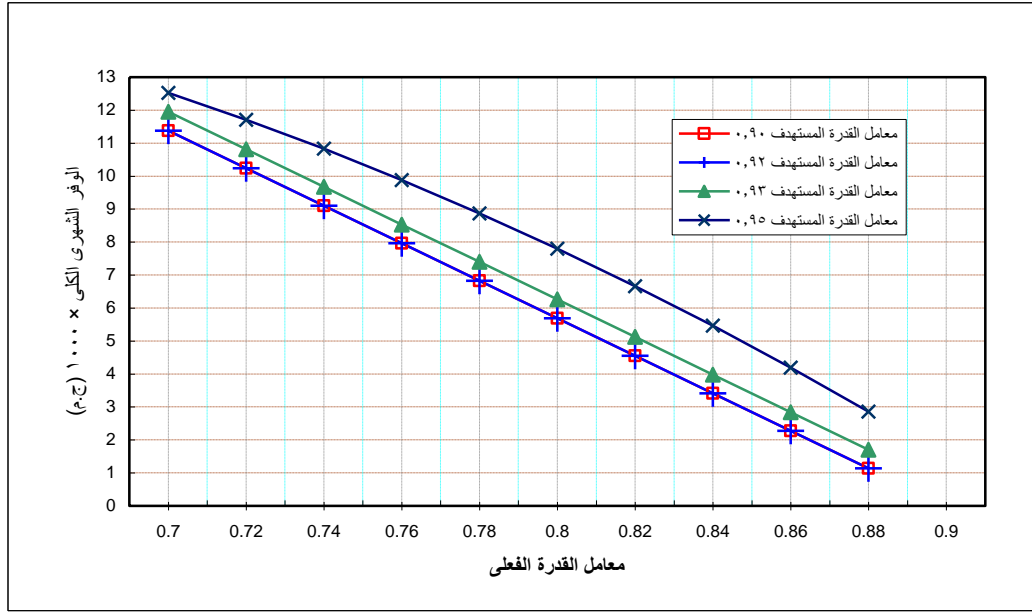
$$(kVAR)_c = kVA \times P.f_1 \times \tan(\cos^{-1} P.f_1) - kVA \times P.f_2 \times \tan(\cos^{-1} P.f_2) \quad (9-9)$$

- يمكن حساب فترة الاسترداد التى يتساوى عندها تكلفة بنك المكثفات مع التكلفة الكلية لغرامة وحافز معامل القدرة المنخفض المقررة من هيئات الكهرباء.

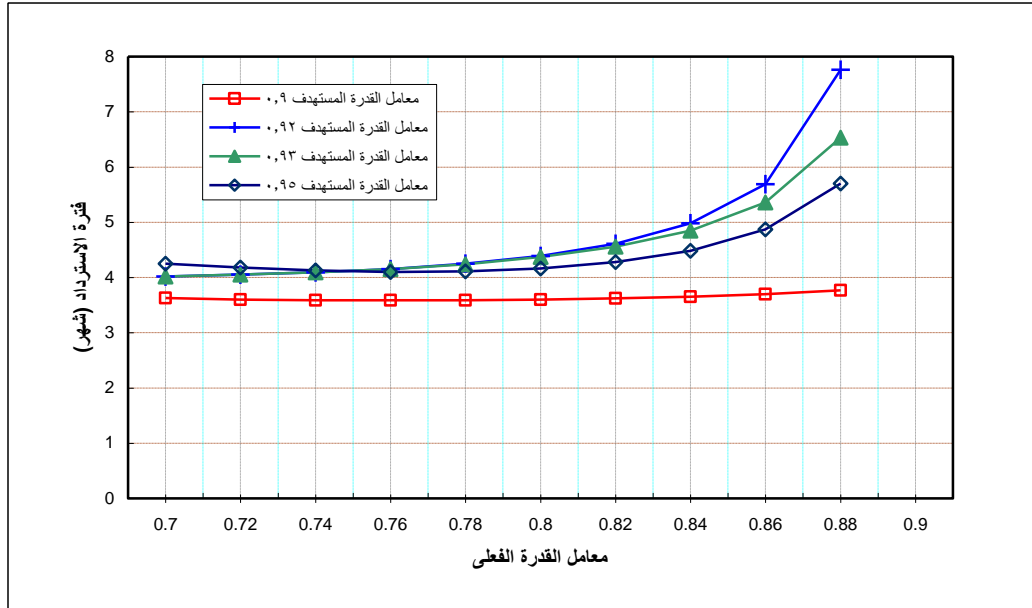
- توضح الأشكال (٩-١١) ، (٩-١٢) تكلفة بنك المكثفات والتوفير الشهري الكلى لتحسين معامل القدرة لحمل ٧٠٠ كيلو وات. بينما يوضح شكل (٩-١٣) فترة الاسترداد.



شكل رقم (٩-١١): تكلفة بنك المكثفات لتحسين معامل القدرة
لحمل ٧٠٠ كيلو وات بأسعار عام ٢٠٠٥

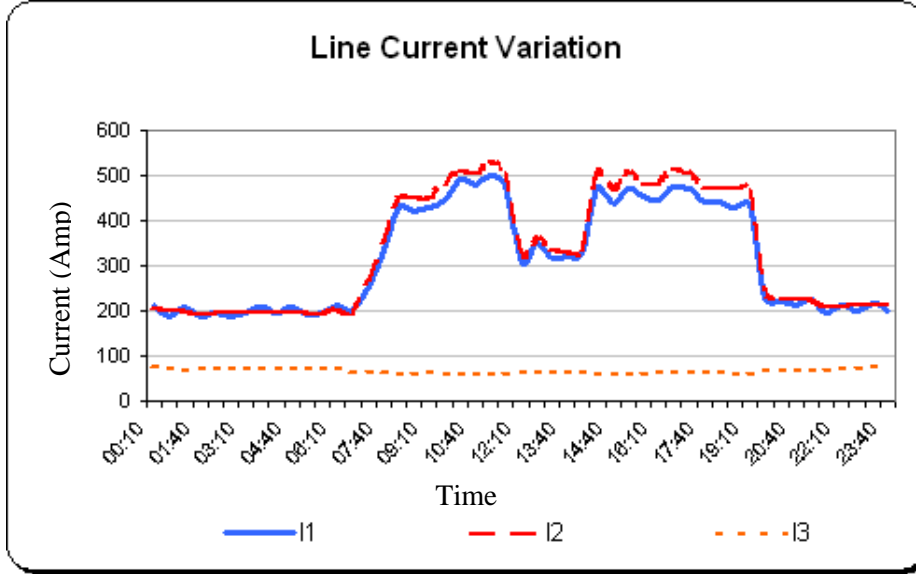


شكل رقم (٩-١٢): الوفر الشهري الكلى نتيجة تحسين
معامل القدرة لحمل ٧٠٠ كيلو وات بأسعار ٢٠٠٥

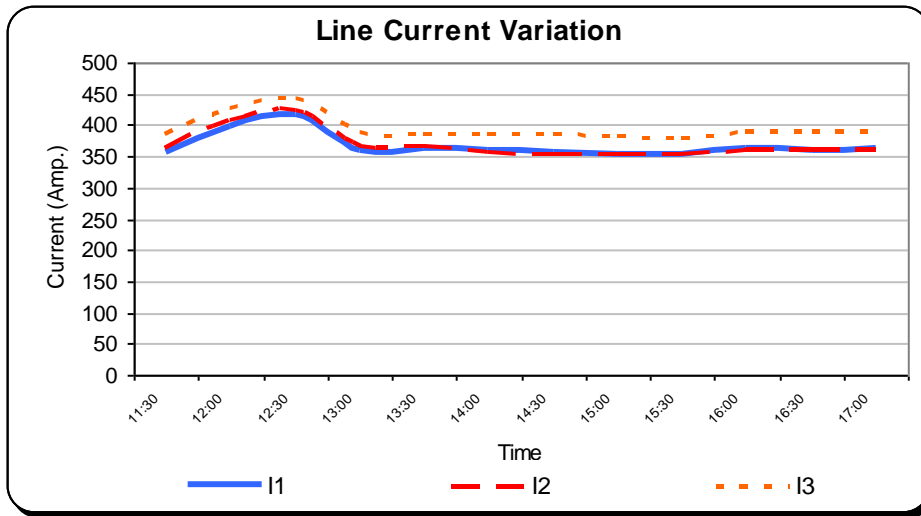


شكل رقم (٩-١٣): فترة الإسترداد لبنك المكثفات لتحسين معامل القدرة
لحمل ٧٠٠ كيلو وات

تبين الأشكال من (٩-١٤) إلى (٩-١٧) قياسات المتغيرات الكهربائية (التيار - الجهد - القدرة - معامل القدرة) لمبنى مجمع وزارة الكهرباء والطاقة - محول (١) قبل وبعد تركيب المكثف كأحد الأمثلة العملية لاستخدام المكثفات لتحسين معامل القدرة.



(أ)

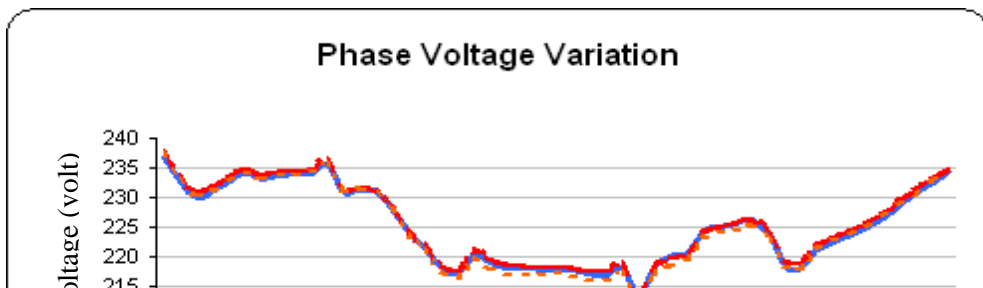


(ب)

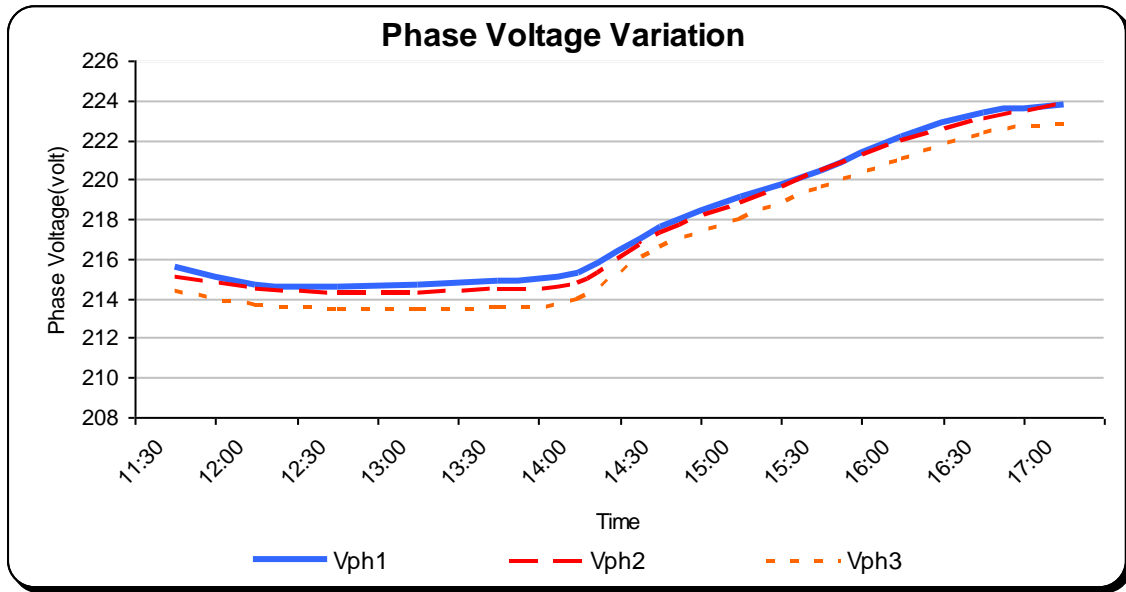
شكل رقم (٩-١٤): نتائج قياسات المتغيرات الكهربائية لمبنى مجمع وزارة الكهرباء والطاقة - محول ١ بقدرة ٢٠٠٠ ك.ف.أ.

(أ) قبل تركيب المكثف

(ب) بعد تركيب المكثف



(أ)



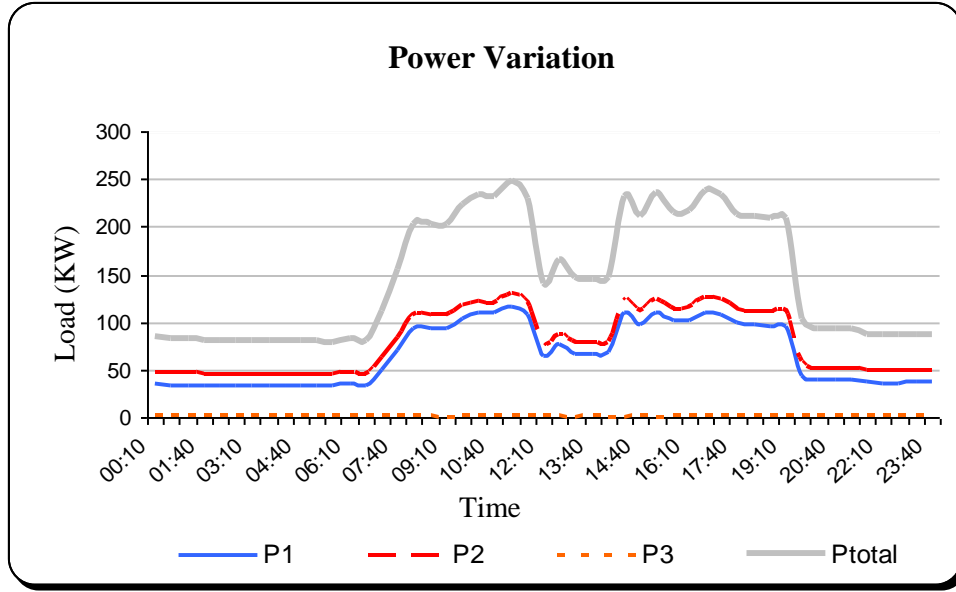
(ب)

شكل رقم (٩-١٥): نتائج قياسات المتغيرات الكهربائية لمبنى مجمع وزارة الكهرباء

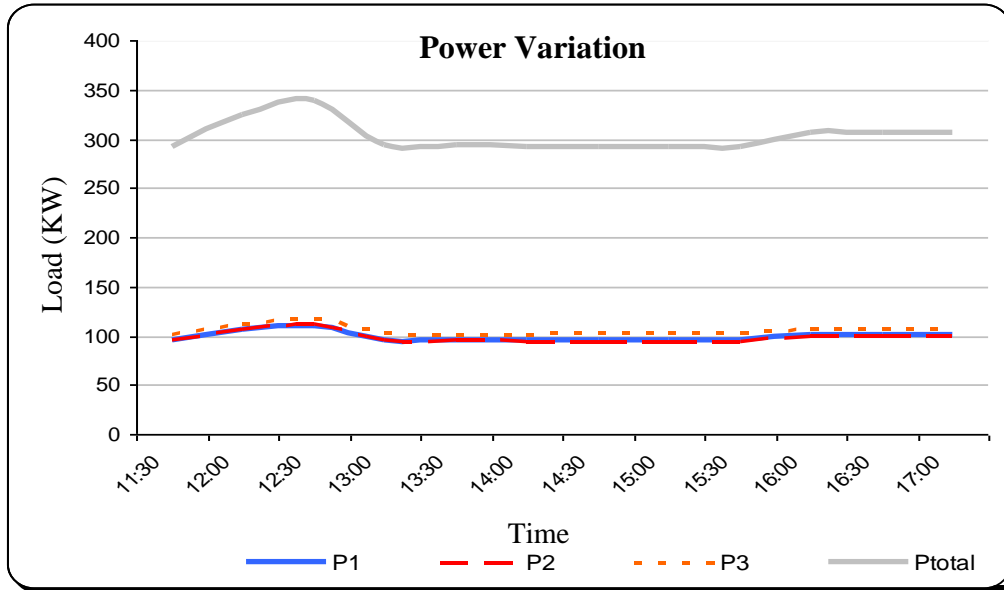
والطاقة - محول ١ بقدرة ٢٠٠٠ ك.ف.أ.

(أ) قبل تركيب المكثف

(ب) بعد تركيب المكثف



(أ)

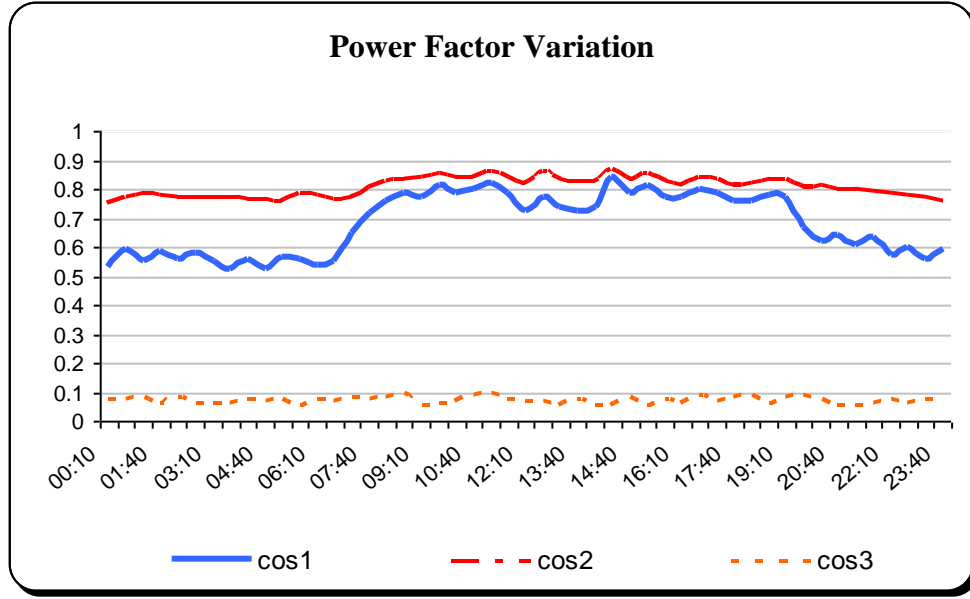


(ب)

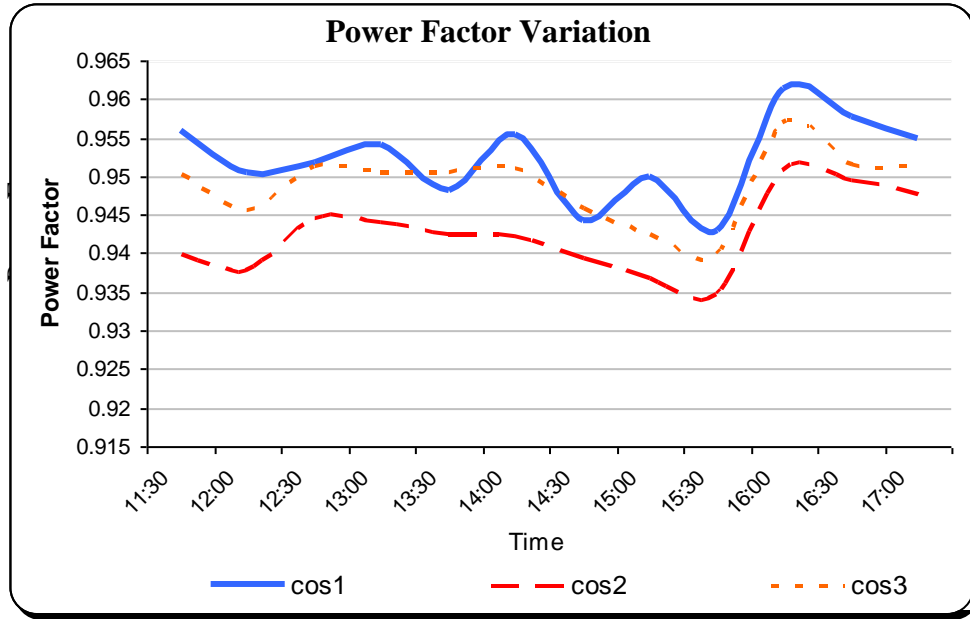
شكل رقم (٩-١٦): نتائج قياسات المتغيرات الكهربائية لمبنى مجمع وزارة الكهرباء
والطاقة - محول ١ بقدرة ٢٠٠٠ ك.ف.أ.

(أ) قبل تركيب المكثف

(ب) بعد تركيب المكثف



(أ)



(ب)

شكل رقم (٩-١٧): نتائج قياسات المتغيرات الكهربائية لمبنى مجمع وزارة الكهرباء
والطاقة - محول ١ بقدرة ٢٠٠٠ ك.ف.أ.

(أ) قبل تركيب المكثف

(ب) بعد تركيب المكثف



الإتجاهات العملية لتحسين معامل قدرة الأحمال الكهربائية

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

الأحمال الحثية

المعدات الحثية أو المغناطيسية هي تلك التي تخزن طاقة في ملفات حيث أن التيار المار في الملفات يولد خطوط فيض مجال مغناطيسي. وبدون هذه المغنطة فإن الطاقة لا تسري خلال قلب المحول أو تعبر الثغرة الهوائية للمحرك أو الريلبة مثلاً. وبجانب المحولات والمحركات الحثية فالأحمال الحثية تشمل الملفات الخائفة للمبات الإضاءة (ballasts) وملفات تحديد تيار القصر وضبط زيادة الجهد والأفران الحثية وملفات محولات اللحام بالقوس الكهربائي 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 إحصائي 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) ونقاس 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

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

موجات الجهد والتيار

كل من الجهد (V) والتيار (I) في مصادر التيار المتناوب تتغير قيمته مع الزمن بصورة جيبيية. القدرة الفعالة المتاحة P من مصدر تيار متناوب تعطى بالعلاقة :

$$P = VI \cos \theta \text{ (Watts)}$$

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 الأحمال 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.



بالكيلووات والثالثة بالكيلو فار.

تيار المغططة 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 وفوائده رفعه وتحسينه

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

أ- غرامات معامل القدرة (Power Factor Penalty)

طبقاً لمكونات تعريف بيع التيار الكهربائي في مصر فإن كبار المستهلكين التجاريين والصناعيين يتعرضون للغرامة بالإضافة 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 حسب 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.

معامل القدرة المتقدم والمتاخر 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 خارجاً 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 المغططة 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 الكهربائية 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. يتدني معامل القدرة أكثر إذا ما عملت الأحمال عند تحميل أقل من القيم التصميمية المقننة لأن

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 لكمية 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 ففواقد شبكة التوزيع (I^2R) ستقل بـ 35%. فعلى سبيل المثال القطاع الصناعي لاستهلاك الكهرباء في مصر في عام 1988 يستهلك 8400 جيغاوات. 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 جيغاوات. ساعة في السنة، وعلى ذلك فتحسين معامل القدرة من 0.8 إلى 0.95

(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 والمستهلك بحسبان من قراءات عدادات الكيلو وات والكيلو فار. ساعة كالآتي :

معامل القدرة المتوسط = (الكيلووات . ساعة) / (الكيلووات . ساعة)² + (كيلو فار . ساعة)² / 2/1

و تحسين معامل القدرة بحيث يصبح المتوسط السنوي يساوي 0.9 أو يزيد عنها يؤدي إلى وفر مكافئ للغرامة التي تم تجنبها في الفائرة القادمة ولدى العمر الافتراضي للشبكة.

ب- استطاعة الشبكة (System capacity)

معامل القدرة المتدني يقلل من استطاعة الشبكة الكهربائية 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 ببنما تحسينها من 0.7 إلى 0.9 يمكنه من امداد أحمال نافعة تصل إلى 100 كيلووات. هذه الأحمال على مدى 24 ساعة ولدة 30 عاماً تؤدي إلى بيع عدد كبير من الكيلووات. ساعة تصل إلى حوالي 11 مليون كيلووات. ساعة أو 22 مليون كيلووات. ساعة في عمر المحول.

كذلك نفس المثال ينطبق للتوليد الذاتي للقدرة الكهربائية للمولدات التي تدار بمكينات 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 الكهربائية 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.

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

هـ- ائزان الجهود

سببنة 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. ويزيادة هذه القدرة غير الفعالة يزداد الانحدار في الجهد ويؤدي لظاهرة عدم الاتزان إذا ما وصل الانحدار للجهود الحرج لنقطة التوصيل بالشبكة. وتقلبات الجهود مرتبطة عموماً بظروف معامل القدرة للتدني. والتحكم في الجهد يصبح أكثر صعوبة. فبينما قد لا يكون معامل القدرة اقتصادياً لغرض التحكم في الجهد. فإن ائزان 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 وسيحسن معامل القدرة. فإذا كان كل الكيلو فار المطلوب للحمل سيقضى من مصدر خارجي فإن معامل القدرة سيتمكن تحسينه للوحدة.

المصدر الفعال والمعروف للكيلو فار هو المكثف الذي يخزن أيونات 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 اللعة 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 تركيب المكثفات فقط إلى المعدات ذات معامل القدرة المنخفض. كمثال لذلك هو لمبات الفلورسنت ولمبات الإضاءة شديدة الإضاءة كنتك 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 تحسين معامل قدرة على الناحية الابتدائية للمحول. جدول (1) يبين مقننات المكثفات اللازمة تختلف المحولات ذات السعات المختلفة.

المحركات الحثية

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

أنواع المحركات الحثية.

أفران القوس الكهربى

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 الكهربى. لذلك يلزم لها مكثفات تحسب معامل قدرة. ولقد وجدت الدراسات الحديثة أن الفيزات الثلاثة تكون دائماً غير متوازنة وأن توازن الحمل مع تحسب معامل القدرة يتطلب مكثفات صغيرة وغير متساوية القيمة تحسب بطريقة معينة.

أحمال اللحام بالقوس الكهربى

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

أحمال التحليل الكهربى ومحطات استخلاص الألمنيوم

هذه الأحمال تغذى من محطات موحدة كبيرة معامل قدرتها يتراوح بين 0.85 و 0.95 ويلزم لها مكثفات تحسب 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 أشغال الثايروسترات.

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 ما يسبب زيادة التكاليف الأولية. تعبير "محطة تحسب معامل القدرة" يستخدم عادة مع مكثفات تحسب القدرة لهذه الشبكة والنظام التالي.

ج- التعويض المركزى (Central Compensation)

يعتني التعويض المركزى شكل (7) بتحسب معامل قدرة المحطة ككل. فهو يقدم أبسط وأخص التجهيزات المقدر على التوصيل. والفصل ضرورة للتحكم في المكثفات أثناء تغيير حميل الأحمال. العيب الوحيد للتعويض المركزى هو أنه لا يزيد استطاعة شبكة التوزيع لمحطة التوليد كالطرق السابقة.

المكثفات عادة ما تركيب 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 الرئيسى ومفاتيح التحكم ولبيات البيان تكون إضافات ضرورية تستخدم حساسات التحكم لمراقبة الكيلو فار ومنها مرحلات التأخير الزمني التي تتحكم في خطوات مجموعات المكثفات لتصبح مكهرية أو غير مكهرية في الدائرة طبقاً للاحتياج إليها من عدمه.

وسائل تعويض معامل القدرة للأحمال أ- المحرك الزمنى (المعوض التزامنى)

أقدم وسائل تعويض القدرة غير الفعالة هو المحرك التزامنى. 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 وحققه للشبكة لتحسين معامل قدرتها ويسمى (المكثف التزامنى). 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 ال (Static VAR TSC Compensator, type TSC)

وات "P" ويستخدم الحمل المقابل لمعامل القدرة المفاس. 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 تعريف الكهرباء حدد غرامة معامل قدرة إذا قل معامل القدرة عن 0.9 فأقصى درجة تحسين اقتصادية وجدت عندما يكون معامل القدرة النهائي يساوي 0.9 ولعامل 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 $(\cos \theta_1)$. ولآخر $(\cos \theta_2)$ لحمل مقداره P كيلو وات كآلاتي :

$$KVar (required) = P (\tan \theta_1 - \tan \theta_2)$$

$$KVar (required) = KP$$

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 حوى 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 بالثولت (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 مجده 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

مع ظهور الثايرستور في العقد الماضيين أمكن التحكم في تيارات المكثف استاتيكيًا بدون الحاجة لمرحلات أو مفاتيح وصل وتوصيل وبدون حركة. فالمكثفات تكون في مجموعات وتوصل إلى مجموعات من الثايرستورات متصلة مع مجموعة أخرى في اتجاه معاكس. بهذه الثايرستورات يمكن التحكم في التيار الداخل للمكثفات وبالتالي فالكيلو فار اللازم لتحسين معامل القدرة يساوي $(I^2 X)$ 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 كالثايرستورات 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 التوافقيات 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 وتخمين 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 نوموجرامات و جداول لحساب مقنناتها لأي حمل. وحساب الكيلو فار المطلوب لتحسين معامل قدرة حمل 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

استعادة سعر المكثف بمثال :

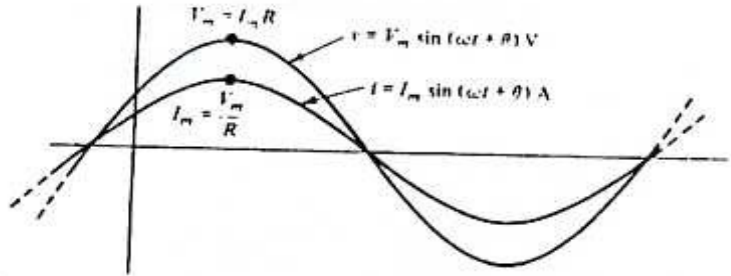
مثال : إذا كانت شركة صناعية تعمل بمعامل قدرة 0.79 ويراد تحسين معامل قدرتها 0.92 لتجنب غرامة معامل القدرة المتدني وإذا كان أقصى طلب لها هو 100 كيلو وات والاستهلاك المتوسط 5 مليون كيلو وات. ساعة معامل التحسين من معامل قدرة 0.79 إلى معامل قدرة 0.92 من الجداول هو 0.350 وعلى ذلك فالمكثف المطلوب لتجنب غرامة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

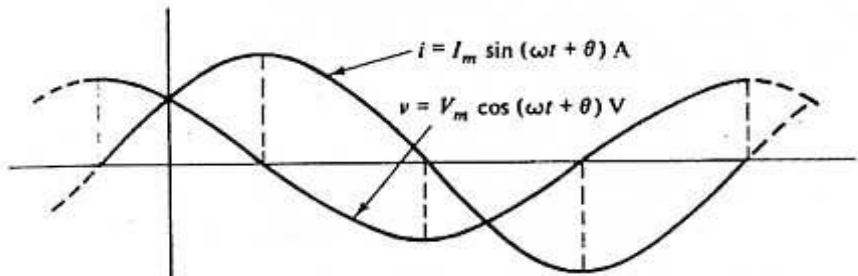
وهكذا. كذلك يضاف 10% سماحية تصنيع للقيم المحسوبة سابقاً. فمثلاً محطة ذات حمل 600 كيلو وات يراد تحسين معامل قدرتها من 0.75 إلى 0.85. فنجد أن معامل التحسين من الجدول يعطي 0.398 (كيلو فار/ كيلو وات). وعلى ذلك فصمتن المكثف المطلوب يساوي (398x600) أي 239 كيلو فار بإضافة 10% يصبح 263 كيلو فار وأقرب رقم له هو 275 كيلو فار. ويمكن تشكيله كالأتي : (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)

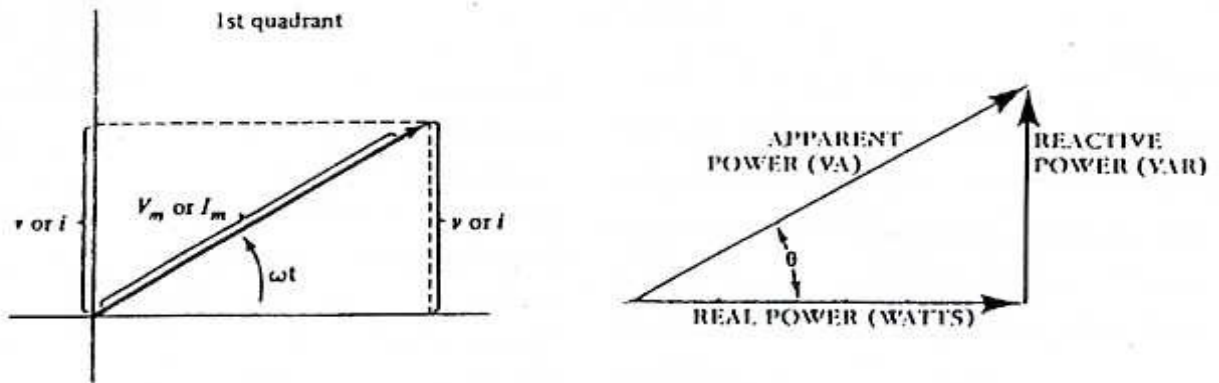
مكثفات تحسين معامل القدرة تنتج في توفير طاقة مفقودة في الشبكة نتيجة لتقليل التيارات بها ويمكن حساب مدة



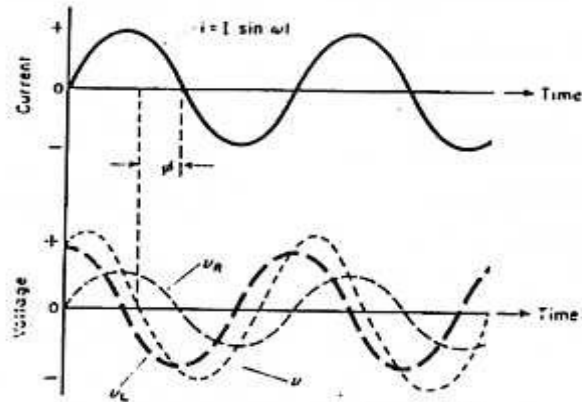
شكل (1) جهد وتيار دائرة في نفس الطور



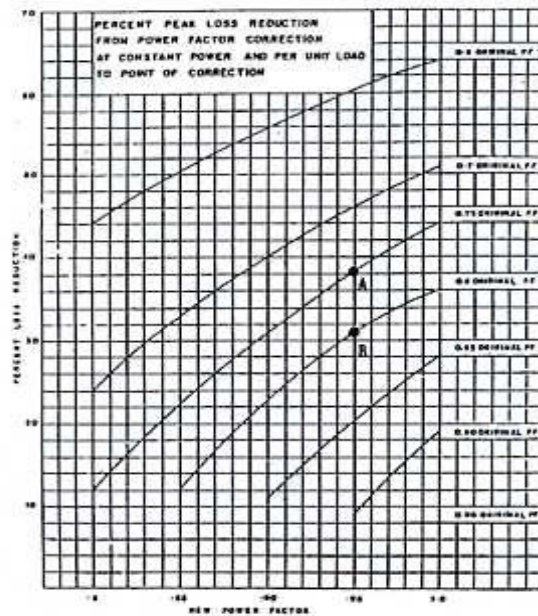
شكل (2) تيار حثي متأخر عن الجهد بزاوية طور θ



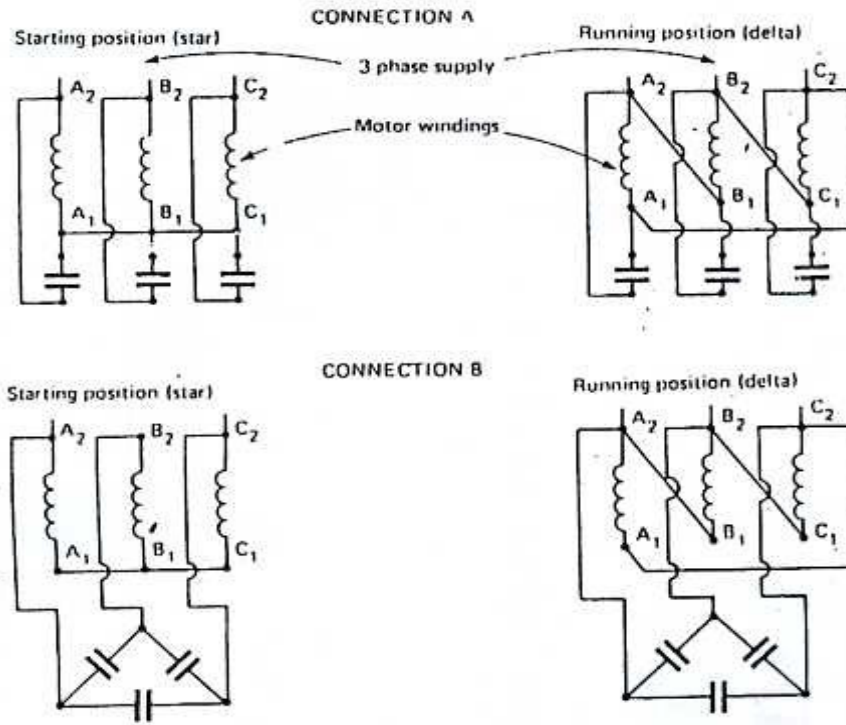
شكل (3) العلاقات المتجهه للتيار والجهد



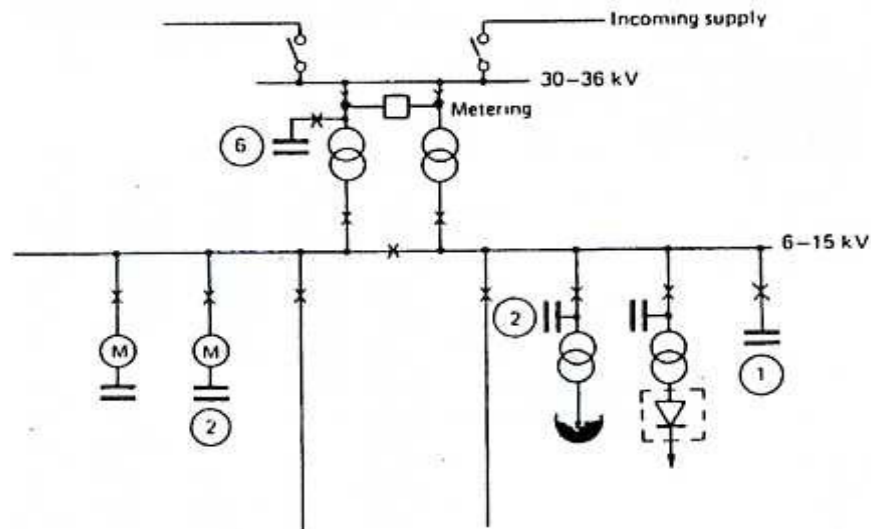
شكل (4) معامل قدرة متقدم ومعامل قدرة متأخر



شكل (5) الفوائد في الشبكة مع معامل قدره الحمل



شكل (6) التوصيل الصحيح لمكثفات تحسين معامل قدره المحرك
الحثي مع مقوم (دلتا / نجمة)



شكل (7) التعويض المركزي 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

(3) جدول

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

(4) جدول

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

(5) جدول

Calculation of capacitor size 65

Table 3.3 continued

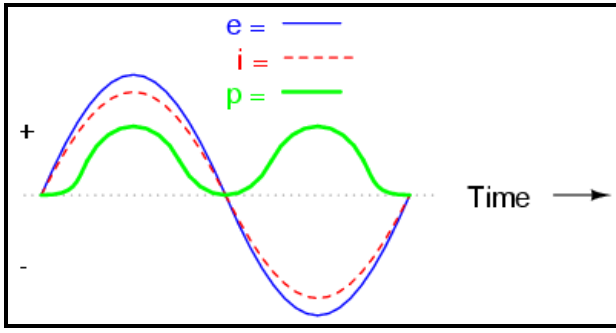
Initial power factor	Unity	Multiplying factor for improving power factor to:							
		0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.90	0.85	0.80
0.70	1.020	0.877	0.817	0.769	0.728	0.691	0.536	0.400	0.270
0.71	0.992	0.849	0.789	0.741	0.700	0.663	0.508	0.372	0.242
0.72	0.964	0.821	0.761	0.713	0.672	0.635	0.480	0.344	0.214
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	0.058	—	—
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	0.428	0.283	0.223	0.175	0.134	0.097	—	—	—
0.93	0.399	0.252	0.192	0.144	0.103	0.066	—	—	—
0.94	0.369	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) $= 100 \times 1.191 = 120$ kvar (approx)



لاحظ أن موجة القدرة موجبة دائما ولا تذهب أبدا إلى الناحية السالبة وذلك في دائرة مقاومة نقية. وهذا يعني أن القدرة تكون مبهدة 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 دائرة ذات حمل فعال reactive:



فإن معاوقة الحمل يجب حسابها تبعا لتردد المصدر لتساوى:

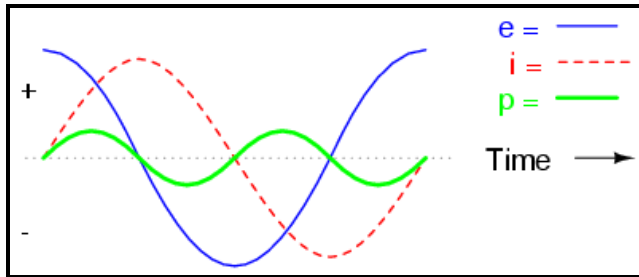
$$X_L = 2\pi fL = 2\pi \times 60 \times 160m = 60.319\Omega$$

$$\therefore Z_L = R + jX_L = 0 + j60.319$$

or

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

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



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

معامل القدرة

POWER FACTOR

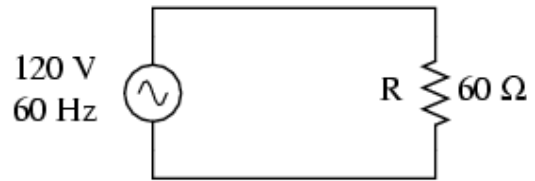
إعداد: مهندس/ محمد الحريرى

Mgh_arab@hotmail.com

www.olom.info

القدرة فى دارات التيار المتردد ذات الحمل المقاوم والفعال:

أفترض دائرة تيار متردد مفردة الطور single-phase حيث يغذى مصدر ١٢٠ فولت و ٦٠ هرتز حمل مقاوم نقى:



حيث يمكن التعبير عن معاوقة الحمل بـ Z_R

$$Z_R = 60 + j0\Omega$$

أو

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

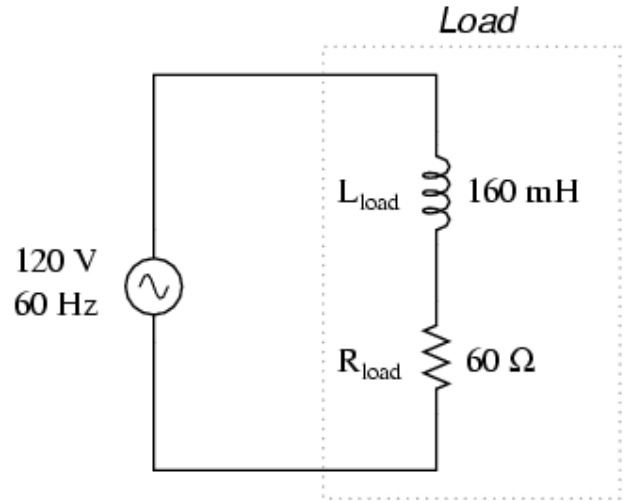
$$\therefore I = \frac{E}{Z}$$

حيث E هى جهد المصدر (الجهد على الحمل) و Z هى معاوقة الدائرة (الحمل فى حالتها).

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

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

والآن لنأخذ دائرة حملها يجمع بين النوع المقاوم والفعال:



ولكن سيزيد تأرجحها في الجانب الموجب عن الجانب السالب أى أن الدائرة 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 الدائرة) سببه وجود جزء فعال بالحمل أما سبب إهدار القدرة فهو الجزء المقاوم من الحمل (وغالبا ما يكون هذا الإهدار فى صورة حرارة).

وتمثل القدرة رياضيا فى دوائر 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 والتيار 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 اختصارا بالوحدة فار - بتعطيش الفاء - (VAR) ويرمز لها بالرمز Q. أما القدرة الفعلية المستعملة بالدائرة 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 الاعتبار. وتقاس القدرة الظاهرة بوحدات فولت-أمبير *Volt-Amps (VA)* ويرمز لها بالرمز S.

وتنتج القدرة الحقيقية من عناصر الإهدار فى الدائرة مثل المقومات (R) أما القدرة الفعالة فتنتج من العناصر الفعالة (X) أما القدرة الظاهرة فتنتج من المعاوقة الكلية للدائرة (Z).

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

1- القدرة الحقيقية *true power*

$$P = I^2 R \text{ (watts)}$$

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

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

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

or

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

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

or

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

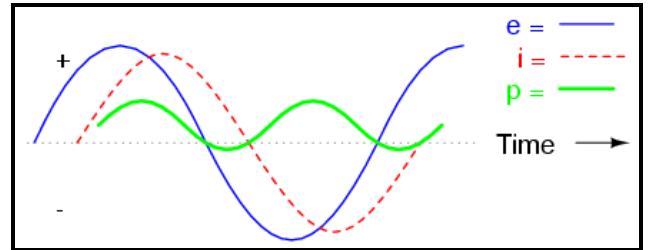
$$\therefore Z_{total} = 60 + j 60.391\Omega$$

or

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

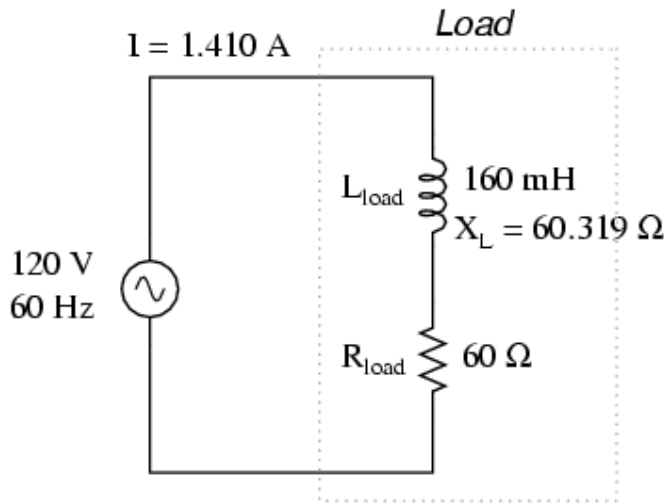
$$\therefore I = \frac{E}{Z} = \frac{120}{85.075} = 1.41A$$

ولو رسمنا التيار والجهد والقدرة ستكون كالاتى:



عندما كان الحمل فعالا نقيًا 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 (كالدائرة السابقة) ستتأرجح القدرة بين السالب والموجب أيضا

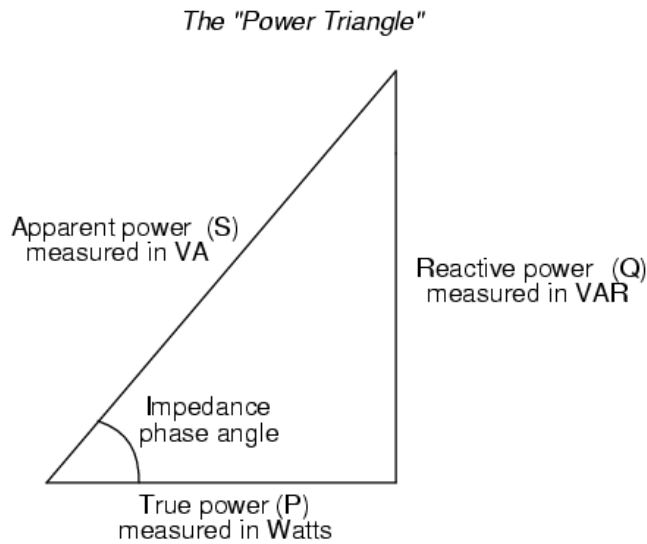


$$P = \text{true power} = I^2 R = 119.365 \text{ W}$$

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

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

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 الآخرين أو بمعرفة قيمة وزاوية.

حساب معامل القدرة:

معامل القدرة هو النسبة بين القدرة الحقيقية (المهددة) 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.

2- reactive power القدرة الفعالة

$$Q = I^2 X \text{ (VAR)}$$

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

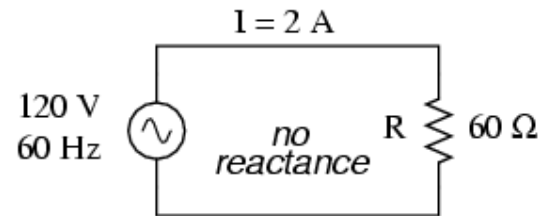
3- apparent power القدرة الظاهرة

$$S = I^2 Z \text{ (VA)}$$

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

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

١ - دارة حمل مقاوم نقى:

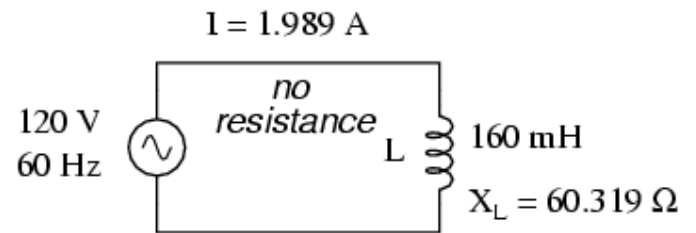


$$P = \text{true power} = I^2 R = 240 \text{ W}$$

$$Q = \text{reactive power} = I^2 X = 0 \text{ VAR}$$

$$S = \text{apparent power} = I^2 Z = 240 \text{ VA}$$

٢ - دارة حمل فعال نقى:



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

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

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

٤ - دارة حمل خليط بين الفعال والمقاوم:

ويمكن حساب معامل القدرة للدائرة السابقة:

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

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

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

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

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

* فى الدارات ذات الأحمال المقاومة resistive النقية يكون معامل 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 معامل 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 ملاحظته بتأثير المكثفات لذا فإنه يكون علينا توصيل مكثف بالتوازي مع الدارة الموجودة بالمثال السابق (كحمل إضافى). وهذا الحمل الإضافى (المكثف) وعندما يلاشى تأثير الحمل الفعال الأسمى (الملف) تصبح معاوقة الدارة الكلية هى المقاومة فقط ويصبح معامل القدرة مساو للواحد الصحيح (تقريباً).

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 التوازي مع الحمل

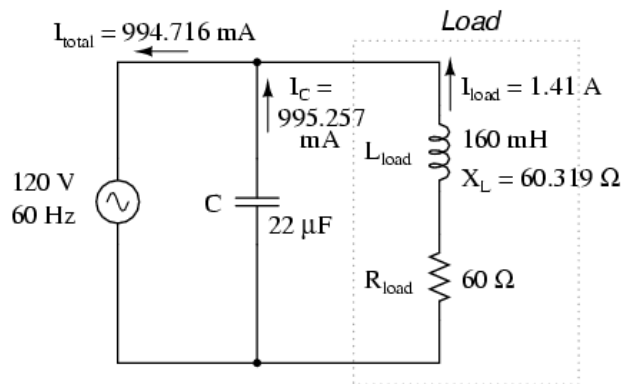
السابق فإن الجهد المسلط عليه سيكون هو جهد المصدر المعلوم لدينا ولذلك يمكننا أن نبدأ بالعلاقة بين الجهد والحمل الفعال والقدرة الفعالة:

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

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

$$C = \frac{1}{2\pi f X_c} = \frac{1}{2\pi \times (60\text{Hz}) \times (120.002\Omega)} = 22.105\text{mF}$$

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



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

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

$$Z_{total} = 120.64 - j 573.58\text{m}\Omega$$

or

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

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

$$S = \text{Apparent power} = I^2 Z = 119.366\text{VA}$$

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

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

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

وبطريقة أخرى:

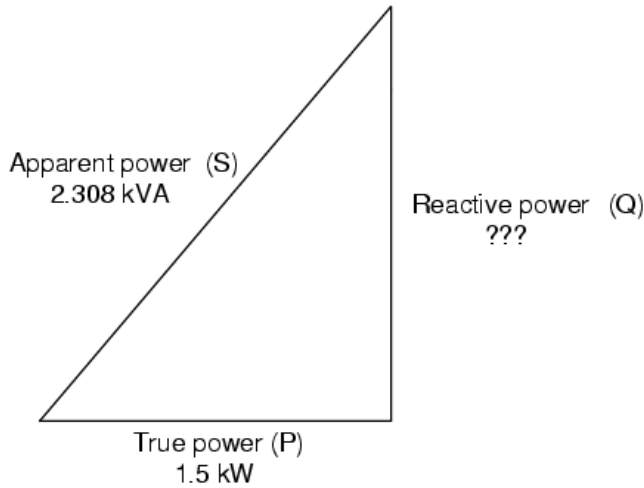
علينا أولاً حساب القدرة الظاهرة وسنعمل ذلك بضرب جهد الحمل في التيار المار به :

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

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 يعني أن لدينا معامل قدرة سيئ.

$$\text{Power factor} = 1.5/2.308 = 0.65$$

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 (حتى) مما يعنى بأن علينا تصحيحه بإضافة مكثف بحجم مناسب وموصول بالتوازي مع الحمل. ولحساب قيمة المكثف المطلوب:

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

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

$$\therefore \text{impedance angle} = 0.272^\circ$$

$$\therefore \cos(0.272^\circ) = 0.9999887$$

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.

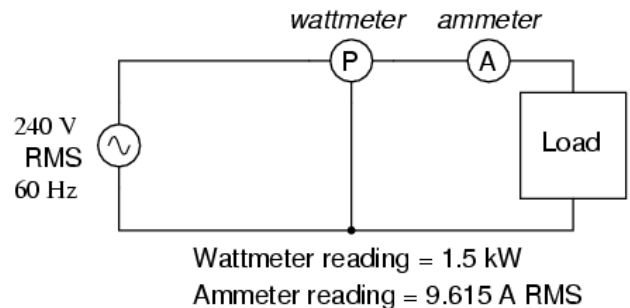
ويجب ملاحظة أن وجود حمل سعوى كبير جدا فى الدارة (مكثفات) سيقفل من معامل القدرة أيضا. ولذلك عليك الحذر من المبالغة فى تصحيح معامل القدرة بإضافة مكثفات كثيرة جدا للدارة. كما عليك أن تستخدم مكثفات مناسبة للجهود المستخدمة فى الدارة وأن تكون قادرة على تحمل المستويات المتوقعة للتيار.

* لو كان الحمل الحثى (الملفات) هو الغالب فإننا نقول أن معامل القدرة متأخر lagging (لأن تيار الدارة متأخر عن جهدها). أما لو كان الحمل السعوى (المكثفات) هو الغالب فإننا نقول أن معامل القدرة قائل 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 الذى 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 وقياس القدرة الحقيقية بجهاز واط ميتر wattmeter ، ومن ثم حساب معامل القدرة من النسبة بينهما.

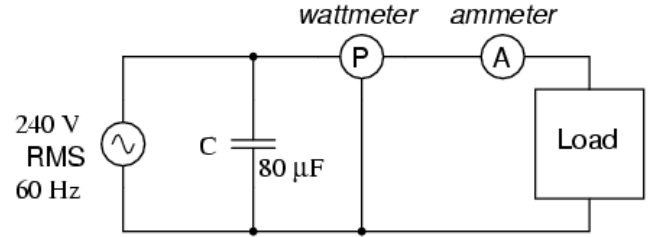
وإليك هذا المثال:



$$\therefore X_c = \frac{1}{2\pi f C}$$

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

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



وبما أن الفرق في 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 سيقال التيار من 9.615 أمبير إلى 6.25 وهذا يعنى فقدا حراريا أقل فى توصيلات الدارة مما يزيد من كفاءة الدارة ككل.

أنتهى ..

تحسين معامل القدرة

Improving Power Factor

اعداد

المهندس : نجاة عثمان

المقدمة

الطاقة الكهربائية بحد ذاتها وبغض النظر عن كيفية توليدها طاقة نظيفة وغير ملوثة للبيئة وغالبا ما تصل الى المستهلك بسهولة ولا يعرف قيمتها ولا يستفاد منها المستهلك بصورة صحيحة وتهدر جزءا منها لاهماله او لعدم معرفته في كيفية الاستفادة من هذه الطاقة بشكل صحيح وعلمي وهو محسوب عليه! وهذا الهدر للطاقة له اشكال واسباب كثيرة ومتنوعة والبحث هنا في تاثير معامل القدرة عليه وكيفية تحسينها :

هناك اخطاء تصميمية في اللوحات الرئيسية حيث لا يأخذ معامل القدرة بنظر الاعتبار وخاصة في المعامل و التي فيها ماطورات ثلاثي الاطوار وفي الابنية الكبيرة ويتسبب فقدا كبيرا في الطاقة وحمل زائدا على خطوط النقل والمحولات ومحطات التوليد وزيادة الكلفة على المستهلك والهبوط في الجهد.

وابين هنا المقصود من القدرة و معامل القدرة واثرها وكيفية تحسينها بربط المتسعات والطرق الموجودة للربط وكيفية حساب قيم المتسعات

على امل ان يكون نافعا لكل من يريد معرفة كيفية تحسين معامل القدرة

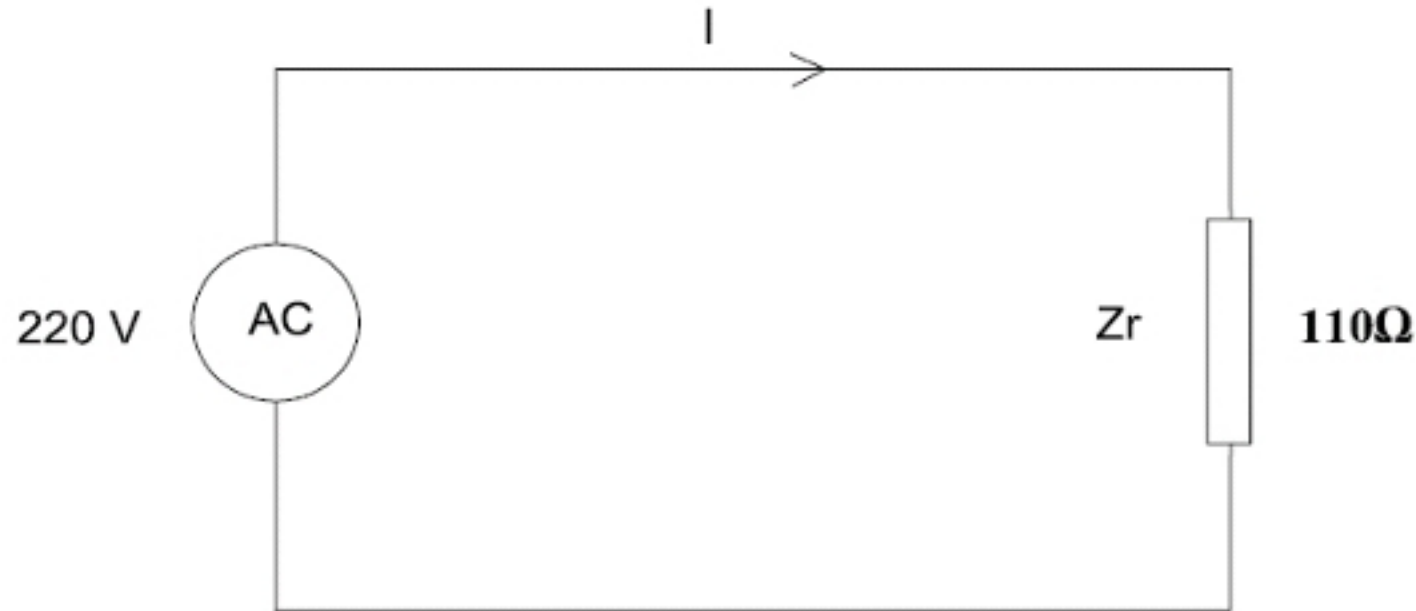
القدرة الكهربائية

القدرة في دارات التيار المتردد

اولا: في دارات Active power

الحمل المقاوم النقي بدون معاوقة حثية او سعوية

نفترض ان لدينا دائرة تيار متردد Single phase ذات مصدر 220 فولت 50 هرتز بمقاومة قدرها 110 اوم



Z_R هي معاوقة الحمل

$$Z_R = 110\Omega + j0\Omega$$

Or

$$Z = 110 \angle 0^\circ$$

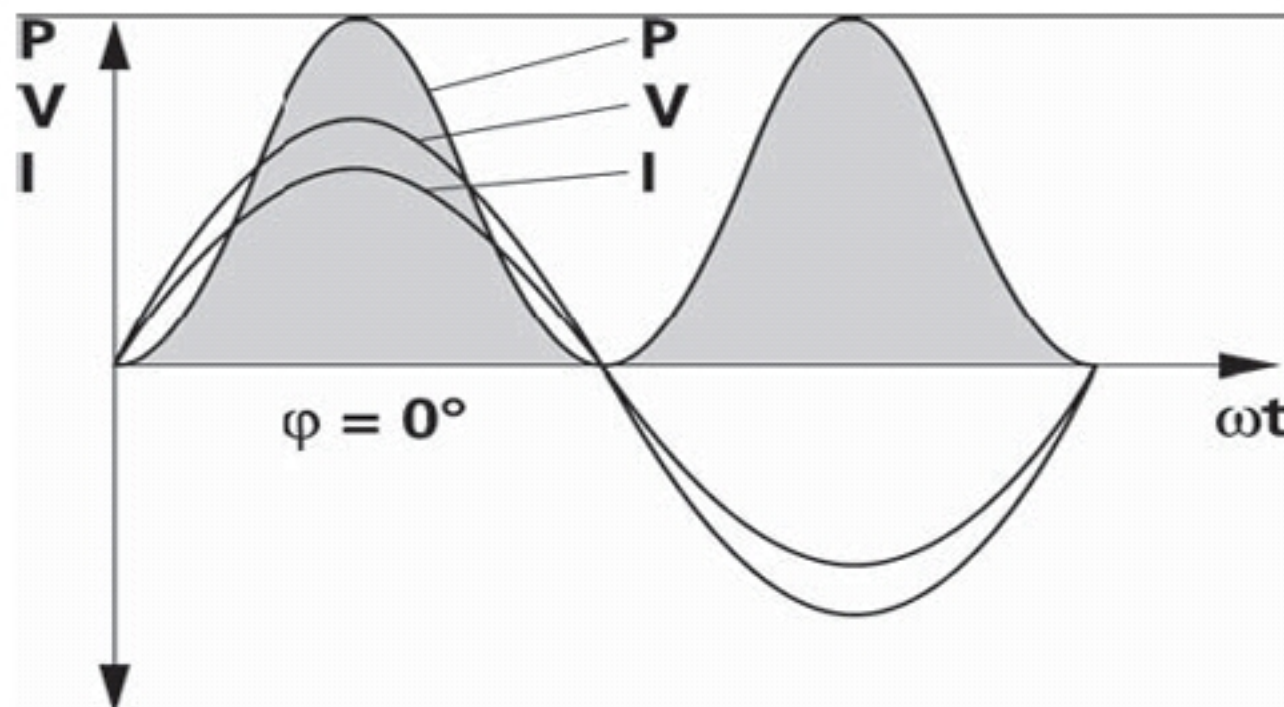
$$\therefore I = E/Z$$

$$I = 220 \text{ V} / 110 \Omega = 2 \text{ A}$$

Z هي معاوقة الدائرة

تبين ان تيار الحمل يساوي 2 أمبير والقدرة التي تصرف في الحمل هي :

$$P = I^2 R = 440 \text{ Watt}$$

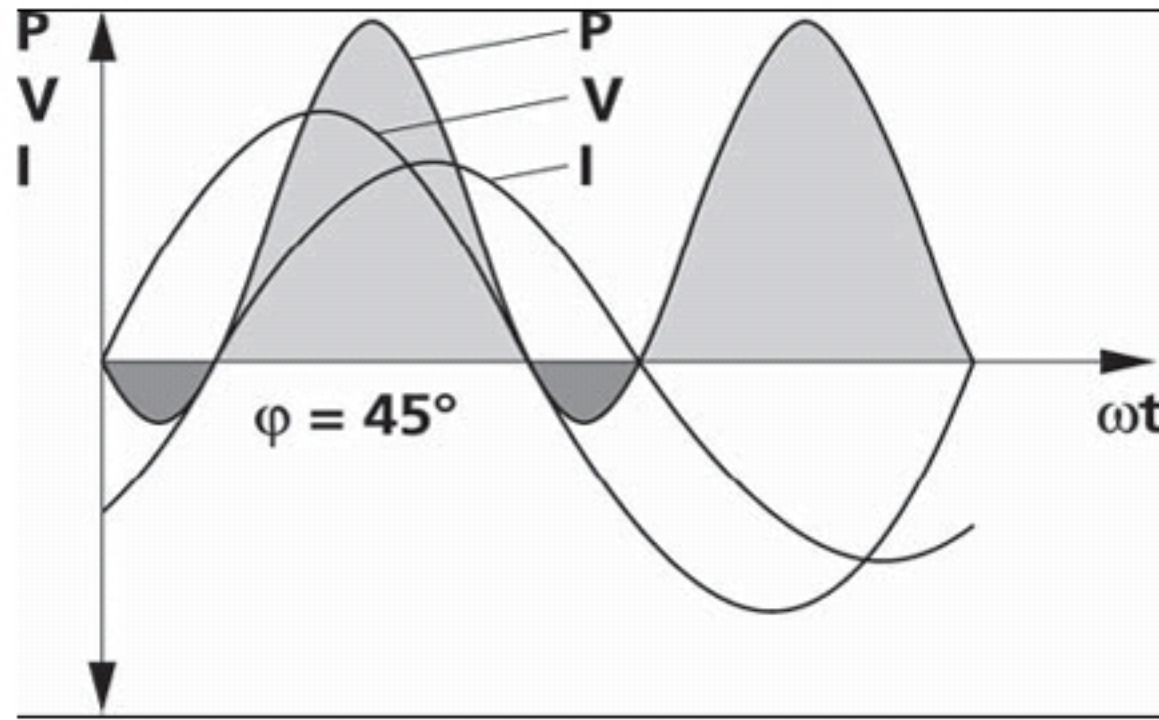


في هذه الحالة نلاحظ ان قيمة القدرة تساوي حاصل ضرب كل من التيار والجهد ولا تأخذ قيمة سالبة لان حاصل ضرب سالبين موجب ، وترددها ضعف تردد المصدر ، ولا يوجد فرق طور بين التيار والجهد وتسمى هذا النوع من القدرة بـ **Active power** وتحول كليا الى نوع اخر من الطاقة كـ (الحرارة ، الاضاءة ، الحركة الخ) ووحدة قياسها هي (KVA).

ثانيا: في دارات (Active and reactive power)

وعمليا قلما تجد دارة نقية وهي مقاومة بحتة الا وتختلط معها معوقات حثية او سعوية لان المستهلك بحاجة الى

مجالات مغناطيسية في المحركات والمحولات الخ.

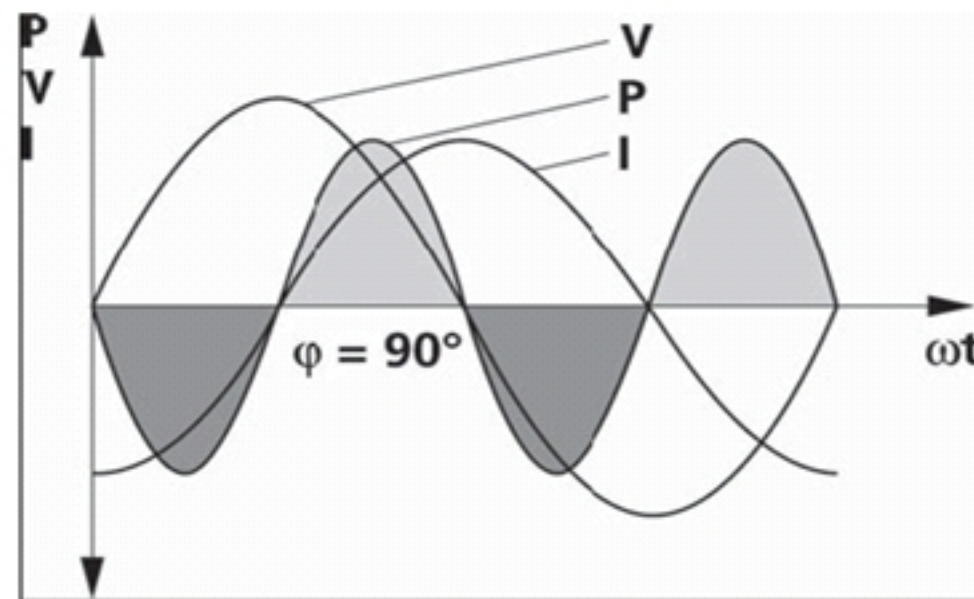


شكل موجة التيار يبين تاخيرها عن موجة الجهد بزاوية (ϕ) والقدرة ليست حاصل ضرب التيار مع الجهد فقط بل يدخل معه معامل (factor) آخر

$$P=I*V*\cos \phi$$

ثالثا: في دارات (Reactive power)

هذه القدرة الحثية الانعكاسية (الارتدادية) تحدث داخل الماطورات والمحولات الكهربائية عند عملهما في حالة اللاحمل (No-Load) ، بتجاهل مفاهيم النحاس و القلب الحديدي و الاحتكاك، وتوصف بالقدرة التي تتدفق بين المولدة (المصدر) والمستهلك وبنفس تردد جهد المصدر وذلك لنشوء المجال المغناطيسي / الكهربائي وتلاشيها.



سيكون فرق الطور بين موجة الفولتية والتيار 90° ، وفي هذه الحالة محصلة ال (reactive power) ستكون صفر لان الجزء الموجب من موجة القدرة يلغي الجزء السالب من الموجة، اي ان الاحمال السعوية والحثية (المتسعات والملفات) لا تهدر فيها اية طاقة ويرمز لها ب (Q) ووحدة قياسها هي (VAr) (Volt-Amps-reactive)

$$Q=V*I*\sin \phi$$

القدرة الحقيقية (true power)

القدرة الفعلية التي تستعمل في الدارة وتسمى بالقدرة الحقيقية ترمز لها بـ (P) ووحدة قياسها (Watt)

القدرة الظاهرة (Apparent power) :-

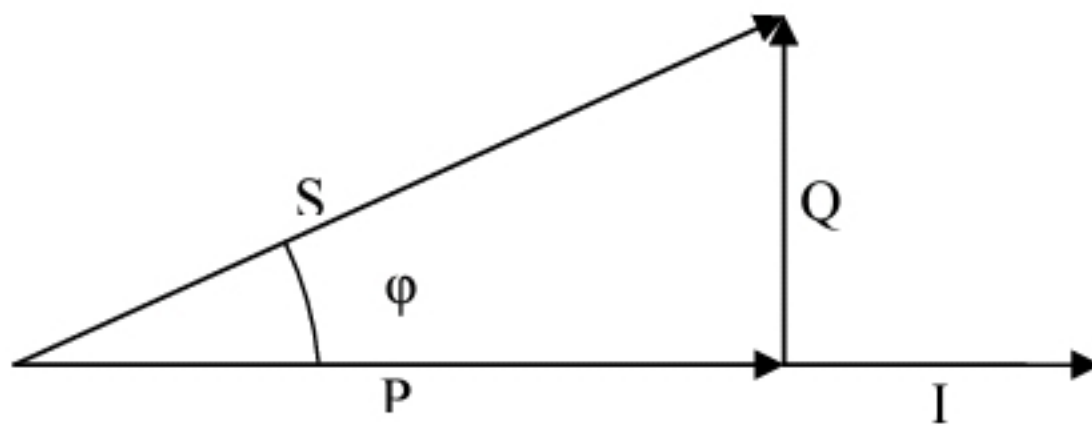
هي القدرة الحرجة في تخمينها داخل شبكات القدرة الكهربائية عند اختيار المولدات، المحولات، القواطع، الكونكتات وحساب مساحة مقاطع اسلاك النقل والتوصيل لاي نظام، ويرمز لها بـ (S) ووحدة قياسها (VA):

$$S_{VA} = V_V \cdot I_A$$

وهي حاصل ضرب الجهد والتيار وعدم اخذ فرق الطور بينهما في الاعتبار

مثث القدرة Power triangle

:(



$$S_{[VA]} = \sqrt{P_{[W]}^2 + Q_{[VAR]}^2}$$

وتحسب (S) من هذه المعادلة ايضا؛

معامل القدرة Power factor (cosφ)

هو cosine زاوية ازاحة الطور بين التيار والجهد ويعتبر انسب معامل لحساب مكونات القدرة الفعالة والغير الفعالة من التيار والجهد، وفي الهندسة الكهربائية العملية اصبح هذا المعامل رمزاً لمعامل القدرة

$$\cos \phi = P / S_{[W] / [VA]}$$

ومعامل القدرة لأي ماطور مكتوب على لوحة بياناته (nameplate) وتوجد اجهزة و meters رقمية وتناظرية لقياس معامل القدرة تثبت على اللوحات الرئيسية لقياس معامل القدرة الكلية للمنظومة شكل 1



Figure 1

تصحيح معامل القدرة (Power factor correction)

في انظمة نقل القدرة (POWER DISTRIBUTION SYSTEM) يؤخذ كل الاعتبارات ويبذل اقصى جهود لنقل وحمل القدرة الظاهرة (Apparent power) وجعلها في ادنى مستوى لها، وهذا يكون بجعل معامل القدرة (COSφ) مساوية لواحد عند المستهلك.

كما تبين ان فرق الطور الذي يحصل بين التيار والجهد سببه معوقات حثية وغالبا مايأتي من استخدام الموطورات و يربط مكثفات على التوازي مع الحمل بعد اختيارها على نحو ملائم نتمكن من تقليص زاوية فرق الطور φ، وإذا استطعنا جعل COSφ=1 فان reactive current يتداور بين المكثفات والحمل عند المستهلك، وبذلك ترتاح خطوط النقل ويقل التيار المار خلالها، ويكون تيار المار active current وتقل الكلفة.

اي نسبة من reactive current اذا تداول بين محطات توليد ونقل الطاقة و المستهلك يتحول الى الحرارة في خطوط النقل و يكون حملا اضافيا على المولدات والمحولات واسلاك التوصيل، ويحدث فقد في الطاقة والهبوط في الجهد ويكون سببا في بعض الاعطال، فترتفع كلف الصيانة.

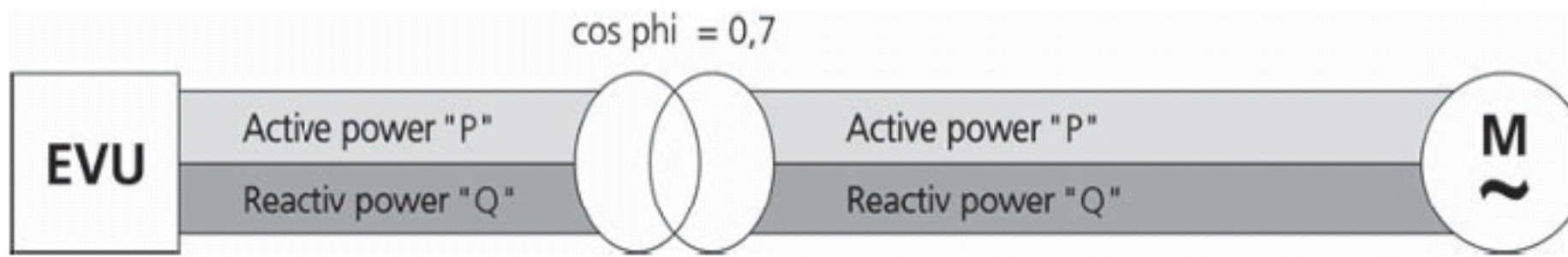
مثال على تأثير تصحيح معامل القدرة

بقدره تساوي 100kw
Power factor ($\cos\phi=0.7$)
والجهد 400V
 $P=I*V*\cos\phi$
 $I=100000/400*0.7=357.14A$
 $I=100000/400*1=250A$

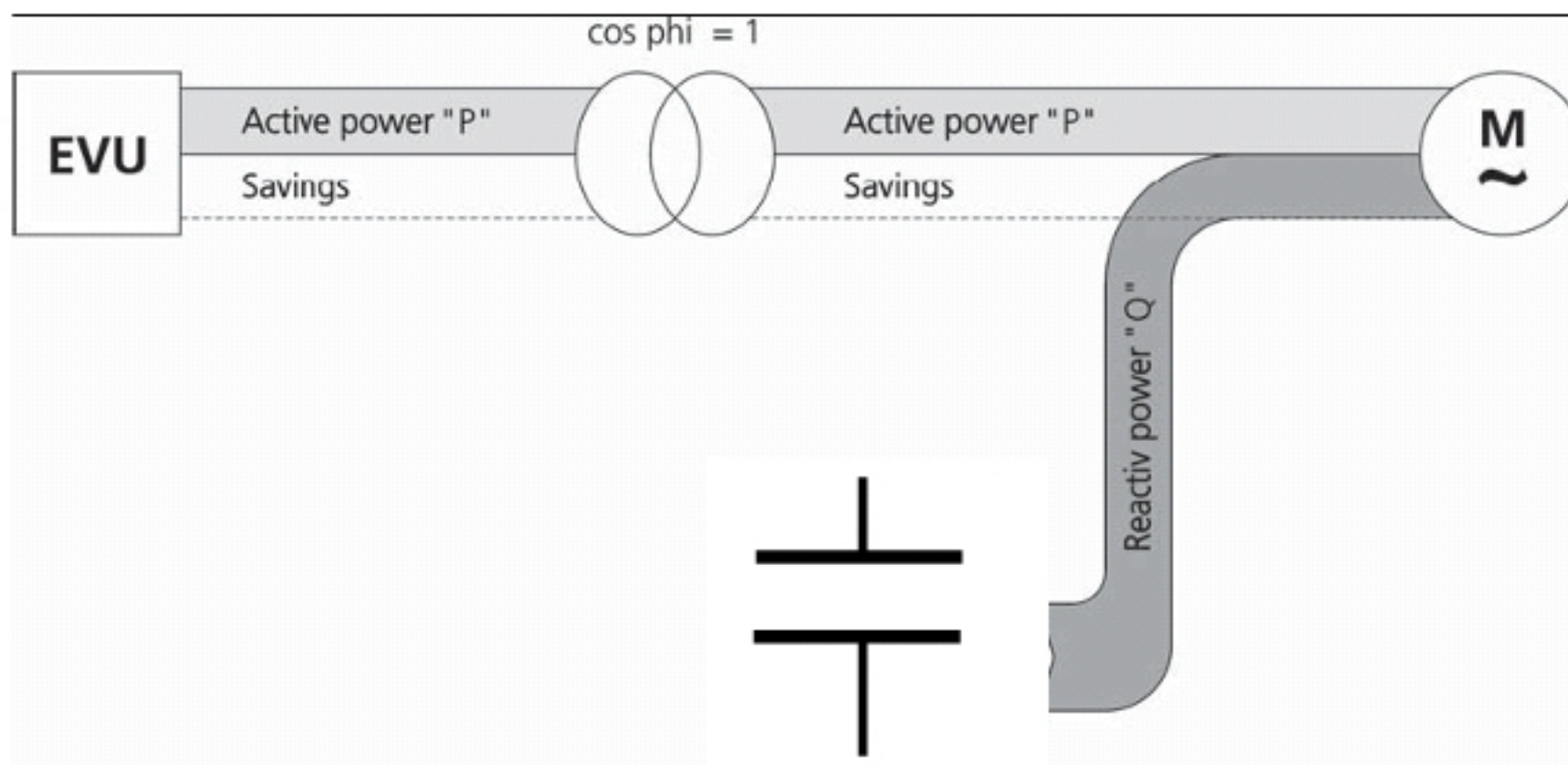
لو فرضنا ان لدينا ماطورا

فعند $\cos\phi=1$

نلاحظ ان التيار انخفض بشكل كبير (ثلث قيمة التيار) فبدوره تنخفض الكلفة وتقل حرارة الاسلاك وترتاح خطوط النقل والمولدات والمحولات والكونتكترات والقواطع ويمكن اضافة احمال اخرى.



Active and reactive power in the power distribution system: without compensation



Active and reactive power in the power distribution system: with correction

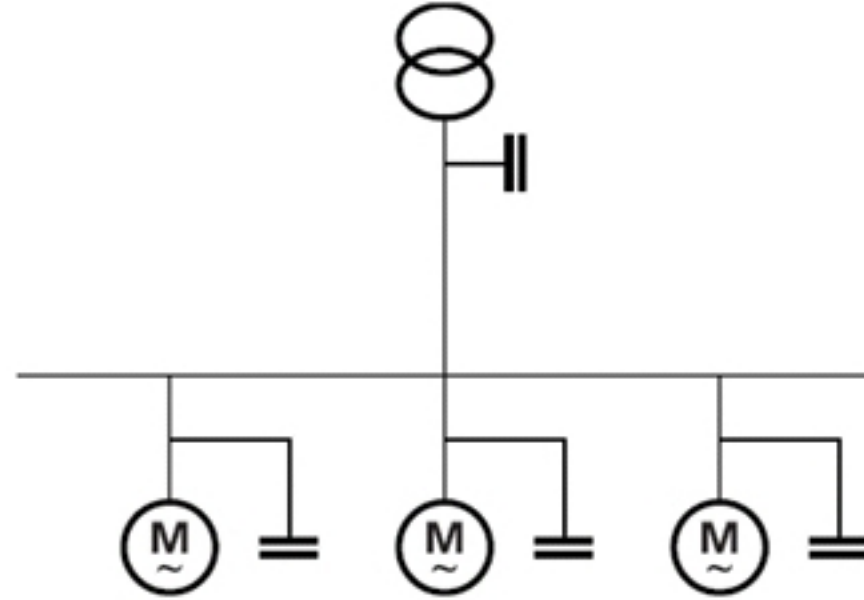
طرق ربط المتسعات لتصحيح معامل القدرة

هناك ثلاث طرق لربط المتسعات

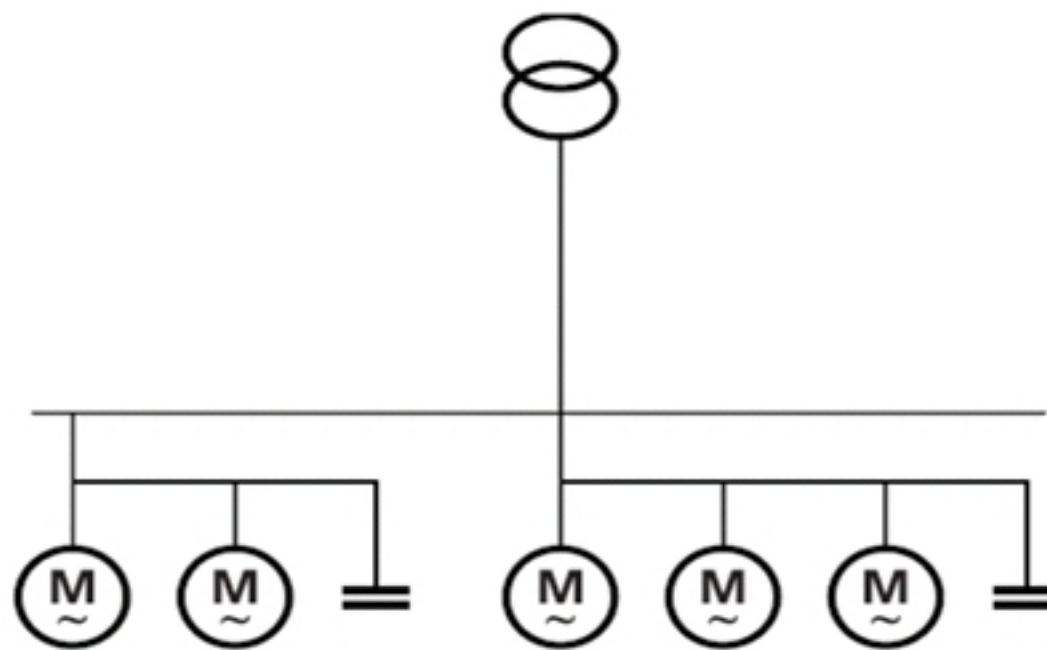
- 1- الربط المباشر (الثابت)
- 2- الربط الاوتوماتيكي
- 3- الربط المختلط

1- الربط الثابت

- في أبسط الحالات تربط المتسعات الكافية والمحسوبة سابقا مباشرة على التوازي مع كل حمل على حدة
- * يستخدم لتعويض **no load reactive power** للمحولات
- * الماطورات التي تعمل بشكل مستمر
- * الماطورات التي لها كابلات توصيل قدرة طويلة ذات مساحة المقطع غير كافية لتقبل الخطأ



من ميزات هذه الطريقة
ويمكن ربطها على شكل مجموعات كالآتي ويجب ان تعمل كل مجموعة معا

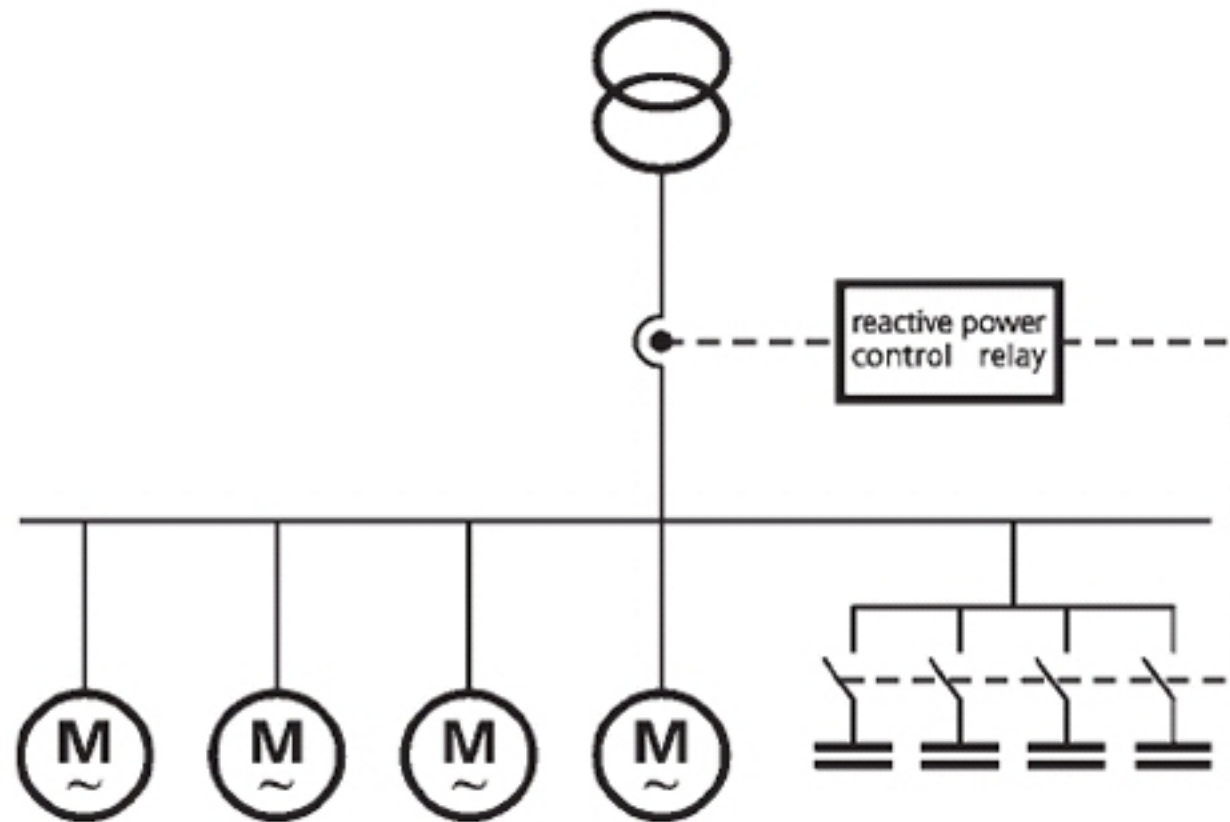


من ميزاته

- التخلص من reactive power قرب الحمل ولا يتأثر خطوط التوصيل
- قلة التكلفة

2- الربط الاوتوماتيكي

في هذه الحالة يفترض وجود جهاز automatic reactive power control relays وتربط المتسعات مركزيا عند لوحة التوزيع الرئيسية بحيث يغطي المطلب الكلي ل reactive power وبعدها مقاطع تدخل الى العمل وتفصل بواسطة كونتكترات تتحكم فيها الجهاز الاتوماتيكي.



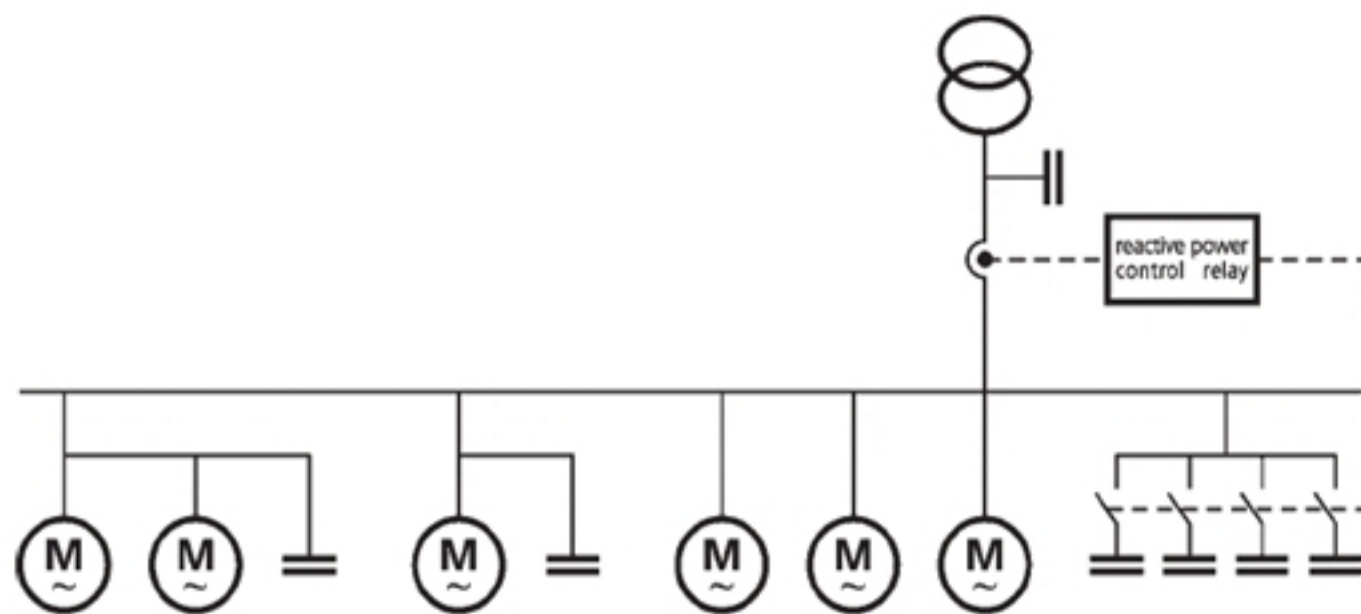
وهذه الطريقة هي اكثر استعمالا وشيوعا اليوم، ومركزيتها جعلتها سهلة المراقبة، وبوجود انواع جديدة ومتقدمة من automatic reactive power control relays بحيث يُمكن من معرفة وضعية الكونتكترات، $\cos\phi$ ، التيار الفعال والمتفاعل. عادة تكون اجمالي المتسعات المستعملة اقل من اللازم وذلك بحساب الاحمال الكلية في الاعتبار عند التصميم، وخطوط النقل من اللوحة الرئيسية الى الاحمال معرضة للحمل الزائد.



Figure2

جهاز منظم معامل القدرة الاتوماتيكي يتحكم ب (12) مجموعة من المتسعات يمكن تنظيم سرعته استجابته و تحديد قيمة $\cos\phi$ كما يمكن استعماله يدويا .

3 – الربط المركب (الاولوماتيكي مع المباشر):



الجمع بين الطرق الثلاثة يكون اكثر اقتصاديا ويجمع مزايا كل منها .

وهناك انواع واشكال كثيرة من المتسعات تعتمد على الشركة المصنعة لها

طرق حساب قيم المتسعات

الاحمال التي تحتاج الى تحسين معامل قدرتها هي المحولات والمطورات ذات قدرات عالية عادة.

و يمكن حساب قيم المتسعات من الجداول او عن طريق الحسابات ووحدة قياس هذه المتسعات هي kvar ومكتوبة

عليها كما في الشكل 3.

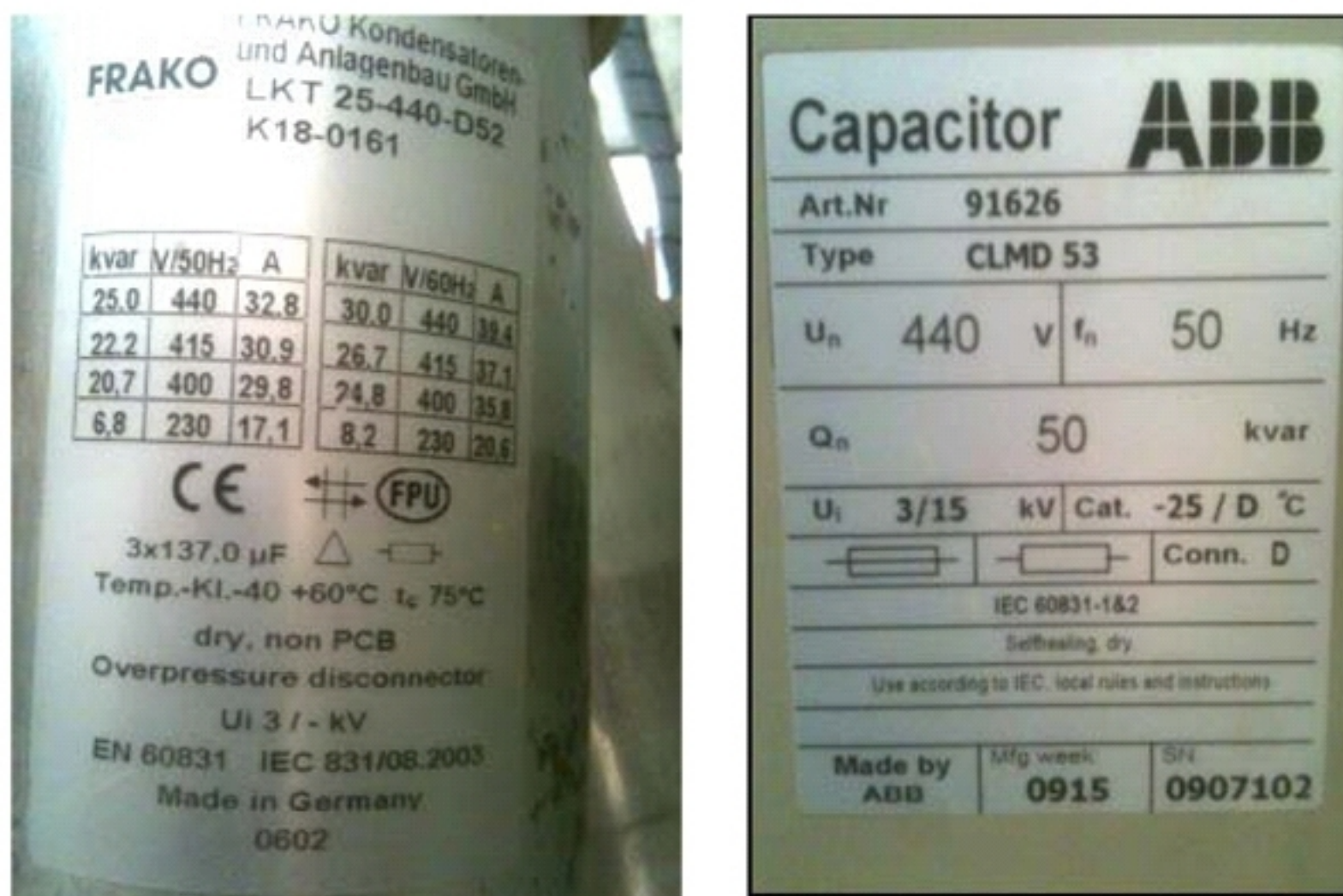


Figure3

لوحة البيانات على المتسعات تبين المواصفات وقيمتها وتختلف حسب الشركة المصنعة لها.

حساب قيم المتسعات للمحولات

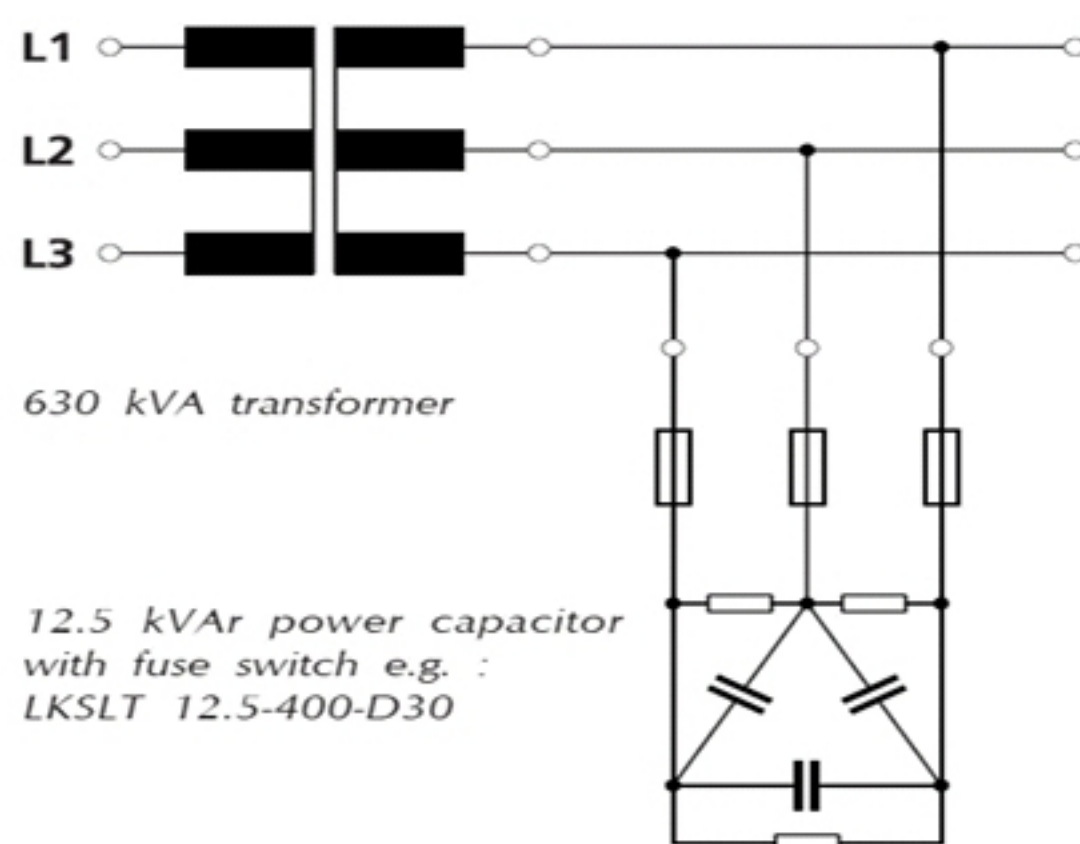
بالنسبة للمحولات تعتمد القيمة على نوعية ومنشأ المحولة، فالمنشأ يحدد القيمة الدقيقة لمحولاتها لان اية زيادة في تلك القيمة تسبب ارتفاعا في قيمة الجهد عند حالة اللاحمل!.

مثلا يمكن استخراج القيمة من الجدول التالي لمحولات شركة (German Electricity Association (VDEW)

Transformer nominal rating in kVA	Capacitor power rating in kVAr
100 - 160	2.5
200 - 250	5
315 - 400	7.5
500 - 630	12.5
800	15
1000	20
1250	25
1600	35
2000	40

Approximate capacitor ratings for individual power factor correction of transformers
(German Electricity Association (VDEW)

من الخطر جدا ربط المتسعات مباشرة الى المحولة دون استخدام قواطع الدورة وعلى المصمم توقع حدوث حالات short-circuit في خطوط ربط المتسعات، ومن المستحسن استخدام قواطع دورة اتوماتيكية



حساب قيم المتسعات للماطورات

لحساب قيم المتسعات يجب اخذ 90% من القدرة الظاهرة (apparent power) للمطور عندما يدور في حالة
اللا حمل:

$$Q_c = 0.9 \cdot \sqrt{3} \cdot V \cdot I_0$$

[VAr] [M] [A]

$I_0 = \text{no-load motor current}$

وهناك جداول لحسابها كالجدول التالي الذي وضع من قبل الجمعية الالمانية للكهرباء (VDEW) للماطورات ذات
السرعة 1500 دورة في الدقيقة:

Motor nominal rating in kW			Capacitor power rating in kVar
1	to	1.9	0.5
2	to	2.9	1
3	to	3.9	1.5
4	to	4.9	2
5	to	5.9	2.5
6	to	7.9	3
8	to	10.9	4
11	to	13.9	5
14	to	17.9	6
18	to	21.9	7.5
22	to	29.9	10
30	to	39.9	approx.40% of motor power
40	or	above	approx.35% of motor power

Approximate values specified by the VDEW for individual power factor correction of motors

تقل او تزداد تلك القيم حسب سرعة الماطور :

عند سرعة 1000 دورة في الدقيقة تزداد القيم بنسبة 5%

و عند سرعة 750 دورة في الدقيقة تزداد القيم بنسبة 15%

وهذا جدول اخر لاستخراج قيمة المتسعات للماطورات:

Individual Capacitor Rating in kVAr to improve Power Factor to 0.95 or better at all loads.

Motor Rating kW	2 Pole 3000 rpm	4 Pole 1500 rpm	6 Pole 1000 rpm
0.75	0.5 kVAr	0.5 kVAr	0.5 kVAr
1.1	0.5 kVAr	0.5 kVAr	1.0 kVAr
1.5	0.5 kVAr	1.0 kVAr	1.0 kVAr
2.2	1.0 kVAr	1.0 kVAr	1.5 kVAr
4.0	1.5 kVAr	1.5 kVAr	2.0 kVAr
5.5	2.0 kVAr	2.0 kVAr	3.0 kVAr
7.5	2.0 kVAr	2.0 kVAr	3.0 kVAr
11.0	3.0 kVAr	4.0 kVAr	5.0 kVAr
15	4.0 kVAr	5.0 kVAr	6.0 kVAr
18.5	5.0 kVAr	7.0 kVAr	8.0 kVAr
22	6.0 kVAr	8.0 kVAr	9.0 kVAr
30	8.0 kVAr	10.0 kVAr	12.0 kVAr
37	10.0 kVAr	12.0 kVAr	14.0 kVAr
45	12.0 kVAr	14.0 kVAr	16.0 kVAr
55	16.0 kVAr	22.0 kVAr	25.0 kVAr
75	18.0 kVAr	25.0 kVAr	30.0 kVAr
90	20.0 kVAr	30.0 kVAr	35.0 kVAr
110	25.0 kVAr	30.0 kVAr	40.0 kVAr
132	35.0 kVAr	40.0 kVAr	40.0 kVAr
160	40.0 kVAr	45.0 kVAr	50.0 kVAr

في ابسط الحالات تربط المتسعات مباشرة مع اقطاب الماطور ولا داعي الى الحماية من over current للمتسعات لان الحماية الموجودة للماطور تغطي الحماية للمتسعات.

لكن يجب تنظيم مقدار تيار قطع ال (over load) حيث:

$$I_{th} = \frac{\cos \phi_1}{\cos \phi_2} \cdot I_N$$

I_{th} = تيار القطع الثاني بعد وضع المتسعات
 I_N = التيار الذي مكتوب على لوحة البيانات للماطور
 $\cos \phi_1$ = القيمة المكتوبة على لوحة البيانات للماطور
 $\cos \phi_2$ = القيمة المفروضة بعد ربط المتسعات

فيما سبق عرفنا كيفية حساب قيم المتسعات للماطورات والمحولات كل حسب قدرته ومواصفاته الخاصة به ولكن اذا كان لدينا مقياس **power factor** على اللوحة وارادنا رفع قيمة $\cos \varphi_1$ الى $\cos \varphi_2$

نستخدم هذا الجدول كالاتي

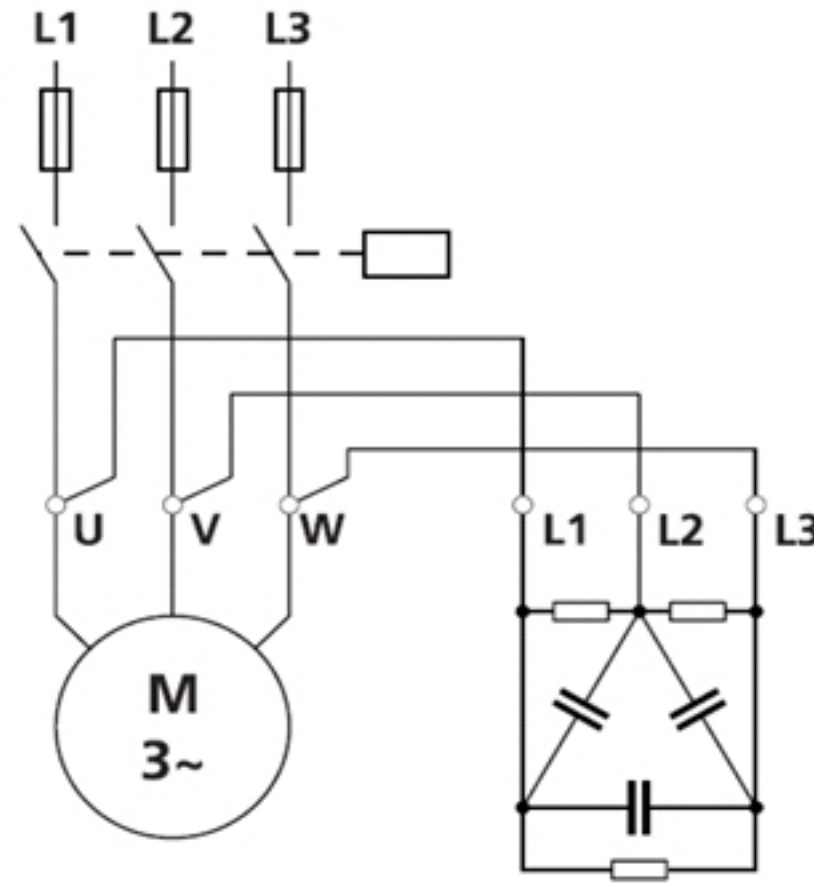
لو كان $\cos \varphi = 0.7$ وارادنا رفعه الى $\cos \varphi = 0.98$ والقدرة الكلية تساوي 1000 kw قيمة المتسعات تساوي

$$0.82 \times 1000 = 820 \text{ kVAR}$$

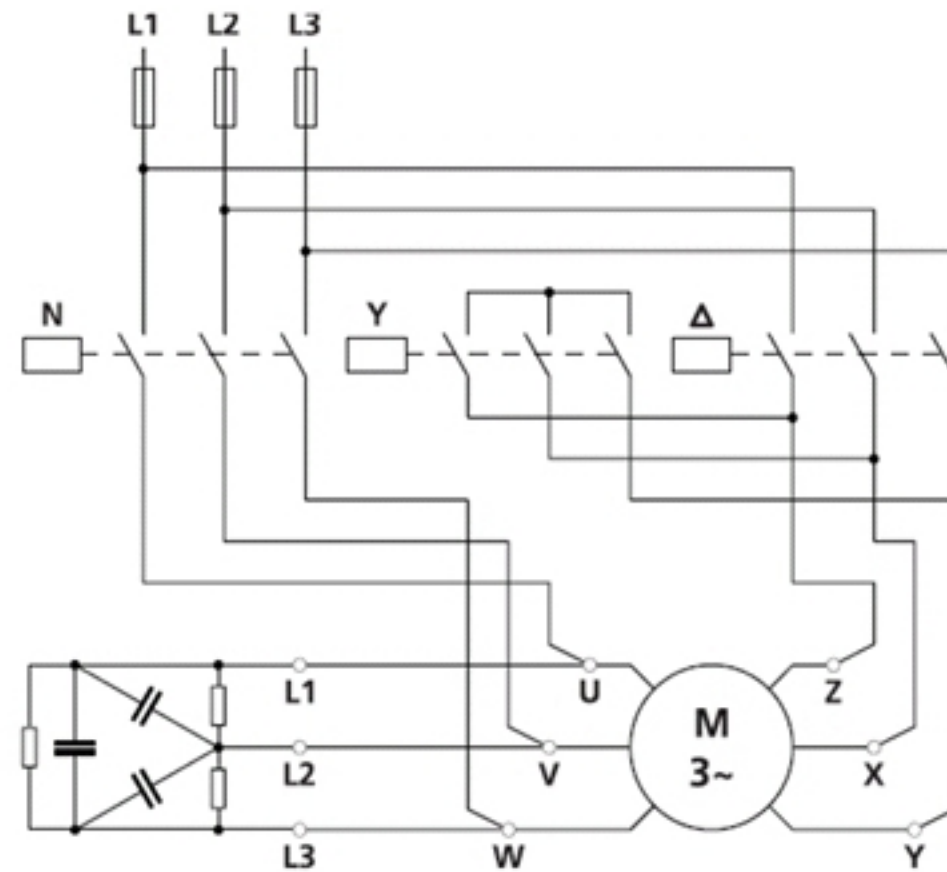
Uncorrected		Desired cos φ						
tan φ	cos φ	0,80	0,85	0,90	0,92	0,95	0,98	1,00
3.18	0.30	2.43	2.56	2.70	2.75	2.85	2.98	3.18
2.96	0.32	2.21	2.34	2.48	2.53	2.63	2.76	2.96
2.77	0.34	2.02	2.15	2.28	2.34	2.44	2.56	2.77
2.59	0.36	1.84	1.97	2.10	2.17	2.26	2.39	2.59
2.43	0.38	1.68	1.81	1.95	2.01	2.11	2.23	2.43
2.29	0.40	1.54	1.67	1.81	1.87	1.96	2.09	2.29
2.16	0.42	1.41	1.54	1.68	1.73	1.83	1.96	2.16
2.04	0.44	1.29	1.42	1.56	1.61	1.71	1.84	2.04
1.93	0.46	1.18	1.31	1.45	1.50	1.60	1.73	1.93
1.83	0.48	1.08	1.21	1.34	1.40	1.50	1.62	1.83
1.73	0.50	0.98	1.11	1.25	1.31	1.40	1.53	1.73
1.64	0.52	0.89	1.02	1.16	1.22	1.31	1.44	1.64
1.56	0.54	0.81	0.94	1.07	1.13	1.23	1.36	1.56
1.48	0.56	0.73	0.86	1.00	1.05	1.15	1.28	1.48
1.40	0.58	0.65	0.78	0.92	0.98	1.08	1.20	1.40
1.33	0.60	0.58	0.71	0.85	0.91	1.00	1.13	1.33
1.30	0.61	0.55	0.68	0.81	0.87	0.97	1.10	1.30
1.27	0.62	0.52	0.65	0.78	0.84	0.94	1.06	1.27
1.23	0.63	0.48	0.61	0.75	0.81	0.90	1.03	1.23
1.20	0.64	0.45	0.58	0.72	0.77	0.87	1.00	1.20
1.11	0.67	0.36	0.49	0.63	0.68	0.78	0.90	1.11
1.08	0.68	0.33	0.46	0.59	0.65	0.75	0.88	1.08
1.05	0.69	0.30	0.43	0.56	0.62	0.72	0.85	1.05
1.02	0.70	0.27	0.40	0.54	0.59	0.69	0.82	1.02
0.99	0.71	0.24	0.37	0.51	0.57	0.66	0.79	0.99
0.96	0.72	0.21	0.34	0.48	0.54	0.64	0.76	0.96
0.94	0.73	0.19	0.32	0.45	0.51	0.61	0.73	0.94
0.91	0.74	0.16	0.29	0.42	0.48	0.58	0.71	0.91
0.88	0.75	0.13	0.26	0.40	0.46	0.55	0.68	0.88
0.86	0.76	0.11	0.24	0.37	0.43	0.53	0.65	0.86
0.83	0.77	0.08	0.21	0.34	0.40	0.50	0.63	0.83
0.80	0.78	0.05	0.18	0.32	0.38	0.47	0.60	0.80
0.78	0.79	0.03	0.16	0.29	0.35	0.45	0.57	0.78
0.75	0.80	-	0.13	0.27	0.32	0.42	0.55	0.75
0.72	0.81	-	0.10	0.24	0.30	0.40	0.52	0.72
0.70	0.82	-	0.08	0.21	0.27	0.37	0.49	0.70
0.67	0.83	-	0.05	0.19	0.25	0.34	0.47	0.67
0.65	0.84	-	0.03	0.16	0.22	0.32	0.44	0.65
0.62	0.85	-	-	0.14	0.19	0.29	0.42	0.62
0.59	0.86	-	-	0.11	0.17	0.26	0.39	0.59
0.57	0.87	-	-	0.08	0.14	0.24	0.36	0.57
0.54	0.88	-	-	0.06	0.11	0.21	0.34	0.54
0.51	0.89	-	-	0.03	0.09	0.18	0.31	0.51
0.48	0.90	-	-	-	0.06	0.16	0.28	0.48
0.46	0.91	-	-	-	0.03	0.13	0.25	0.46
0.43	0.92	-	-	-	-	0.10	0.22	0.43
0.40	0.93	-	-	-	-	0.07	0.19	0.40
0.36	0.94	-	-	-	-	0.03	0.16	0.36
0.33	0.95	-	-	-	-	-	0.13	0.33
0.29	0.96	-	-	-	-	-	0.09	0.29

كيفية ربط المتسعات حسب ربط الماطور واستخداماته

عند الربط الاعتيادي للماطور تربط المتسعات مباشرة مع اقطاب الماطور



في حالة ربط *star delta*: تربط المتسعات مباشرة مع بداية الملفات الثلاثة للماطور



ملاحظة: المتسعات تكون مشحونة عند عمل الماطورات وفي حالة التوقف تفرغ هذه الشحنة في ملفات الماطور وقد يتسبب في تلفها ولكن غالبا ماتكون للمتسعات مفرغات داخلية عبارة عن مقاومات مربوطة على التوازي معها لجعلها آمنة عندما لا يكون الربط مباشرا مع اطراف الماطور ويفضل ربط مفرغ الشحنات خارجيا كالمفلات الخائقة او مقاومات.

في حالة استخدام الماطورات في الرافعات والمصاعد والتي تتغير اتجاهها باستمرار

كما هو معلوم ان الماطورات في هذه الحالة لا تدور في اتجاه وسرعة ثابتتين، لذلك تربط المتسعات بواسطة كونتكتات منفصلة وقبل الـ (Controller) ويجب ربط ملفات خانقة بالتوازي معها لتسريع عملية التفريغ عند توقف الماطور وقبل دوارانه عكسياً.

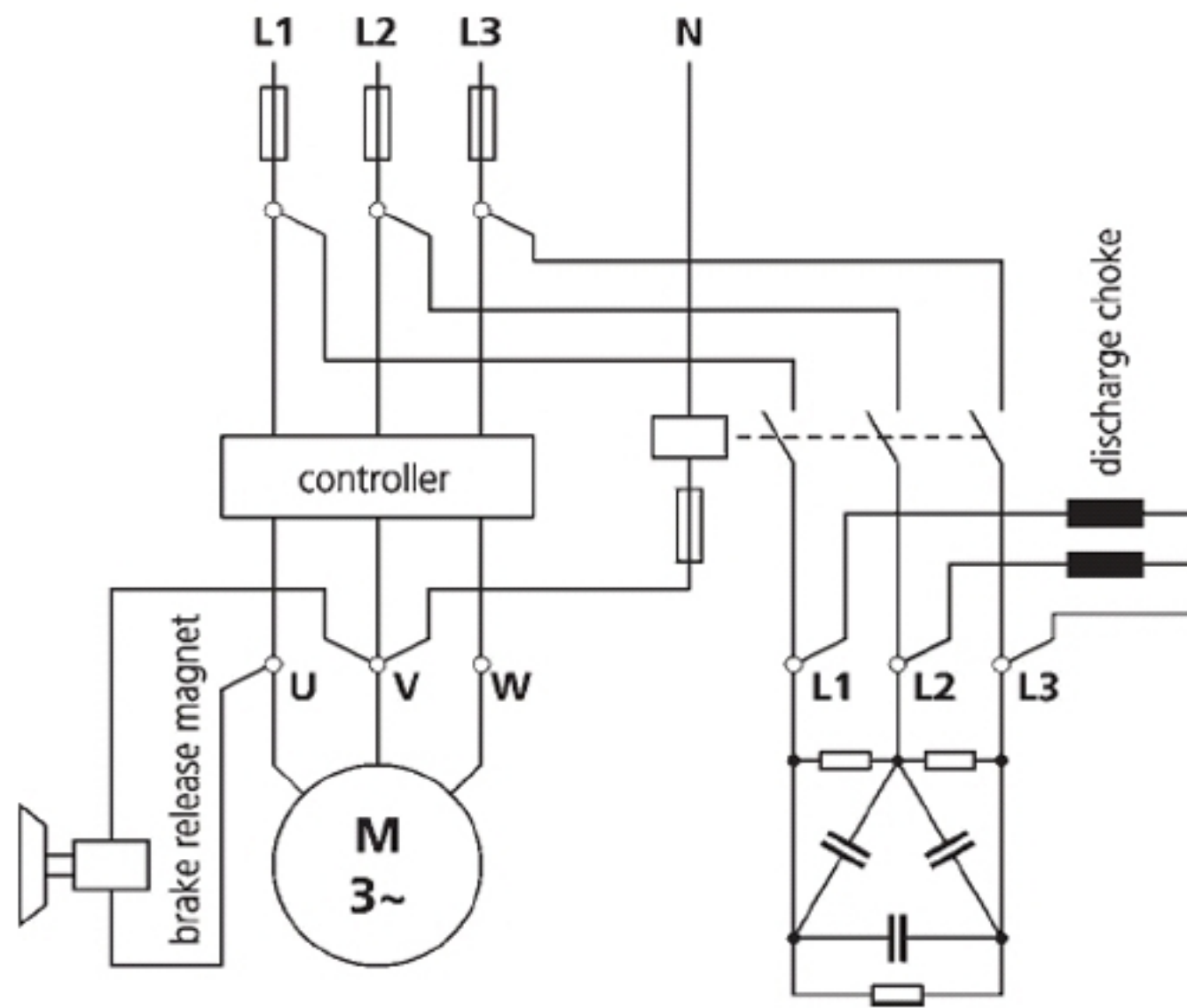




Figure4

الشكل 4 يبين كونتاكتر خاص بربط المتسعات ويمكن استخدام كونتكترات اعتيادية ولكن لاتكون بنفس الكفاءة



Figure5

الشكل 5 يبين متسعات مربوطة على شكل مجاميع داخل اللوحة الرئيسية وبطريقة الربط الاوتوماتيكي

تصحيح معامل القدرة أوتوماتيكيا

Automatic Power Factor Correction

إعداد

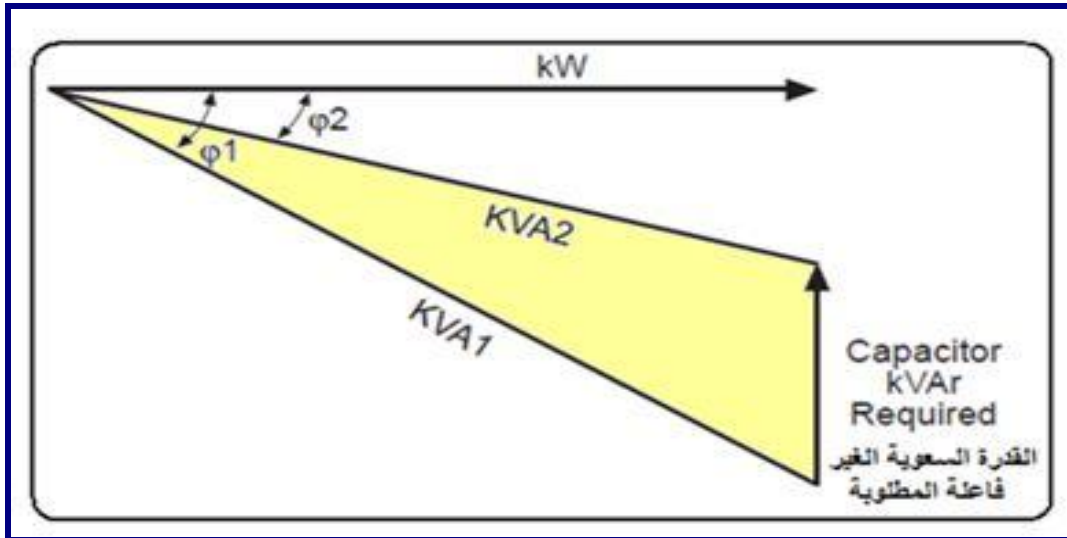
دكتور علاء بيومي عبد العظيم

زميل جمعية المهندسين الأمريكية

تحسين معامل القدرة Improving Power Factor

المكثف هو الجهاز الأكثر عمليا واقتصاديا لتحسين معامل القدرة. وكما ذكر سابقا ، جميع الأحمال الحثية تنتج طاقة قدرة حثية غير فاعلة متخلفة بزاوية طور ٩٠ درجة.

المكثفات من ناحية أخرى تنتج قدرة سعوية غير فاعلة والتي هي عكس القدرة الحثية الغير فاعلة تماما. في هذه الحالة تحدث قيمة الذروة (القمة) للتيار قبل حدوث قيمة الذروة أى تسبق **leading** بزاوية ٩٠ درجة. بالاختيار الدقيق لسعة المكثف المطلوب فمن الممكن أن نلغى (نزيل) تماما القدرة الغير فاعلة الحثية عند وضعهما في الدائرة معا .



فى الشكل السابق:

- $\cos \phi_1$ تناظر kVA قبل إضافة جهاز تحسين معامل القدرة للشبكة.
- $\cos \phi_2$ تناظر kVA بعد إضافة جهاز تحسين معامل القدرة للشبكة.

لمنع التدفق المستمر للقدرة الغير فاعلة ذهابا وإيابا بين الحمل ومحطة القدرة يتم توصيل مكثف على التوازي مع الحمل حيث يكون تأثيره كجهاز تخزين للتيار الغير فعال.

فى هذه الحالة فإن التيار الغير فعال المغذى من محطة القدرة والمستخدم فى انتاج القوة المغناطيسية عند توصيل الحمل لا يعود إلى محطة القدرة ولكن بدلا من ذلك يتدفق إلى المكثف وببساطة يتداول بين المكثف والحمل. وبالتالي ترتاح خطوط التوزيع من محطة توليد الكهرباء من التيار الغير فاعل. ولذلك يمكن أن تستخدم المكثفات لتقليل kVA وتكاليف الكهرباء.

تحسين معامل القدرة يؤدي إلى:

- ١- خفض استهلاك وتكلفة الكيلو فولت أمبير.
- ٢- تحسين كفاءة محطات توليد الكهرباء.
- ٣- يمكن إضافة أحمال جديدة للنظام.
- ٤- تقليل التحميل الزائد على الكابلات وأجهزة التوصيل switchgear و...إلخ.
- ٥- تحسين عزم بدء المحركات.
- ٦- تقليل الوقود المطلوب لتوليد القدرة نتيجة لتخفيض المفقودات. losses

حساب متطلبات (احتياجات) المكثفات:

Calculating Capacitor Requirements



من الضروري أن يتم اختيار الأحجام الصحيحة للمكثفات عند حساب متطلبات المكثفات.

في حالة التعويض المركزي من المستحسن أن تكون المرحلة الأولى للمكثفات مساوية لنصف المراحل التالية للسماح بتصحيح النظام ككل على نحو سلس smooth وخطيا linear

الجدول التالي "جدول معامل ضرب الكيلووات Kilowatt Multipliers " يساعد في حساب قيم المكثفات في التطبيقات المحددة.

Existing PF Cosφ Before applying capacitors	Target Power Factor Required Cosφ						
	0.80	0.85	0.90	0.92	0.95	0.98	1.0
0.40	1.54	1.67	1.81	1.87	1.96	2.09	2.29
0.42	1.41	1.54	1.68	1.73	1.83	1.96	2.16
0.44	1.29	1.42	1.56	1.61	1.71	1.84	2.04
0.46	1.18	1.31	1.45	1.50	1.60	1.73	1.93
0.48	1.08	1.21	1.34	1.40	1.50	1.60	1.83
0.50	0.98	1.11	1.25	1.31	1.40	1.53	1.73
0.52	0.89	1.02	1.16	1.22	1.31	1.44	1.64
0.54	0.81	0.94	1.07	1.13	1.23	1.36	1.56
0.56	0.73	0.86	1.00	1.06	1.15	1.28	1.48
0.58	0.65	0.78	0.92	0.98	1.08	1.20	1.40
0.60	0.58	0.71	0.85	0.91	1.00	1.13	1.33
0.61	0.55	0.68	0.81	0.87	0.97	1.10	1.30
0.62	0.52	0.65	0.78	0.84	0.94	1.06	1.27
0.63	0.48	0.61	0.75	0.81	0.90	1.03	1.23
0.64	0.45	0.58	0.72	0.77	0.87	1.00	1.20
0.65	0.42	0.55	0.68	0.74	0.84	0.97	1.17
0.66	0.39	0.52	0.65	0.71	0.81	0.94	1.14
0.67	0.36	0.49	0.63	0.69	0.78	0.90	1.11
0.68	0.33	0.46	0.59	0.65	0.75	0.88	1.08
0.69	0.30	0.43	0.56	0.62	0.72	0.85	1.05
0.70	0.27	0.40	0.54	0.59	0.69	0.82	1.02
0.71	0.24	0.37	0.51	0.57	0.66	0.79	0.99
0.72	0.21	0.34	0.48	0.54	0.64	0.76	0.96
0.73	0.19	0.32	0.45	0.51	0.61	0.73	0.94
0.74	0.16	0.29	0.42	0.48	0.58	0.71	0.91
0.75	0.13	0.26	0.40	0.46	0.55	0.68	0.88
0.76	0.11	0.24	0.37	0.43	0.53	0.65	0.86
0.77	0.08	0.21	0.34	0.40	0.50	0.63	0.83
0.78	0.05	0.18	0.32	0.38	0.47	0.60	0.80
0.79	0.03	0.16	0.29	0.35	0.45	0.57	0.78
0.80		0.13	0.27	0.32	0.42	0.55	0.75
0.81		0.10	0.24	0.30	0.40	0.52	0.72
0.82		0.08	0.21	0.27	0.37	0.49	0.70
0.83		0.05	0.19	0.25	0.34	0.47	0.67
0.84		0.03	0.16	0.22	0.32	0.44	0.65
0.85			0.14	0.19	0.29	0.42	0.62
0.86			0.11	0.17	0.26	0.39	0.59
0.87			0.08	0.14	0.24	0.36	0.57
0.88			0.06	0.11	0.21	0.34	0.54
0.89			0.03	0.09	0.18	0.31	0.51
0.90				0.06	0.15	0.28	0.48
0.91				0.03	0.13	0.25	0.46
0.92					0.10	0.22	0.43
0.93					0.07	0.19	0.40
0.94					0.03	0.16	0.36
0.95						0.13	0.33

المعلومات المطلوب معرفتها مسبقا هي ما يلي:

- ١- معامل القدرة قبل وضع المكثفات (العامود الأيسر) .
 - ٢- معامل القدرة المطلوب (الصف العلوى الأفقى) .
 - ٣- الاستهلاك الكلى بالكيلو وات.
- ويمكن حساب الحجم الصحيح للمكثف بضرب العامل الناتج عن تقاطع الصف الأفقى مع العامود الرأسى بالجدول فى قيمة الكيلووات.

مثال توضيحي :

نفرض مصنع حملة الكلى 666 kVA بمعامل قدرة $\cos\phi$ حوالى 0.75 متأخر (متخلف) . lagging

الخطوات:

١- حول حمل المصنع إلى الكيلووات

$$(kVA \times PF = kW)$$

$$666 \text{ kVA} \times 0.75 \text{ Pf} = 500 \text{ kW} \text{ (القدرة المفيدة)}$$

٢- لتصحيح حمل قيمته 500KW بمعامل قدرة (PF) 0.75 إلى معامل قدرة (PF) 0.98 - تتبع القيمة 0.75 الموجودة بالعامود الرأسى الأيسر أفقيا حتى القيمة الواقعة تحت القيمة 0.98 بالصف العلوى الأفقى للحصول على معامل الضرب ، قيمة المعامل هي. 0.68

٣- المكثف المطلوب للتصحيح من 0.75 إلى 0.98 هو :

$$500 \text{ kW} \times 0.68 = 340 \text{ kVAr}$$

التوفير الناتج:

$$500 \text{ kW} @ 0.75 \text{ PF} = 666 \text{ Kva}$$

$$500 \text{ kW} @ 0.98 \text{ Pf} = 510 \text{ Kva}$$

(التخفيض) التوفير 156 KVA (أى تقليل التحميل على محول التغذية بما قيمته 23.4%)

في المنشآت الصناعية الكبيرة حيث يستخدم العديد من المحركات أو عندما يكون السبب الرئيسى لمعامل القدرة هو الحصول على فواتير كهرباء مخفضة عندئذ فإن التعويض المركزى هو الأكثر عمليا واقتصاديا من التعويض لكل محرك على حده. في هذه الحالة ، يتم تثبيت بنوك banks مجموعات كبيرة أو رفوف racks من

المكثفات في لوحات التوزيع الرئيسية للمصنع وتقسم إلى مراحل steps والتي توصل وتفصل أوتوماتيكيا وفقا للمتطلبات المحددة للتحميل عن طريق نظام تحكم آلى مما يؤدي إلى تحسين معامل القدرة الكلى للشبكة.

كما يستفاد - يستخدم من الجداول لحساب متطلبات حجم المكثف بوحدة kVar لتصحيح معامل القدرة. يجب معرفة المعلومات التالية مسبقا.

أ -معامل القدرة المتوسط للمصنع. average

ب -أقصى حمل تشغيل maximum running load للمصنع بالكيلو وات KW

لتجنب المقاومات الحديدية والارتفاع الخطير فى الجهد يجب ألا يتجاوز kVar الإجمالي المطلوب 65% من kVA الخاص بمحول التغذية . عمليا وللأمان التام هذه القيمة تكون تقريبا. 50%

عامة يتكون نظام تصحيح معامل القدرة الأوتوماتيكى من :

أ - قاطع رئيسى load-break isolator أو قاطع دائرة circuit breaker





ب - ريلاي أوتوماتيكي للتحكم في القيم الغير فاعلة.



تصحيح معامل القدرة أوتوماتيكي
دكتور علاء بيومي عبد العظيم

ت - حوامل ودعامات لمكثفات معامل القدرة مزودة بمصهرات (فيوزات) مناسبة.



ث - كونتاكتورات (ملامسات) بمعدلات مناسبة لتوصيل وفصل المكثفات.



الريلاى الأوتوماتيكي للتحكم فى القيم الغير فاعلة يتابع ويرصد الشبكة ككل ويقوم بتوصيل وفصل بنوك (مجموعات) المكثفات المطلوبة في فترات محددة مسبقا للتعويض وفق متطلبات التحميل .
ونظرا لأن مكونات تحول المكثفات تتعرض لإجهادات عالية مما يؤكد أنه لا بد من اختيار الحجم والمعدل الصحيح لكل المكونات المستخدمة في النظام.