٩- تحسين معامل القدرة

عام

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

يؤثر انخفاض معامل القدرة سلبا على أداء المنظومة الكهربية ويعتمد ذلك على طبيعة الأحمال من حيث كونها أحمال خطية (Resistive loads) أو أحمال حثيه غير خطية (Inductive loads) مثل (المحولات ، المحركات الحثية، المصابيح الفلورية ، الموحدات ، الأفران الكهربائية ، أفران الحث ، ... الخ.) حيث تؤدى 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 التوازى مع الحمل المراد تحسين معامل القدرة له.

يؤدى 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 للمغنطة فلذا يعتبر المكثف هو الأداة الأساسية التي تستخدم لتحسين معامل القدرة، وينعكس ذلك انعكاسا إيجابياً على أداء المنظومة من حيث تخفيض الطاقة المفقودة في الكابلات والخطوط وزيادة سعاتها 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 المصرى لأسس تصميم واشتراطات تنفيذ التوصيلات والتركيبات الكهربائية – الأنظمة الخاصة – عن تحسين معامل القدرة.

٩-١ تعويض القدرة غير الفعالة فى شبكات التوزيع

(Reactive power compensation)

تتلخص وسائل تعويض القدرة غير الفعالة فيما يلى:

- 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 المغناطيسى للمصابيح الفلورية بكابح إلكترونى.
- يؤدى التخطيط الجيد للشبكات الداخلية للمنشآت أثناء مرحلة التصميم بتقسيم الأحمال إلى مجموعات بحيث تحتوى كل مجموعة على كل من الأحمال التأثيرية والسعوية معا، إلى خفض القدرة غير الفعالة المستهلكة بواسطة الحمل الاجمالى، 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.

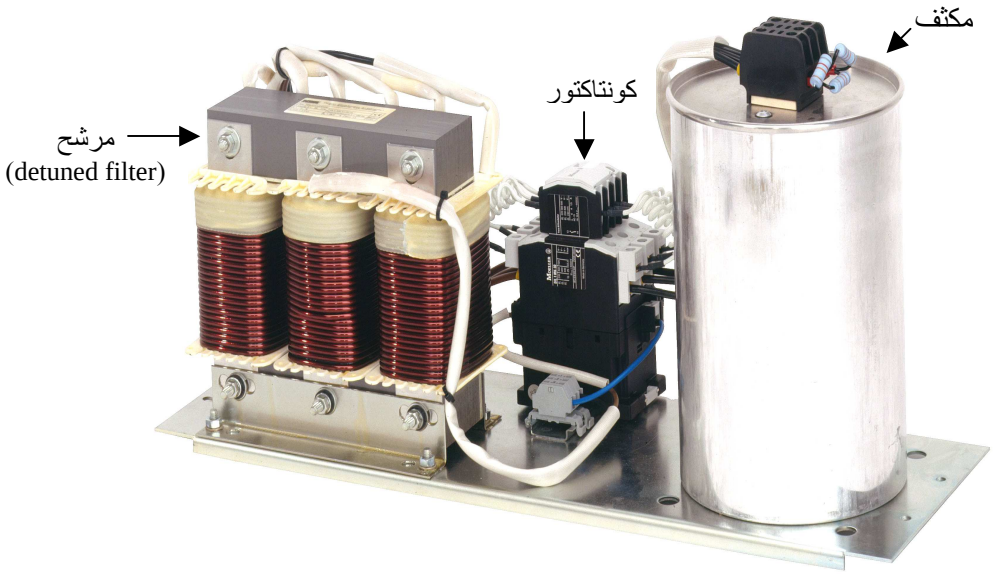
ملحوظة:

(١) يجب فى كل الأحوال دراسة تحديد العائد الاقتصادى 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) خصوصا 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.

---

* **المكثفات المتزامنة عبارة عن محركات تزامنية (Synchronous motors) تعمل بدون حمل.**



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

٩-٢ الخصائص الواجب توافرها فى المكثفات المستخدمة فى تصحيح معامل القدرة

يبـــين 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 فى المكثفات المستخدمة فى تصحيح معامل القدرة:

(١) يكون الفقد الخاص بالمكثف منخفضا (في حدود ٠,٤- ٠,٥ وات / ك.فار) مما يؤدى 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) إضـــافة مقاومة تفريغ (أومية) مستقلة (Discharge resistor) لكل وحدة مكثف مـــن مجمـــوعة وحدات المكثفات المستخدمة حيث يؤدى ذلك إلى أنه في حالة حدوث انهيار لإحدى مقاومات التفريغ أو أكثر يمكن لباقي الوحدات الاستمرار فـــي تفـــريغ الـــشحنات من خلال مقاومات التفريغ الخاصة بها ، بما في ذلك المكثفات التي انهارت مقاومات التفريغ لها .

(٣) يجـــب أن يتـــضمن تصميم كل مكثف خاصية الالتئام الذاتي (Self healing)، التـــي تـــؤدى إلـــى التئام العزل تلقائيا عند تعرض أجزاء منه للتصدع نتيجة التعـــرض لجهـــود زائـــدة مؤقتة، كارتفاعات الجهد التي تحدث أثناء مراحل التـــشغيل غيـــر العاديـــة لمنظومة القدرة، مثلما يحدث في الحالات العابرة (Transients)، والظواهـــر الأخـــرى التـــي تتعرض لها المنظومة وتحدث بها ارتفاعات مفاجئة للجهد .

(٤) يجب أن تزود كل وحدة مكثفات بأداة فصل (قاطع تيار أو فيوزات) (Breaker or fuses) بـــشكل مـــستقل، حتـــى يمكن فصل التيار عن وحدة أو مجموعة المكثفات التي يحدث بها خلل، كأن يتعرض عزلها للانهيار، مع استمرار باقي الـــوحدات فـــي العمـــل دون أن تتأثر المنظومة لحين إجراء الصيانة اللازمة للوحدة التى بها عطب إن أمكن أو تغيير اللازم ، وهذا يساهم بشكل إيجابي في زيادة الثقة والعول (Reliability) فى منظومة القدرة وزيادة فرص تعافيها في مـــواجهة الآثار السلبية الناجمة عن ظروف التشغيل غير العادية لضمان تغذية كهربائية جيدة للأحمال على وجه العموم .

(٥) يجـــب أن يحتوى كل مكثف بشكل مستقل على أداة فصل عند زيادة الضغط (Over pressure device) داخـــل الـــوعاء لضمان عدم تعرض المكثف لانهيار يتعذر تداركه عن طريق خاصية الالتئام الذاتي للمكثف .

(٦) يجـــب التأكيد على ضمان قوة العزل الكهربائي للمكثف ،واستقراره ، وزيادة عمـــره الافتراضـــي ، 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 للانهيار الشامل في حالة ضعفه وعدم قدرته على تحمل درجات الحرارة العالية الناتجة عن الشرارة قبل إطفاءها .

٩-٣ الحسابات الخاصة بتصحيح معامل القدرة

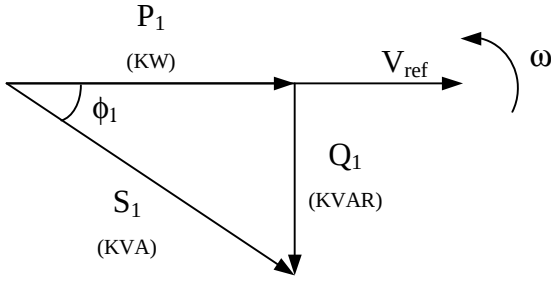
يمكن تلخيص بعض التعريفات والعلاقات الهامة المطوبة عند إجراء العمليات الحسابية الخاصة بتصحيح معامل القدرة على النحو التالي :-

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 (٩-٣)، 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 يؤدى إلى ما يمكن اعتباره تبديدا للقدرة الظاهرية (kVA) المستمدة من مصدر التغذية بواسطة الحمل ويمكن حساب قيمة معامل القدرة ($p.f_1$) من المعادلة (٩-١).

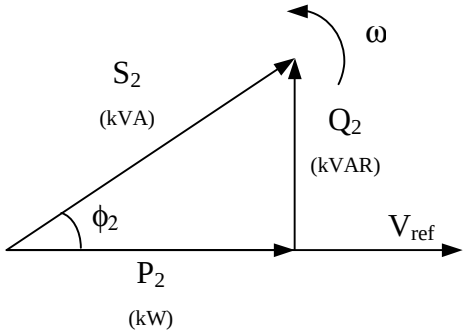
$$p.f_1 = \cos \Phi_1 = \frac{Active\,Power}{Apparent\,Power} = \frac{P_1\ (kW)}{S_1\ (kVA)} \qquad (9\text{-}1)$$



شكل رقم (٩-٣)

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

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

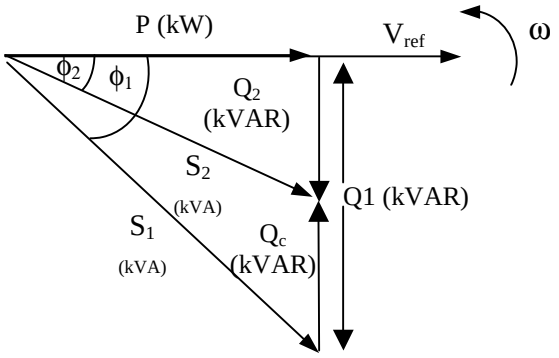


شكل رقم (٩-٤)

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):

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

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



شكل رقم (٩-٥)

حيث أن :

معامل القدرة قبل التصحيح $\left(p.f_1 \right) = \cos \Phi_1$

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

القدرة غير الفعالة عند معامل القدرة $(p.f_1)$ = القدرة الفعالة × $\tan \Phi_1$

القدرة غير الفعالة عند معامل القدرة $(p.f_2)$ = القدرة الفعالة × $\tan \Phi_2$

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

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

ويتضح من الشكل أيضاً انخفاض القدرة الظاهرية (kVA) S1 لتصبح عند القيمة (kVA) S2 ، 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 سعات المكثفات نظير كل حمل حثي على ضوء معامل القدرة الخاص بذلك الحمل والمطلوب تصحيحه، ومعامل القدرة المستهدف .

على سبيل المثال إذا كان معامل القدرة ($\cos \Phi$) الأصلى 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 .

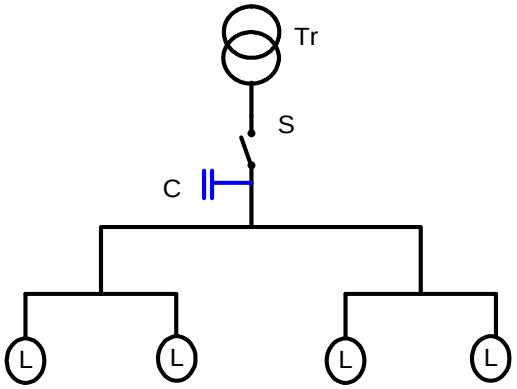
جدول رقم (٩-١): يوضح قيمة الثابت $(K = kVAR / kW)$ المستخدم فى حساب كمية القدرة غير الفعالة وكذلك معامل القدرة قبل وبعد التصحيح

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	1474		1.625	1.742	1.769	1.798	1.831	1.840	1.896	1.935	1.973	2.021	2082	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	1390	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		0879	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		O.805	0.921	0-949	0.976	1.010	1-042	.076	1.114	1.154	1.202	1263	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	.00S	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
111	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	0.7S	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	0.6O4	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	0053		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	085			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	0.66				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	0317	0.364	0.424	0.567
0.54	0.88				0.054	0.O85	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	0149	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 فى تصحيح معامل القدرة

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

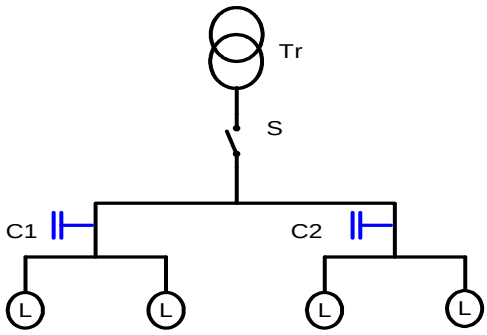
(١) عند لوحة المفاتيح الرئيسية للوحة الجهد المنخفض كما هو موضح بالشكل (٩-٦):



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

يحقق التركيب في هذا الموضع استيعابا شاملا لمحتويات أحمال المنشأة وخفض حمل المحول كما تقل السعات 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) فى التركيبات المحصورة بين هذا الموقع للمكثفات ومواقع الأحمال.

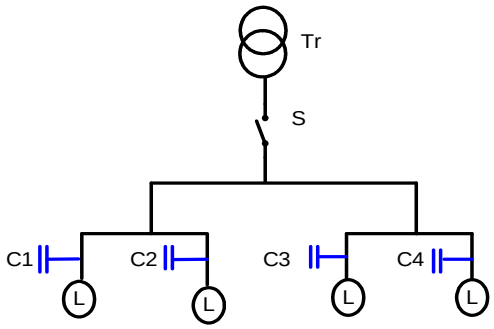
(٢) تركيب مجموعات المكثفات في حدود مناطق توزيع مجموعات الأحمال، كما هو موضح بالشكل (٩-٧):



شكل رقم (٩-٧): تركيب المكثفات بجوار نقاط التوزيع إلى الأحمال

ويحقق التركيب في 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 في هذه المواقع إلى إتاحة تحميل أعلى للمحول (توفير سعات المحول التى كانت مستخدمة قبل التصحيح) إلا أن الفقد الناتج عن التركيبات التي تلي مواقع المكثفات في هذه الحالة وحتى مواقع الأحمال تظل موجودة نتيجة لمرور مركبة التيار غير الفعال في هذه التركيبات ، ويلاحظ أن الفقد في هذه الحالة يقل نسبيا عنه في الحالة السابقة .

(٣) تركيب مجموعات المكثفات عند نقاط توصيل الأحمال مباشرة كما هو موضح بالشكل (٩-٨):



شكل رقم (٩-٨)

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 في الخطوط وكذلك يقل هبوط الجهد إلى الحد الأدنى، كما ينخفض التيار في شبكة التوزيع مما يؤدى إلى خفض تكاليف توزيع القدرة.

وتتميز هذه الطريقة بانعدام مرور التيار غير الفعال (I_r) في كابلات التركيبات وبذلك يقل الفقد فى الخطوط (I^2R) بشكل ملحوظ .

ملحوظة:

يجب فى 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 أخذا في الاعتبار طبيعة الأحمال المراد تصحيح معامل القدرة لها وظروف تشغيلها بما يحقق أكبر فائدة لكل من مرفق الكهرباء والمنتفعين بها معا لما في ذلك من مدلول اقتصادي إيجابي على مستوى الناتج القومي بصفة عامة .

٩-٥ المعلومات والقياسات الواجب توافرها لإجراء تصحيح معامل القدرة

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)، وتيار 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**

يـــتم احتساب معامل القدرة الحالي للمنشأة أو الحمل موضوع الدراسة على مدار فتـــرة القـــياس وتحـــت ظروف تحميل مختلفة، ويراعى في تحديد سعة المكثفات اعتبار أساس الحساب على أقل معامل قدرة خلال فترة القياس .

* **منحنى الحمل**

يجـــب استنتاج منحنيات الحمل (Load Curves) لكل من القدرة الفعـــــــالة (kW) والقـــدرة غير الفعالة (kVAR) للشبكة أو للأحمال المطلوب تصحيح معامل القـــدرة لهـــا مـــن خـــلال القياسات التي أمكن الحصول عليها خلال فترة القياس لاستنتاج مدى تباين الحمل تحت ظروف التحميل المختلفة.

* **معاملات تباين الحمل(Load diversity factors) :**

يـــتم 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 :**

بعـــد قيـــاس معامل القدرة للحمل قبل التصحيح يتم تحديد معامل القدرة المطلوب المـــستهدف (Target P.f.) وباســـتخدام الجدول رقم (٩-١) يمكن الحصول على المعامل K الذي يجب ضربه في قيمة القدرة الفعالة لتحديد قيمة القدرة غير الفعالة (kVAR) المطلـــوب إنتاجها بواسطة المكثف أو مجموعة المكثفات، ومن ثم سعة كل مكثف والتي يمكن حسابها من المعادلة (٩-٥):

$$Q\,(kVAR) = P(kW) \times [\ \tan \Phi_1 - \tan \Phi_2 \qquad (9\text{-}5)$$

$$Q\,(kVAR) = K\ \ P(kW)$$

حيث أن :

$$K = [\ \tan \Phi_1 - \tan \Phi_2\ ]$$

ويوصـــى بـــان يتراوح معامل القدرة المستهدف ما بين ٠,٩ إلى ٠,٩٥ لضمان الحصول على أكبر عائد ممكن نتيجة لتصحيح معامل القدرة .

٩-٦ مواصفات المكثفات المستخدمة لتصحيح معامل القدرة

بعـــد الانتهاء من تحديد الأسلوب الأمثل لتعويض القدرة غير الفعالة كمرحلة ابتدائية مـــن مراحل تحسين معامل القدرة في شبكات التوزيع، تبدأ مرحلة توصيف المكثفات وملحقاتهـــا لتـــصبح مطابقـــة للمنـــصوص علـــيه 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 لوحدات 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 ْ

٩-٧ المهمات الملحقة 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): الملامسات والمصاهر المستخدمة
مع مجموعة مكثفات تحسين معامل القدرة

(ب) المصاهر المستخدمة فى 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 جدا و ذلك قبل حدوث أى انصهار لمصهر آخر بنفس المجموعة و بالتالي ارتفاع متتالي فى الجهد.

(ت) استخدام منظم المراحل للتحكم في المكثفات آليا :

(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 تقريبا خلال فترات التشغيل والورديات .
* من عيوب النوع الثابت أنه يعمل على رفع جهد الشبكة الكهربية إلى قيم أعلى من الجهد المقنن في خلال فترات اللاحمل و الأحمال الخفيفة ، كذلك

تقــل الاســتفادة من تخفيض الفقد لأن اختيار قدرة المكثفات من هذا النوع يعتمد على قيمة ثابتة للقدرة غير الفعالة خلال ساعات اليوم الكامل .

* يفــضل اســتخدام المكثفات من النوع القابل للفصل والتوصيل حيث يمكن التحكم في إضافة قيمة القدرة غير الفعالة اللازمة للشبكات الكهربية فى هذه الحالة ، وبذلك يتحسن الجهد ويقل الفقد .
* إذا كانــت الأحمــال تتغيــر بصفة مستمرة خلال فترات التشغيل، فإنه يتم تركيب مكثفات من النوع القابل للفصل والتوصيل. وفي حالة الأحمال التي تجمــع بــين الحالتين السابقتين (أحمال ثابتة + أحمال متغيرة) فإنه يمكن تــركيب مكــثفات تحــتوي 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 بسيطا بقدر الإمكان وأن يكون موثوقا به.
* أن يتحمل ظروف البيئة الصناعية.
* له المقدرة على توصيل أو فصل مرحلة أو أكثر من المكثفات.
* أن يكون سهل الضبط.
* فــي حالــة الأجهــزة ذات المراحل المتعددة يجب أن يجهز لأي احتمال بإضافة مراحل تالية.

(ث) الكابلات المستخدمة في توصيل المكثفات :

يــتم اختيار مساحة مقطع الكابل طبقا للمواصفات الكهروتقنية الدولية (IEC – 46) علــى أساس أن يكون التيار المار يساوى ١٣٥٪ من التيار المقنن للمكثف.

ويبين جدول (٩-٢) مقننات المصاهر ومقاطع موصلات الكابلات المستخدمة.

جدول رقم (٩-٢) : مقننات المصاهر ومقاطع الموصلات المستخدمة مع مكثفات تحسين معامل القدرة طبقاً لمقنن 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

- تــشترط هيئات إمداد الكهرباءعلى عملائها ألا يقل معامل القدرة للأحمال الكبيرة الصناعية والتجارية عن قيمة محددة وعلى أن يكون معامل القدرة ٠,٩ على الأقل. عــندما يكون معامل القدرة أقل من ٠,٩ (مثلا ما بين ٠,٧ و ٠,٩) فإن تعريفة تغذية الطاقة تزاد بمقدار٠,٥٪ لكل ٠,٠١ إنخفاض فى معامل القدرة عن أقل قيمة مسموح بها٠ ويمكن حساب تكلفة غرامة معامل القدرة من المعادلة (٩-٦):

$$Annual\ cost\ of\ penalty = 0.005 \times (\frac{0.9 - P.f}{0.01}) \times (\text{Annual consumption}) \times \text{tariff(L.E/kWhr)} \qquad (9\text{-}6)$$

وفـــى حالة زيادة معامل القدرة عن ٠,٩٢ (ما بين ٠,٩٢ و ٠,٩٥) فسوف تنخفض التعـــريفة بمقـــدار ٠,٥٪ لكل ٠,٠١ زيادة فى معامل القدرة أكثر من ٠,٩٢ ويمكن حساب تكلفة حافز (Bonus) زيادة معامل القدرة من المعادلة (٩-٧) كالآتى:

$$Annual\ cost\ of\ bonous = 0.005\ x\ (\frac{P.f\ -0.92}{0.01})\ x\ Annual\ consumption(kwhr)\ x\ tariff \qquad (9\text{-}7)$$

٩-٩ تصحيح معامل القدرة فى المبانى التجارية

(أ) توصيل مكثف على التوازى مع الحمل

- لتحسين معامل القدرة يتم توصيل مكثف على التوازى مع الحمل (محركات كهربائية أو مصابيح تفريغ كهربى).
- يمكـــن 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:

$$\%\ Reduction\ of\ losses = \left[1 - \frac{(\cos\phi_1)^2}{(\cos\phi_2)^2}\right] x\ 100 \qquad (9\text{-}8)$$

بفرض أن : $\cos\phi_1 = 0.6$

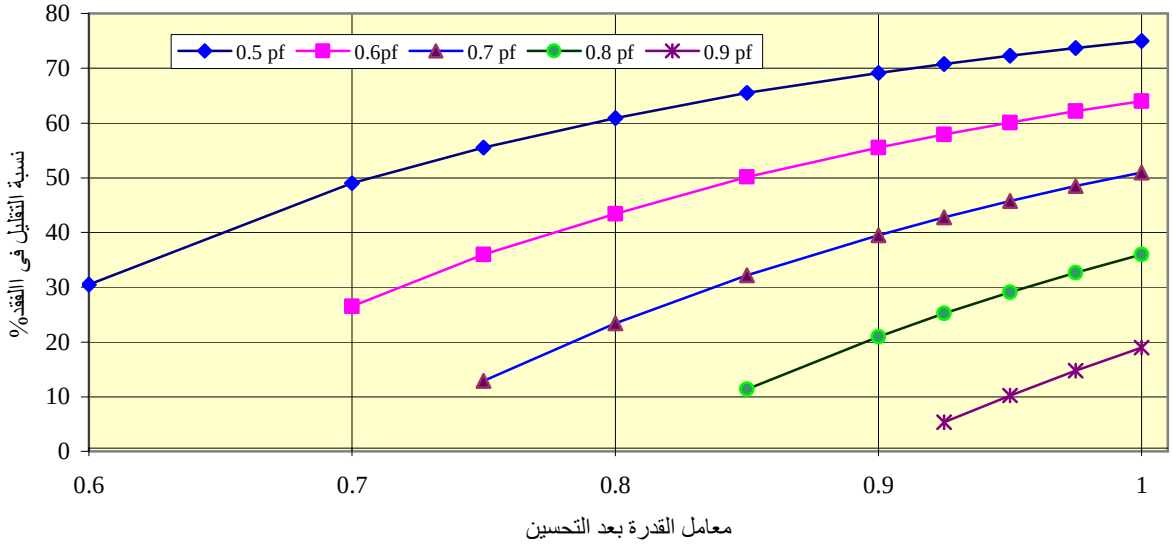
فإن النسبة المئوية لتقليل الفقد فى القدرة عند تحسين معامل القدرة إلى القيم الواردة فى جدول (٩-٣) وتكون كما يلى :

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

ويوضـــح شكل (٩-١٠) نسبة تقليل الفقد فى 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 التوازى مع الحمل (المصابيح الفلورية)

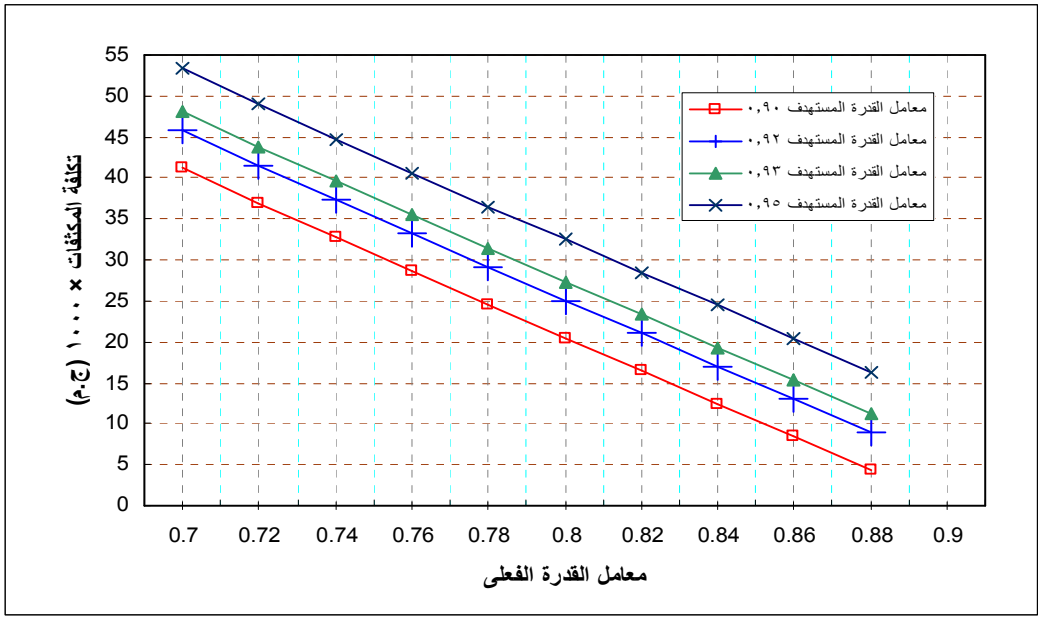
- يكـــون معامـــل القـــدرة للمصابيح الفلورية عادة منخفضا، ولذلك يمكن استخدام مكثف على التوازى لتحسين معامل القدرة.
- عـــندما يـــستخدم مكثف ٥ ميكروفاراد مع مصباح فلورى بطول ٦٠سم قـــدرة ٢٠ وات، فإن معامل القدرة يتحسن من ٠,٣٦ إلى ٠,٩٤ وتتغير قـــيمة التـــيـــار مـــن ٠,٣٧٩ أمبير إلى ٠,١٥ أمبير٠ أما إذا استخدم مكـــثف سعة ٥ميكروفاراد مع مصباح فلورى بطول ١٢٠سم 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

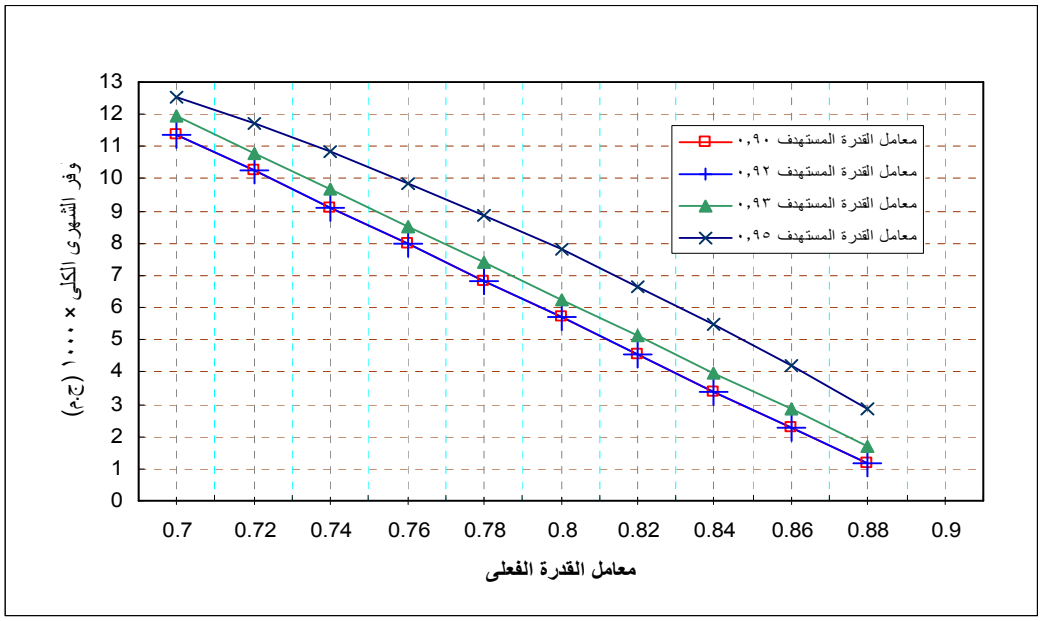
- لتحـــسين معامـــل القـــدرة الكلى فإنه يمكن استخدام بنك مكثفات (ثابت أو متغيـــر) مع اللوحة الرئيسية بدلا من وضع مكثف منفرد على التوازى مع كل حمل.
- يمكـــن تحديد قيمة القدرة غير الفعالة للمكثفات المطلوبة $(kVAR)_c$ لتحسين معامل القدرة من $P.f_1$ إلى $P.f_2$ من المعادلة (٩-٩) كالآتي :

$$(kVAR)_c = kVA \times P.f_1 \times \tan\left(\cos^{-1} P.f_1\right) - kVA \times P.F_2 \times \tan\left(\cos^{-1} P.f_2\right) \qquad (9\text{-}9)$$

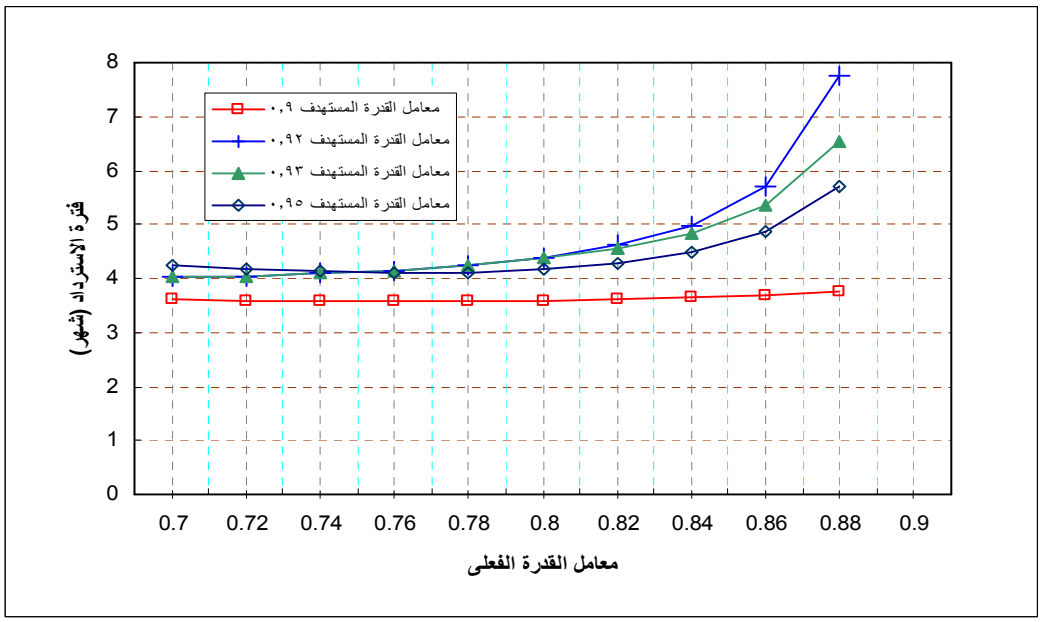
- يمكـــن حـــساب فترة الاسترداد التى يتساوى عندها تكلفة بنك المكثفات مع الـــتكلفة الكلـــية لغرامة وحافز معامل القدرة المنخفض المقررة من هيئات الكهرباء.
- توضح الأشكال (٩-١١) ، (٩-١٢) تكلفة بنك المكثفات والتوفير الشهرى الكلى لتحسيـــن معامل القدرة لحمل ٧٠٠ كيلو وات. بينما يوضح شكل (٩-١٣) فترة الاسترداد.



شكل رقم (٩-١١): تكلفة بنك المكثفات لتحسين معامل القدرة لحمل ٧٠٠ كيلو وات بأسعار عام ٢٠٠٥



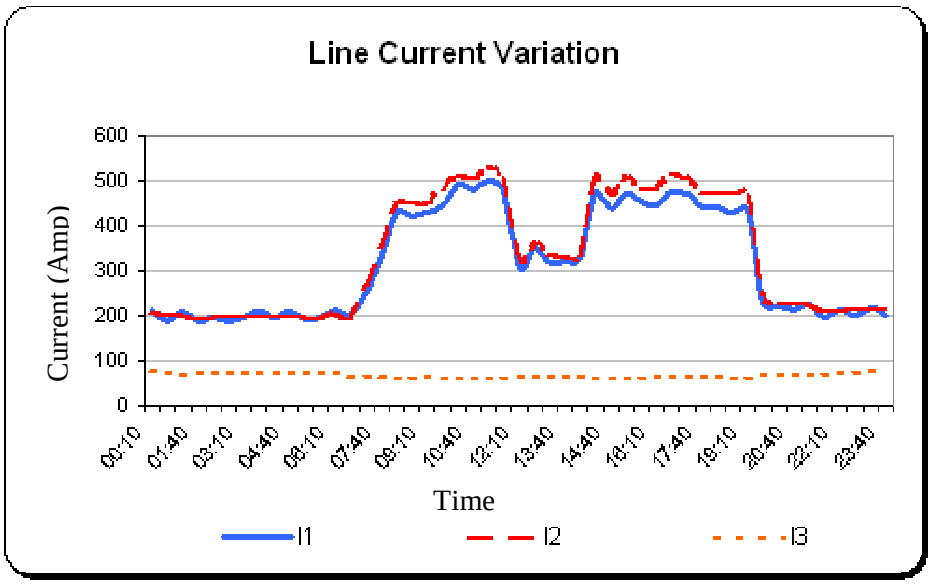
شكل رقم (٩-١٢): الوفر الشهرى الكلى نتيجة تحسين معامل القدرة لحمل ٧٠٠ كيلو وات بأسعار ٢٠٠٥



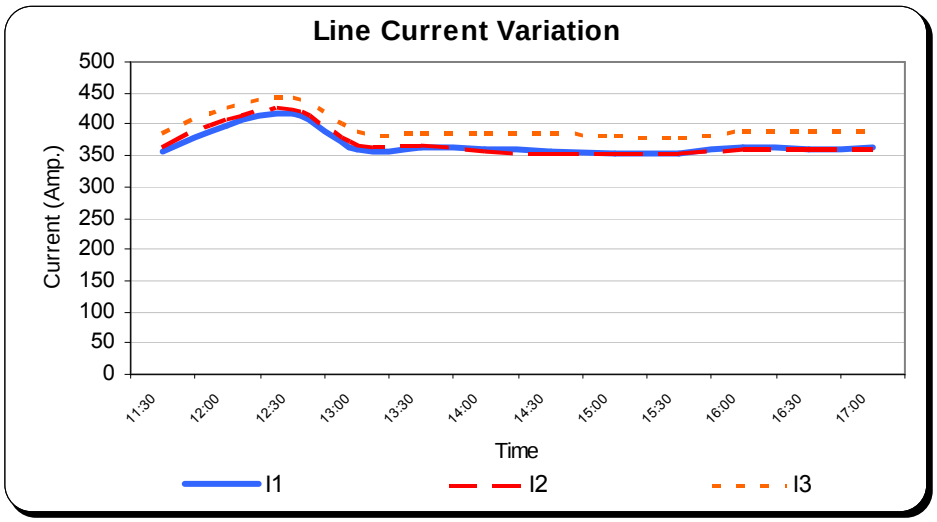
شكل رقم (٩-١٣): فترة الإسترداد لبنك المكثفات لتحسين معامل القدرة لحمل ٧٠٠ كيلو وات

تبـــين الأشـــكال من (٩-١٤) إلى (٩-١٧) قياسات المتغيرات الكهربائية (التيار – الجهد – القدرة – معامل القدرة) لمبنى مجمع وزارة الكهرباء والطاقة – محول (

١) قــبل وبعــد تركيب المكثف كأحد الأمثلة العملية لاستخدام المكثفات لتحسين معامل القدرة.



(أ)

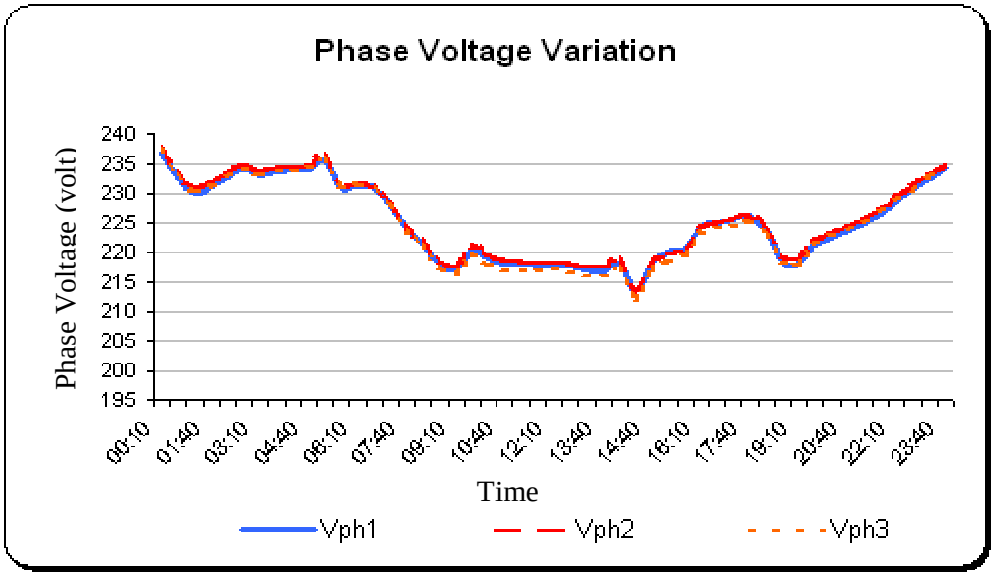


(ب)

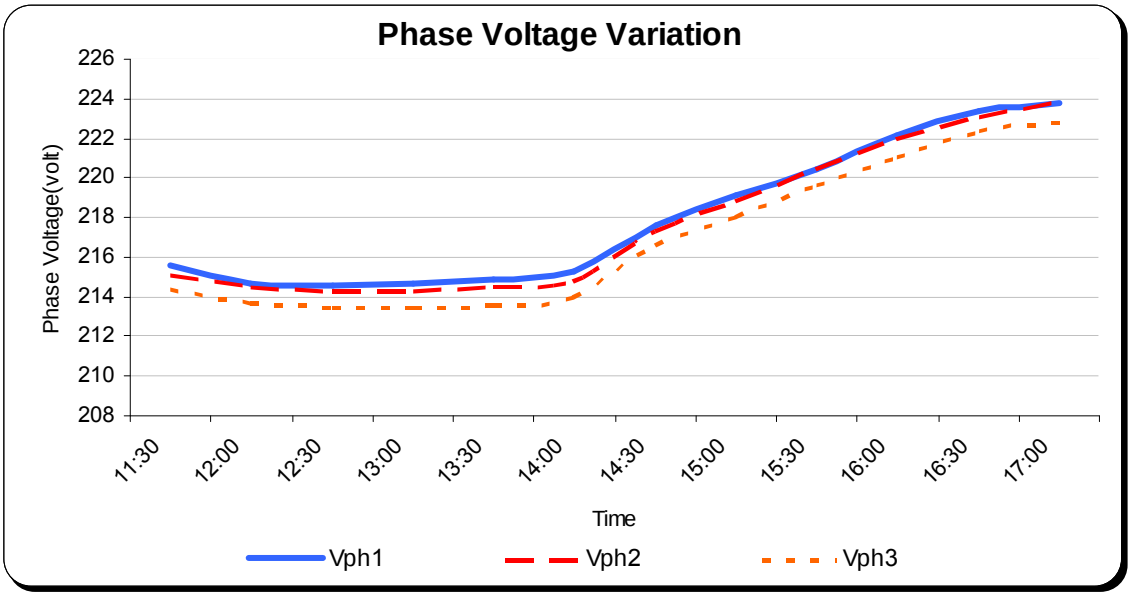
شكل رقم (٩-١٤): نتائج قياسات المتغيرات الكهربائية لمبنى مجمع وزارة الكهرباء والطاقة – محول ١ بقدرة ٢٠٠٠ ك.ف.أ.

(أ) قبل تركيب المكثف

(ب) بعد تركيب المكثف



(أ)

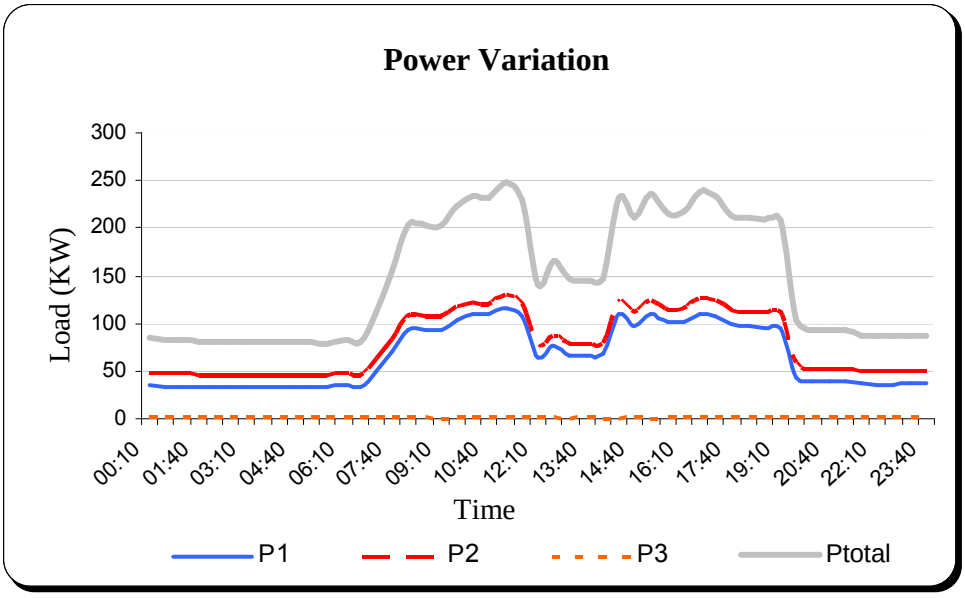


(ب)

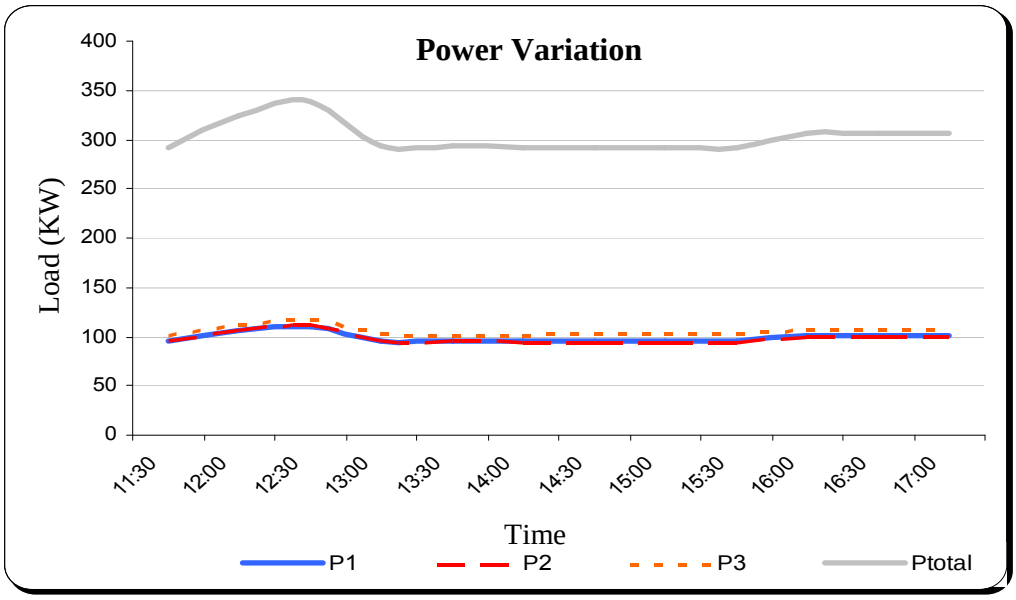
شكل رقم (٩-١٥): نتائج قياسات المتغيرات الكهربائية لمبنى مجمع وزارة الكهرباء والطاقة – محول ١ بقدرة ٢٠٠٠ ك.ف.أ.

(أ) قبل تركيب المكثف

(ب) بعد تركيب المكثف



(أ)

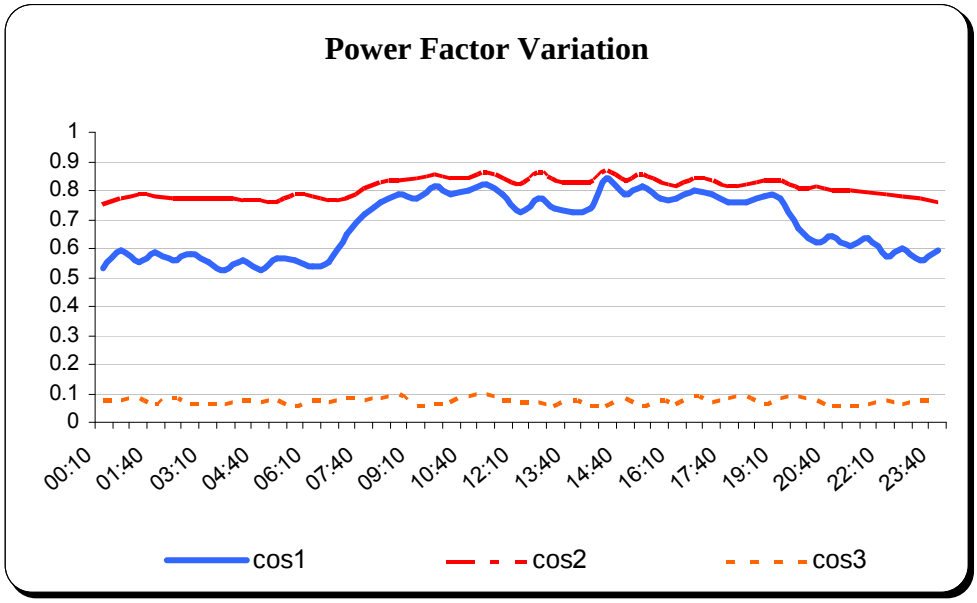


(ب)

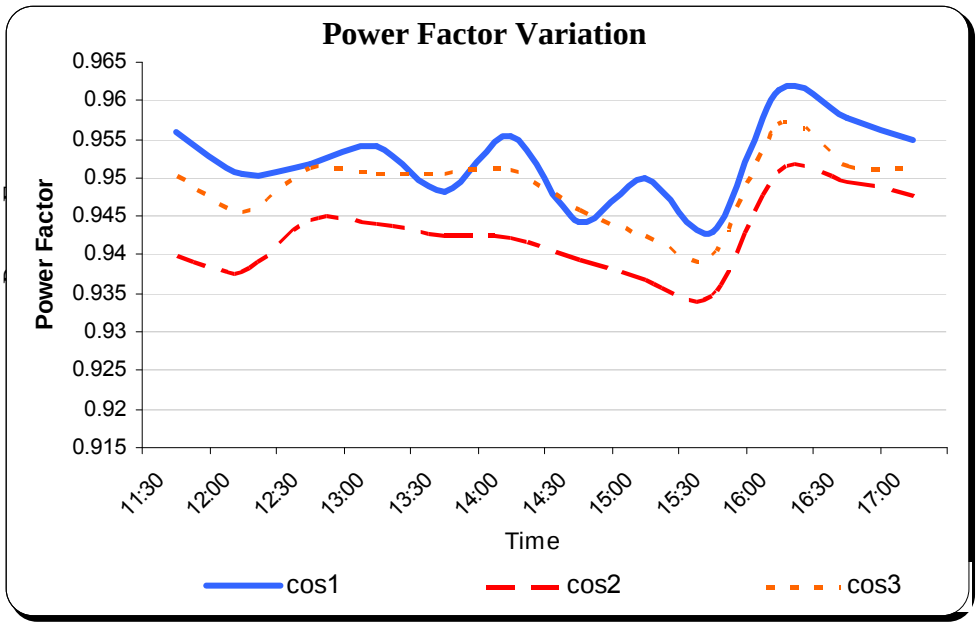
شكل رقم (٩-١٦): نتائج قياسات المتغيرات الكهربائية لمبنى مجمع وزارة الكهرباء والطاقة – محول ١ بقدرة ٢٠٠٠ ك.ف.أ.

(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