بسم الله الرحمن الرحيم

اخواني مهندسي الكهرباء في الوطن العربي

اليكم تنبيه هام

تم تحميل هذا الملف من

موقع

موسوعة الكهرباء

www.electricityencyclopedia.com

موقع متخصص في مجال الهندسة الكهربية وهندسة الإتصالات والميكانيكا

حيث يحتوي علي العديد من المقالات والشروحات في مختلف مجالات الهندسة الكهربية

بالإضافة إلي البرامج الهندسية وشروحاتها (كتب + فيديو)

وكتب ومراجع هندسية

وكورسات كاملة في مختلف مجالات الهندسة الكهربية

ومواصفات تنفيذ الأعمال الكهربية في مختلف المنشآت والمجالات بالعديد من البلدان

وكذلك روابط تحميل جميع الأكواد الكهربية المحلية والعربية والعالمية

والكثير الكثير مما يمكنكم ان تستفيدوا منه في مجال هندسة القوي والالات الكهربية والإتصالات والميكانيكا

أرجو ان تجدوا بالموقع كل ما تبحثون عنه

تقبلوا تحياتى

م. علاء محمد حمادي

مالك ومشرف موقع

www.electricityencyclopedia.com

جمهورية مصر العربية
وزارة الإسكان والمرافق والمجتمعات العمرانية
المركز القومي لبحوث الإسكان والبناء

الكود المصري
لأسس تصميم وشروط تنفيذ التوصيلات والتركيبات الكهربائية في المباني -الأنظمة الخاصة
كود رقم ٦/٣٠٢

المجلد السادس
تحسين معامل القدرة

إصدار ٢٠١٤
طبعة ٢٠٢٠

جمهورية مصر العربية
وزارة الإسكان والمرافق والتنمية العمرانية
المركز القومى لبحوث الإسكان والبناء

الكود المصرى

لأسس تصميم وشروط تنفيذ

التوصيلات والتركيبات الكهربائية فى المبانى – الأنظمة الخاصة

كود رقم (٦/٣٠٢)

المجلد السادس

تحسين معامل القدرة

اللجنة الدائمة
لإعداد الكود المصرى لأسس تصميم وشروط تنفيذ
التوصيلات والتركيبات الكهربائية فى المبانى

أولاً :- أعضاء اللجنة الدائمة

١- أ .د . عادل إبراهيم الملوانى رئيسا

٢- أ .د. عبد العزيز محمود عبد العزيز

٣- أ . د. متولى عوض حسن الشرقاوى

٤- أ . د. هشام كامل عبد اللطيف

٥- د.م جمال على عبد السلام يونس

٦- أ . د. رفاعى أحمد رفاعى

٧- د.م محمد ابراهيم السيد أحمد

٨- م. محمد أنور خطاب

ثانياً :- الأمانة الفنية

السيد المهندس / محمود محمد عبد الرازق

ثالثاً :- الكتابة على الحاسب الآلى

١- السيد / هيثم وحيد على محمد

٢- السيد / هشام محمد حسين الحلوانى

جمهورية مصر العربية
وزارة الإسكان والمرافق والمجتمعات العمرانية
مكتب الوزير

الرقم البريدى ١١٥١٦

٢٠١٤/١٢/٢٩
٢٠١٤

قـرار
وزير الإسكان والمرافق والمجتمعات العمرانية
رقم ٨٢٩ لسنة ٢٠١٤

وزير الإسكان والمرافق والمجتمعات العمرانية

بعد الاطلاع علي القانون رقم ٦ لسنة ١٩٦٤ في شأن أسس تصميم وشروط تنفيذ الأعمال الإنشائية وأعمال البناء،

وعلي قانون البناء الصادر بالقانون رقم ١١٩ لسنة ٢٠٠٨ ولائحته التنفيذية،

وعلي القرار الجمهوري رقم ٦٣ لسنة لسنة ٢٠٠٥ بإعادة تنظيم المركز القومي لبحوث الإسكان والبناء،

وعلى القرار الجمهوري رقم ١٨٩ لسنة ٢٠١٤ بتشكيل الوزارة،

وعلي القرار الوزاري رقم ٦٤٥ لسنة ٢٠١٣ بشأن تشكيل اللجنة الدائمة للكود المصري لأسس تصميم وشروط تنفيذ التوصيلات والتركيبات الكهربائية فى المبانى،

وعلي ما عرضه السيد الأستاذ الدكتور/ رئيس مجلس إدارة المركز القومي لبحوث الإسكان والبناء؛

قـرر

(المادة الأولى)

يتم العمل بالمجلد السادس (الأنظمة الخاصة - تحسين معامل القدرة) من الكود المصري لأسس تصميم وشروط تنفيذ التوصيلات والتركيبات الكهربائية فى المبانى المرافق لهذا القرار.

(المادة الثانية)

تلتزم الجهات المعنية المنصوص عليها فى القانونين رقمى ٦ لسنه ١٩٦٤ ، ١١٩ لسنه ٢٠٠٨ بتنفيذ ما جاء بهذا الكود وتطبيق أحكامه.

(المادة الثالثة)

يتولى المركز القومى لبحوث الاسكان والبناء العمل على نشر المجلد السادس المذكور والتعريف به والتدريب عليه.

(المادة الرابعة)

ينشر هذا القرار فى الوقائع المصرية ويعمل به إعتباراً من اليوم التالى لمضى سته أشهر من تاريخ نشره وعلى الجهات المختصة تنفيذه.

وزيـر الإسكـان
والمرافق والمجتمعـات العمرانيـة
أ.د.م/
مصطفـى مدبولـي

صدر في ١٧/١٢/٢٠١٤

مقدمة

تعد التركيبات الكهربائية فى المبانى هى الدعامة الرئيسية للوصول إلى مبنى تعمل به الأنظمة المختلفة على الوجه الأكمل وتكون به المعدات والأجهزة والأدوات الكهربائية، التى انتشرت بشكل واسع فى الآونة الأخيرة، مستخدمة بكفاءة عالية. فضلا عن ذلك، فإن التركيبات الكهربائية تلعب دورا أساسيا فى الحفاظ على سلامة المبانى والمنشآت من أخطار الحريق الناجم من عدم مراعاة الأصول الفنية فى تصميم وتنفيذ هذه التركيبات، هذا بالإضافة إلى توفير الوقاية للإنسان والدواب من الصدمة الكهربائية.

وتعتبر بنود أعمال التوصيلات والتركيبات الكهربائية فى المبانى من أهم البنود فى معظم المشروعات التى يتم تنفيذها فى الوقت الحالى، وقد اتسع مجال استخدامها لتشمل جميع المنشآت العادية وكذلك المنشآت الخاصة.

ونظرا للتوسع المطرد الذى طرأ على التركيبات الكهربائية فى المبانى خلال الحقبة الأخيرة وكذلك التطورات التكنولوجية المتلاحقة فى المعدات والمهمات الكهربائية، فإن الأمر يتطلب القيام دوريا بمراجعة وتحديث الكودات الصادرة عن وزارة الإسكان والمرافق والتنمية العمرانية كل عدة سنوات لإضافة الجديد.

وقد قامت اللجنة الدائمة لتحديث أسس التصميم وشروط تنفيذ التوصيلات والتركيبات الكهربائية فى المبانى بتحديث المجلد الأول: أسس التصميم بناءاً على القرار الوزارى رقم ١٥٩ لسنة ٢٠١٣، وتحديث المجلد الثانى: شروط التنفيذ بناءاً على القرار الوزارى رقم ٥٢٠ لسنة ٢٠١٢، وتحديث المجلد الثالث: الاختبارات واستلام الأعمال بناءاً على القرار الوزارى رقم ٥٣١ لسنة ٢٠١٣ وذلك تنفيذاً للقانون رقم ٦ لسنة ١٩٦٤ فى شأن تنفيذ الأعمال الإنشائية وأعمال البناء، ويتكون هذا الكود من ثلاثة مجلدات.

ونظراً لأن أعمال التصميم وشروط التنفيذ للتوصيلات والتركيبات الكهربائية فى المبانى تشتمل على العديد من الأنظمة الكهربائية الخاصة، فإن اللجنة الدائمة قامت بتحديث المجلد السادس: تحسين معامل القدرة، على أن يجرى تباعا تحديث باقى مجلدات الأنظمة الخاصة.

ويعتبر هذا الكود بالإضافة إلى مواصفات بنود الأعمال، من العناصر الهامة فى مستندات التعاقد مع المقاول القائم بتنفيذ المشروع والتى يمكن بواسطتها التحقق من سلامة تنفيذ هذه الأعمال.

وتم الاستعانة بالكود العربى للتركيبات الكهربائية وكذلك المواصفات القياسية المصرية والمواصفات الكهروتقنية الدولية IEC حسب آخر طبعة صادرة منها.

هذا وقد تم بعون الله إصدار هذا المجلد من الكود بالقرار الوزارى رقم ٠٠٠٠ لسنة ٢٠١٤.

وبتكامل إصدار هذا الكود ومواصفات بنود الأعمال والدليل الارشادى الخاص بالتوصيلات والتركيبات الكهربائية فى المبانى، تكون أصول المهنة قد استقرت لعشرات السنين القادمة بإذن الله. إلا أن ذلك لن يحول دون القيام بمراجعة وتحديث الكود ومواصفات بنود الأعمال وكذلك الدليل الارشادى دورياً كل عدة سنوات لإضافة الجديد والارتقاء بالأداء، وذلك لمواكبة التطور التكنولوجى حتى نضمن للمشروعات تحقيق آخر ما وصلت إليه تقنيات العصر فى مختلف المجالات.

رئيس اللجنة الدائمة

لأسس تصميم وشروط تنفيذ التوصيلات

والتركيبات الكهربائية فى المبانى

أستاذ دكتور مهندس/

عادل إبراهيم الملوانى

المحتويات

الصفحة

الباب الأول : المجال والتعاريف والاختصارات ١
١/١ مقدمة ١
٢/١ المجال ١
٣/١ التعاريف ٢
٤/١ الاختصارات ٦

الباب الثانى : الغرض والنظم ونماذج تحسين معامل القدرة ٧
١/٢ عام ٧
٢/٢ الغرض ٧
٢/٢-١ تخفيض الفقد الداخلى فى شبكة التوزيع ٨
٢/٢-٢ زيادة سعة شبكة التوزيع ١٠
٢/٢-٣ الحصول على مستوى أداء محسن للجهد ١٠
٣/٢ نظم تحسين معامل القدرة ١٠
٤/٢ نماذج تحسين معامل القدرة ١١
٢/٤-١ غرامة انخفاض معامل القدرة..... ١٣
٢/٤-٢ حوافز تحسين معامل القدرة ١٤
٢/٤-٣ اقتصاديات المشروع..... ١٥
٢/٤-٤ فترة الاسترداد ١٦

الباب الثالث : تصميم نظام تحسين معامل القدرة باستخدام المكثفات ١٧
١/٣ عام ١٧
٢/٣ طرق استيعاب القدرة غير الفعالة ١٧
٣/٣ مواصفات المكثفات ٢٠
٤/٣ تصميم المكثفات وتحديد قدرتها ٢٣
٣/٤-١ تصميم المكثفات ٢٣
٣/٤-٢ تحديد قدرة المكثفات ٢٩
٣/٤-٣ طرق توصيل المكثفات بالشبكات ثلاثية الأطوار ٣١

المحتويات

الصفحة

٥/٣ موقع تركيب المكثفات ٣٢
٦/٣ الحسابات الخاصة بتحسين معامل القدرة ٣٩
٧/٣ تحديد درجة الحماية ٤٢
٨/٣ نبائط التوصيل والفصل ٤٣
٩/٣ المصاهر المنفردة للمكثفات ٤٣
١٠/٣ وظائف نبيطة الوقاية لمجموعات المكثفات من عدم الإتزان ٤٥
١٠/٣-١ الوقاية من عدم الاتزان وطرق التوصيل..... ٤٥
١١/٣ اختيار الجهد المقنن ٥٠
١٢/٣ تأثير ألعوامل المحيطة ٥٠
١٢/٣-١ العوامل المؤثرة على عمر المكثف..... ٥١

الباب الرابع: استخدامات خاصة للمكثفات ٥٥
١/٤ عام ٥٥
٢/٤ لحام القوس ولحام المقاومة ٥٥
٢/٤-١ معدات اللحام الكهربى ٥٥
٤ /٢-٢ خصائص أحمال اللحام بالقوس الكهربى ٥٥
٤ /٢-٣ تحسين معامل القدرة لمحولات اللحام بالقوس الكهربى ٥٦
٢/٤-٤ خصائص أحمال اللحام بالمقاومة ٥٩
٢/٤-٥ تحسين معامل القدرة لمعدات اللحام بالمقاومة ٥٩
٣/٤ الافران الحثية ٦٢
٣/٤-١ تحسين معامل القدرة لأفران القوس الكهربى ٦٢
٣/٤-٢ تحسين معامل القدرة للأفران الحثية ٦٤
٣/٤-٣ تحسين معامل القدرة لأفران التسخين الحثية ٦٨
٣/٤-٤ تحسين معامل القدرة لأفران الجرفتة ٦٩

المحتويات

الصفحة

الباب الخامس : التنفيذ والفحص والاختبار واستلام أعمال تحسين معامل القدرة ٧٢
٥/١ التنفيذ ٧٢
٥/٢ الفحص ٧٣
٥/٣ الاختبارات واستلام الأعمال ٧٣
٥/٣-١ الاختبارات ٧٣
٥/٣-٢ أنواع الاختبارات التى تجرى على المهمات..... ٧٤
٥/٣-٣ استلام الأعمال ٧٦
٥/٣-٣-١ عام ٧٦
٥/٣-٣-٢ المستندات والإجراءات التى تسبق الاستلام الابتدائى ٧٧
٥/٤ الصيانة ٨٠

المراجع ٨١

الملاحق م١
ملحق (م١/١): نورموجرام لتحديد معامل الضرب نتيجة لتحسين معامل القدرة م١
ملحق (م١/٢): نورموجرام لتحديد النسبة المئوية لخفض القدرة الظاهرية نتيجة لتحسين معامل القدرة م٢
ملحق (م١/٣): جدول معامل الضرب (k) لحساب القدرة الظاهرية للمكثفات المطلوبة م٣
ملحق (م٢): أمثلة لحسابات تحسين معامل القدرة م٤
ملحق (م٣): أعطال لوحة المكثفات والمصاهر م٩

الباب الأول

المجال والتعاريف والاختصارات

١/١ مقدمة

كان للتوسع الكبير فى استخدام الطاقة الكهربائية فى مجالات شتى فى حياتنا العملية وكذلك التزايد المستمر للأحمال الكهربائية، وعلى الأخص الأحمال الصناعية (ماكينات اللحام، المحركات التأثيرية، محولات القدرة، أفران القوس الكهربائى، الإنارة الفلورية وكابحات التيار، إلخ...)، أثرا كبيرا فى انخفاض معامل القدرة فى الشبكة الكهربائية.

ومعامل القدرة هو النسبة بين القدرة الفعالة بالوات والقدرة الظاهرية بالفولت أمبير، وتتراوح قيمته بين الصفر والواحد، ويقل الفاقد من الطاقة الكهربائية فى شبكة التوزيع الداخلية وتنخفض القدرة الظاهرية للأحمال، كلما اقتربت قيمة المعامل من الواحد مما يؤدى إلى زيادة السعة المتاحة لكل مكونات الشبكة مثل المحولات والمغذيات وغيرها، والعكس صحيح، فكلما انخفضت قيمة المعامل ارتفع الفاقد من الطاقة الكهربائية وكذلك السعة المطلوبة لمكونات الشبكة التى تغذى هذه الأحمال.

ولمواجهة التحديات الفنية وارتفاع معدلات الاستهلاك، أصبح من الضرورى العمل على تحسين معامل القدرة الذى يؤدى بدوره إلى خفض الفقد فى استهلاك الطاقة الكهربائية وعلى الأخص فى القطاعين التجارى والصناعى. كما يؤدى تحسين معامل القدرة إلى زيادة الكفاءة للأجهزة والمعدات وتخفيض الفاقد من الكهرباء فى الشبكة الداخلية.

كما يؤدى انخفاض معامل القدرة، إلى انخفاض الجهد فى الشبكة الكهربية، الأمر الذى يؤدى بدوره إلى التشغيل السيئ للأحمال الكهربية، ويؤدى انخفاض معامل القدرة كذلك إلى زيادة التيار فى المغذيات والكابلات وخطوط نقل الكهرباء، مما يتسبب فى رفع درجة حرارتها وعدم إمكانية تحميلها بالحمل الكامل.

ومن أهم الطرق لتحسين معامل القدرة، استخدام مكثفات القدرة التى تتسم بسهولة التشغيل والصيانة لخلوها من الأجزاء الدوارة، بالإضافة إلى سهولة التوصيل والتركيب لكونها خفيفة الوزن ولا تحتاج إلى تأسيسات معقدة.

٢/١ المجال

- يعتبر هذا الكود جزءا هاما ضمن الكودات التى تعنى بالأنظمة الكهربائية الخاصة، و ليس الهدف منه أن يحل محل المواصفات القياسية العالمية الخاصة بالمكثفات أو بمعدات التحكم فى معامل القدرة.

- يختص هذا الكود بأسس تصميم وشروط تنفيذ تحسين معامل القدرة فى شبكات توزيع القوى الكهربائية فى المبانى والمنشآت، كأحد أهم عناصر اشتراطات التغذية الكهربائية وكذلك فى تحسين كفاءة استخدام الطاقة الكهربية فيهما. كما يتناول أهم الأسس الواجب اتباعها أثناء اختبار واستلام أعمال تحسين معامل القدرة.
- يقدم هذا الكود اسس تصميم نظم تحسين معامل القدرة بالمنشآت باستعمال المكثفات وكذلك اختيار الوسائل الضرورية لتقليل الفقد فى الشبكات.
- أعد هذا الكود لتوفير معلومات للمهندسين عامة وللمصممين خاصة عن متطلبات تحسين معامل القدرة وعلى وجه الخصوص بيان مواصفات المكثفات ونبائط الوصل والفصل الخاصة بالمكثفات ووسائل الوقاية لها وكذلك للشبكة المغذية لها.
- لا يشمل هذا الكود تحسين معامل القدرة لشبكات نقل القوى الكهربائية.

٣/١ التعاريف

ارتعاش الجهد **Voltage flicker**

تذبذب الجهد الناتج عن استخدام معدات تسبب ارتعاش المصابيح وتغير شدة إضاءتها.

أرضى **Ground**

الموصل الذى يصل بين نقطة فى الدائرة وبين الأرض ويطلق عليه أيضا Earth، أما الأرضى العارض (غير المقصود) فيحدث بسبب تلف عزل كابل أو عيب فى المادة العازلة، أو ما شابه ذلك.

الأعمال

تعني جميع الأشغال والخدمات والإصلاحات والصيانة والتركيبات وغيرها، والتى من المطلوب من المقاول تنفيذها وتقديمها بموجب مستندات العقد.

أقصى جهد **Maximum voltage**

أكبر متوسط للجهد خلال ٥ دقائق أو أكبر متوسط للجهد عموما.

تباين الحمل **Load diversity**

الفرق بين مجموع الطلبات القصوى للمركبات المختلفة لأحمال المنظومة الكهربية والطلب الأقصى للحمل الكلى لهذه المنظومة نتيجة لاختلاف توقيتات حدوث القيم القصوى. وتحدد قيمة التباين على مدى فترة زمنية محددة.

Seasonal diversity

تباين موسمى

تباين الحمل بين شبكتين كهربائيتين (أو أكثر) الذى قد يحدث عندما تقع أحمال الذروة بهما فى موسمين مختلفين من السنة.

Impregnation

تشريب

عملية تصنيعية يجرى بموجبها ملأ الفراغات داخل العازل الكهربائى للمكثف ومواد العزل الأخرى بمائع مناسب ذى خواص عزل عالية. ويتبعها عادة فترة من التجفيف فى ظروف خوائية (تخلخلية).

Outage

توقف (خروج عن أداء الوظيفة)

حالة معدة ما عندما تصبح عاجزة عن أداء الوظيفة المنوطة بها وبسبب بعض الحوادث المرتبطة مباشرة بها. وقد ينتج – أو لا ينتج – انقطاع الخدمة عن المستهلك بسبب هذا التوقف وذلك بحسب تصميم هذا النظام.

Transformer no-load current

تيار اللاحمل للمحول

تيار المحول عندما لا يكون هناك حملا على الجانب الثانوى.

Service voltage

جهد الخدمة

الجهد المقاس على أطراف مدخل المعدات وهى تؤدى الخدمة المنوطة بها.

Capacity

سعة

مقدرة معدات التوليد أو أى أجهزة كهربائية على القيام بتغذية الحمل العادى معبرا عنها بالفولت أمبير أو بالوات.

Demand

الطلب

القيمة المتوسطة للحمل عند أطراف الاستقبال فى شبكة كهربائية خلال فترة زمنية محددة.

Maximum demand

الطلب الأقصى

أقصى قيمة من القدرة المطلوبة خلال فترة زمنية محددة.

Dielectric

عازل كهربائى

مادة عزل صلبة أو سائلة أو الاثنين معاً توجد بين قطبى المكثف.

Reactive power

قدرة غير فعالة

حاصل ضرب القيمة الفعالة للجهد فى قيمة المركبة العمودية الفعالة للتيار.

قدرة فعالة **Active power**

حاصل ضرب القيمة الفعالة للجهد فى قيمة مركبة التيار الفعالة فى اتجاه الجهد.

عمود **Pole**

عمود من الخشب أو الصلب، أو أية مادة أخرى، يستخدم كركيزة لموصل هوائى، ويكون ذلك فى المعتاد بواسطة ذراع أو كابولى مثبت بطرف العمود.

قطع، انقطاع **Interruption**

فقد خدمة إمداد مستهلك أو أكثر بالطاقة الكهربائية، ويحدث القطع بسبب خروج مكون أو أكثر من مكونات الشبكة عن الخدمة.

لوحة توزيع **Distribution switchboard**

لوحة تحتوى على مفاتيح فصل ووصل وقطع القدرة الكهربائية وتستخدم فى توزيع الطاقة الكهربائية داخل مبنى من المبانى.

المالك **Owner**

صاحب العمل والطرف الأول فى اتفاقيات العقود الذى يدعو المقاولين للقيام بتنفيذ المشروع الذى يريده، وقد يكون المالك شخص أو هيئة اعتبارية مثل وزارة أو شركة.

محدد **Limiter**

نبيطة تمنع تلقائيا بعض خصائص الخرج من الدائرة من تجاوز قيمة سابقة التحديد.

مصهر (فيوز) **Fuse**

نبيطة للوقاية يمكن بواسطتها قطع التيار فى الدائرة عن طريق انصهار سلك أو شريط معدنى مركب بداخل هذه النبيطة، عندما يتجاوز التيار المار بها القيمة الاسمية للمصهر لمدة زمنية محددة فى مواصفات المصهر.

معامل التباين (معامل التشتت) **Diversity factor**

النسبة بين مجموع الطلبات القصوى للمركبات المختلفة للأحمال فى المنظومة الكهربية إلى الطلب الأقصى لحمل المنظومة ككل.

معامل الحمل **Load factor**

النسبة بين القيمة المتوسطة لقدرة الحمل خلال فترة معينة إلى أقصى قيمة لقدرة الحمل التى تسجل خلال تلك الفترة.

معامل القدرة **Power factor**

النسبة بين القدرة الفعالة بالوات والقدرة الظاهرية بالفولت أمبير.

مفتاح **switch**

نبيطة لفتح وغلق أو تغيير التوصيلات فى دائرة.

مقاول **Contractor**

الشخص أو الشركة التى تتقدم بعرض لتنفيذ الأعمال وتتعاقد مع المالك لأداء بعض أو كل الالتزامات بموجب العقد نظير مبلغ معين.

مكثف **Condenser**

أداة أو نبيطة كهربائية تستخدم عادة فى الشبكات والمعدات الكهربائية لتحسين معامل القدرة ما لم يكن لها وظيفة أخرى فى التركيبات.

مكثف ذاتى الالتئام **Self healing capacitor**

مكثف يستعيد خواصه الكهربائية بعد حدوث انهيار كهربائى موضعى فى عزله.

مكثف ذو أقطاب مغطاة بمعدن (ممعدن) **Metallized capacitor**

مكثف بأقطاب يتم تشكيلها بواسطة تبخير معدن فى حيز خوائى (تخلخلى) ليترسب مباشرة على مادة العزل الكهربائى (يكون الغشاء إما من الورق أو البلاستيك).

ملامس (كونتاكتور) **Contactor**

مفتاح قدرة كهربائية لا يجرى تشغيله يدويا ولكنه مصمما لتشغيله يدويا وكذلك لتشغيله متكررا.

مهندس **Engineer**

يقصد به المهندس أو المهندس الاستشارى كشخص طبيعى أو اعتبارى (مكتب هندسى) المعين من قبل المالك ليقوم بمسئوليات المهندس.

مواسعة، سعوية (خاصية) **Capacitance (property)**

مقدرة المكثف على اختزان الشحنة الكهربائية.

مواصفات **Specifications**

يقصد بها المواصفات الفنية العامة للإدارة أو للجهة المالكة ومواصفات بنود أعمال التركيبات الكهربائية والمواصفات القياسية المصرية الصادرة من الهيئة المصرية للمواصفات والمواصفات الفنية الخاصة بالمشروع.

System

نظام

مجموعة من المكونات متصلة ببعضها فى نسق معين لتدبير تدفق القدرة من نقطة ما أو من مجموعة نقاط، إلى نقطة أو مجموعة نقاط.

Voltage drop

الهبوط فى الجهد (انخفاض الجهد)

الفرق بين الجهد عند طرفى الإرسال والاستقبال لمغذى، أو لكابل رئيسى.

Capacitor unit

وحدة المكثف

عنصر أو عدد من عناصر المكثفات التى يتم تجميعها فى حاوية واحدة يخرج منها أطراف التوصيل.

٣/١ الاختصارات

تطبق فى هذا الكود الاختصارات التالية:

الرمز المختصر	معنى الرمز
ANSI	American National Standards Institute
BIL	Basic Impulse Level
C.B	Circuit Breaker
CSP	Completely Self Protected
C.T	Current Transformer
I.E.C	International Electric Commission
LTC	Load Tap Changer
NEC	National Electric Code
NP	Network Protector
NESC	National Electrical Safety Code
PCB	Polychlorinated Biphenyl
P.T	Potential transformer
R.P	Regulating Point
RPM	Revolution per Minute
VRR	Voltage Regulating Relay

الباب الثانى
الغرض والنظم ونماذج تحسين معامل القدرة

١/٢ عام

١- يطلق على الأحمال الكهربائية التى تعمل بواسطة المجال المغناطيسى الناتج من مصدر قدرة ذى تيار متردد، "الأحمال الحثية" (Inductive loads). وتشمل هذه الأحمال معدات من نوعية المحركات الحثية (Induction motors)، والموحدات (Rectifiers)، والأفران الكهربائية الحثية (Electric induction furnaces)، والمصابيح الفلورية، والمحولات (Transformers). ويمكن تحليل التيار الذى يمد الأحمال الحثية بالقدرات الكهربائية إلى مركبتين هما:

أ- مركبة التيار الفعال المولد للقدرة (Active current) الذى يتحول بواسطة المعدات إلى طاقة مفيدة أو شغل مبذول (Work) وتكون هذه الطاقة عاده فى صورة طاقة ميكانيكية، أو حرارة، أو ضوء

ب- مركبة التيار غير الفعال (Reactive current)، وهو التيار المطلوب لتوليد الفيض المغناطيسى اللازم لتشغيل المعدات

٢- يجب الرجوع إلى شركة التوزيع المختصة للالتزام بتطبيق الحد الأدنى من متطلباتها لمعامل القدرة.

٢/٢ الغرض

١- تكون القدرة الفعالة هى المقياس الحقيقى للقدرة الكهربائية التى تم تحويلها إلى أشكال أخرى مفيدة من الطاقة، لذا فإن تحسين معامل القدرة يؤدى إلى خفض القدرة الظاهرية المحسوبة بغرض أداء واجب محدد.

٢- يؤثر انخفاض معامل القدرة سلبا على أداء المنظومة الكهربية ويعتمد ذلك على طبيعة الأحمال من حيث كونها أحمال خطية أو أحمال حثية غير خطية مثل (المحولات، المحركات الحثية، المصابيح الفلورية، الموحدات، الأفران الكهربائية، أفران الحث، إلخ...) حيث تؤدى الطبيعة غير الحثية لهذه الأحمال إلى تبديد جزء من الطاقة المغذية لها عن طريق القدرة غير الفعالة والتى تستوجب العمل على استيعابها، وذلك عن طريق تعويض هذا الجزء بواسطة مصدر خارجي يعمل كمولد للقدرة غير الفعالة يقوم بدوره بإضافة قدرة غير فعالة لمنظومة القدرة الكهربائية، ويكون ذلك عادة، عن طريق مكثف يتم توصيله على التوازى مع الحمل المراد تحسين معامل قدرته.

٣- يؤدى توصيل مكثف 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) اللازم لمغنطة الأحمال الحثية. فلذا يعتبر المكثف هو الأداة الأساسية التي تستخدم لتحسين معامل القدرة، وينعكس ذلك إيجابياً على أداء المنظومة من حيث تخفيض الطاقة المبددة في موصلات الكابلات والخطوط وبالتالى زيادة سعاتها عند نفس الحمل، حيث يمكن لهذه الكابلات والخطوط تحمل نقل قدرات إضافية لأحمال إضافية، كما تنخفض كذلك القدرة الظاهرية (Apparent power) للحمل، وكذلك يتم اكتساب قدرة إضافية من المحولات المستخدمة في الشبكة وتتحسن الجهود عند مراكز الأحمال التى تغذيها. ويكون نتيجة لتحسين معامل القدرة في منظومة توزيع القوى الكهربائية فائدة كبرى، حيث تتيح الاستفادة من فائض السعة فى مهمات الشبكات القائمة الاستخدام في تغذية أحمال إضافية دون الحاجة إلى توسعتها أو إعادة هيكلتها، وأيضا إلى توفير نفقات إنشاء شبكات جديدة وتوجيهها لاستثمارات أخرى على المستوى القومى.

٤- يجب فى المبانى التى تحتوى على أحمال غير خطية أو مغيرات تيار استاتيكية، قياس التشوهات التى تحدث فى موجتى الجهد والتيار والتأكد من أن نسبة التشوه الكلى تقع فى نطاق الحدود المسموح بها طبقا للمواصفات القياسية الدولية، وأنها لا تسبب انخفاضا فى معامل القدرة، وإلا فيجب اتخاذ الترتيبات التى تؤدى إلى خمد التوافقيات الناتجة ومنع ما تتعرض له الشبكة من مخاطر من جراء ذلك، واستخدام الطرق التى تؤدى إلى تحسين معامل القدرة.

٢/٢-١ تخفيض الفقد الداخلى فى شبكة التوزيع

١- إذا تم تثبيت القدرة الفعالة (وات)، فإنه بتخفيض معامل القدرة تزيد القدرة الظاهرية المطلوبة. ونتيجة لذلك، يزيد الفقد (I^2R) فى المقاومة الكهربائية للشبكة، (حيث R = المقاومة الكهربائية، I = قيمة التيار المار فى الشبكة).

٢- يمكن حساب زيادة النسبة المئوية لتقليل الفقد فى القدرة الكهربائية عند تحسين معامل القدرة من $\cos\phi_1$ إلى $\cos\phi_2$ طبقا للمعادلة (٢-١):

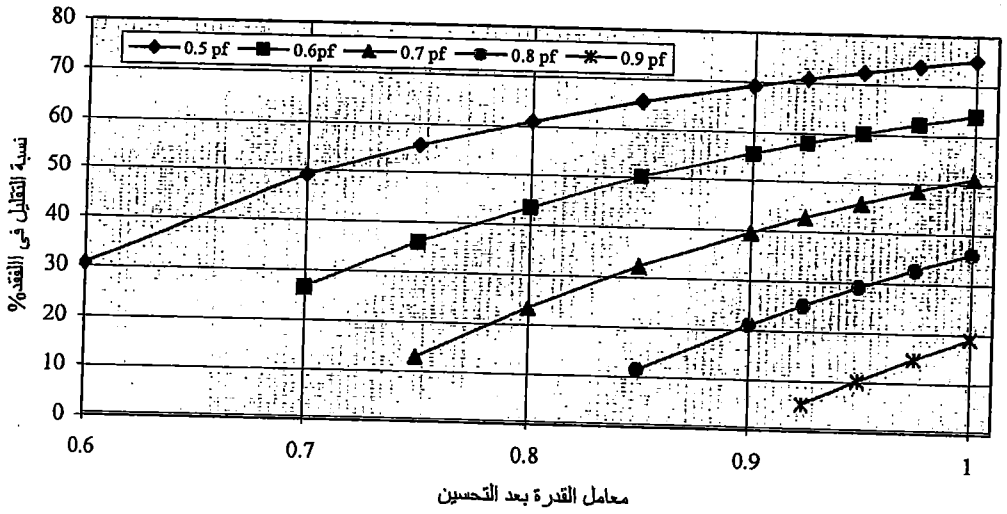
$$\text{النسبة المئوية لتقليل الفقد} = \left[1-\frac{(\cos\phi_1)^2}{(\cos\phi_2)^2}\right]\times 100 \qquad (2\text{-}1)$$

بفرض أن $\cos \phi_1 = 0.5$ فى المعادلة (٢-١)، فإن النسبة المئوية لتقليل الفقد فى القدرة عند تحسين معامل القدرة إلى ٠,٧، ٠,٨، ٠,٩، ١,٠ بالتتابع تكون على النحو الوارد فى الجدول رقم (١/٢):

جدول (١/٢): تقليل الفقد فى القدرة الكهربائية نتيجة تحسين معامل القدرة

معامل القدرة	٠,٧	٠,٨	٠,٩	١
نسبة تقليل الفقد %	٤٨,٩	٦٠,٩	٦٩,١	٧٥

ويوضح الشكل رقم (١/٢) نسبة تقليل الفقد فى القدرة عند تصحيح معامل القدرة من ٠,٥ إلى ٠,٩ .



شكل (١/٢): النسبة المئوية لتقليل الفقد فى القدرة نتيجة لتحسين معامل القدرة

٢/٢-٢ زيادة سعة شبكة التوزيع

١- يؤدى انخفاض معامل القدرة إلى تقليل سعة شبكة التوزيع، فعلى سبيل المثال، عندما يكون معامل القدرة ٠,٨ فإن المحول الذى قدرته الظاهرية ٥٠٠ ك.ف.أ. لا يعطى سوى ٤٠٠ ك.وات، فإذا ما جرى تحسين المعامل ليصبح ٠,٩، فإن نفس المحول يمكنه إتاحة قدرة ٤٥٠ ك.وات.

ويمكن الحصول إيضا على زيادة فى سعة الكابلات المستخدمة، وفى قواطع الدائرة الكهربائية والمعدات الكهربائية الأخرى، نظرا لانخفاض القدرة الفعالة لجميع هذه المعدات، حين ينخفض معامل القدرة.

٢- تؤدى زيادة معامل القدرة إلى الزيادة فى سعة شبكات التوزيع الكهربائية القائمة، الأمر الذى يساعد على تقليل المصروفات اللازمة للحصول على سعة إضافية فى الشبكة.

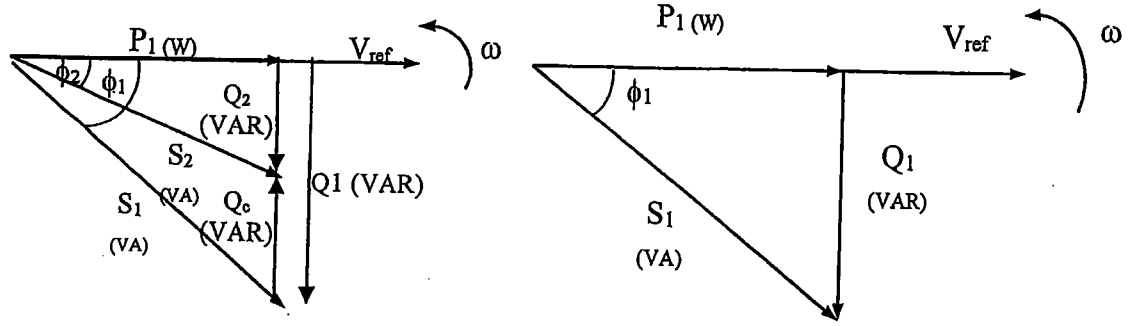
٢/٢-٣ الحصول على مستوى أداء محسن للجهد

يمكن الحصول على جهد أكثر استقرارا، وحتى إن لم يكن ذلك فى حد ذاته هدفاً من أهداف تركيب معدات تحسين معامل القدرة، إلا أنه يمثل عادة احدى المزايا الإضافية التى تنتج عن تحسين هذا المعامل.

٢/٣ نظم تحسين معامل القدرة

١- يوجد تعريف بديل لمعامل القدرة فى حالة أن تكون أشكال موجات التيار والجهد ذات منحنى جيبى خالص (Purely sinusoidal)، ولا تحتوى على توافقيات (Harmonics)، وتتوقف قيمته فقط على العلاقة الطورية (Phase relationship) بين مركبتى التيار الفعال وغير الفعال. فمثلا فى الدوائر الحثية الخالصة، يصل الجهد إلى قيمته العظمى متقدماً بربع دورة (بمقدار ٩٠ درجة) عن القيمة العظمى للتيار، بينما فى الدوائر ذات المقاومة الخالصة (Purely resistive circuits)، تكون موجتا الجهد والتيار منطبقتان وفى نفس الطور. وتشتمل الأحمال الحثية الفعلية على كل من العناصر الحثية (Inductive elements) وعناصر المقاومة (Resistive elements)، ويكون التيار غير الفعال المرتبط بالعناصر الحثية متأخراً فى الطور (Out of phase) بمقدار ٩٠ درجة بالنسبة للتيار الفعال المرتبط بعناصر المقاومة. وبناء على ذلك، يكون تعريف معامل القدرة بأنه جيب تمام زاوية الإزاحة الطورية (Phase displacement angle) التى

يسبق، أو يتأخر بها التيار الكلى فى الدائرة بالنسبة للجهد. وتبدو العلاقات السابقة واضحة فى مخطط اتجاه الأطوار (Phasor diagram) المبين فى الشكل رقم (٢/٢) أ.



(أ) العلاقة قبل التحسين (ب) العلاقة بعد التحسين

شكل (٢/٢): العلاقات الاتجاهية بين القدرة الفعالة وغير الفعالة لتحديد معامل القدرة

٢- يعنى تحسين معامل القدرة ما يتم إجراؤه لتخفيض زاوية التأخر بين التيار الكلى وبين الجهد (أنظر الشكل رقم (٢/٢) ب) بإضافة مكثف على التوازى فى الدائرة. ونظراً لأن موجة التيار فى الدوائر السعوية الخالصة (Purely capacitate circuits)، تسبق (Lead) موجة الجهد بربع دورة، فإن إدخال العناصر السعوية على الأحمال الحثية يعمل على تعويض (استيعاب) التيارات المتأخرة (Lagging currents) المصاحبة لهذه الأحمال.

٣- يجب مراعاة أن بادئات التشغيل السلس (Soft-starters) وأجهزة التحكم فى معامل القدرة التى تعتمد على الثايريستورات فى دوائرها، والتى يجرى التحكم فيها طورياً، لا تؤدى إجمالا إلى تحسين معامل القدرة على مستوى الشبكة. فبالرغم من أن هذه النبائط تؤدى إلى تحسين معامل القدرة للمحرك فقط، إلا أنها تقوم فى نفس الوقت بتوليد توافقيات فى الشبكة الأمر الذى يؤدى إلى قلة معامل الإزاحة لها.

٤/٢ نماذج تحسين معامل القدرة

تتعاظم فائدة تحسين معامل القدرة عندما يتم بقدر المستطاع تركيب دوائر تحسين المعامل بالقرب من الأحمال ذات معامل القدرة المنخفض.

١- نظراً لأن مستهلكى الطاقة فى الصناعة يمثلون الغالبية العظمى من القائمين بالتحسين، لذا فإن هذا الكود يتناول إمكانية تحسين معامل القدرة فى هذا المجال.

٢- تعمل معظم المحركات الكهربائية فى الصناعة على التيار المتردد، وتكون من النوع الحثى (Inductive type) الذى يتميز بمعاملات قدرة منخفضة وخاصة عندما يجرى تحميلها تحميلاً خفيفاً، أو عندما تكون فى حالة اللاحمل.

٣- تستهلك المحركات ثلثى الطلب على القدرة الكهربائية فى الصناعة، وقد يزيد ذلك إلى ثلاثة أرباع الطلب.

٤- يبين الجدول رقم (٢/٢) قيمة معامل القدرة النمطى (بدون تحسين) لبعض المحركات المستخدمة فى الأدوات والمعدات المنزلية وكذلك بعض المحركات للأغراض الصناعية، علما بأن معامل القدرة لنفس لمحرك يعتمد على تحميله ويعتمد عموما فى المحركات على قدرتها وسرعتها، فكلما قلت سرعة المحرك كلما انخفض معامل القدرة وكلما ازدادت قدرة المحرك تحسن معامل القدرة.

٥- يبين الجدول رقم (٣/٢) قيم نمطية لمعامل القدرة للمحركات على حسب التحميل.

جدول (٢/٢): معامل قدرة المحركات المستخدمة فى المهمات المختلفة

نوع الحمل	معامل قدرة المعدة
وحدات الإضاءة الفلورية أو بالتفريغ الكهربى (كابح مغناطيسى)(*)	٠,٤٧
أجهزة التكييف طراز شباك ٢,٢ ك.و.	٠,٦٧
الثلاجات أحادية الطور	٠,٦٧
المحركات أحادية الطور (قدرة كسرية وحتى ٢ ك.و.)	٠,٧
المحركات ثلاثية الأطوار بقدرة حتى ٧,٥ ك.و.	٠,٨
المحركات ثلاثية الأطوار بقدرة (١٠ - ٤٠) ك.و.	٠,٨٣
المحركات ثلاثية الأطوار بقدرة (٤٠ - ٧٥) ك.و.	٠,٨٥
المحركات ثلاثية الأطوار بقدرة (٧٥ - ١٥٠) ك.و.	٠,٨٧
المحركات ثلاثية الأطوار بقدرة (١٥٠ - ٣٠٠) ك.و.	٠,٨٨
المحركات ثلاثية الأطوار بقدرة أكبر من ٣٠٠ ك.و	٠,٨٩

(*) ليست من المحركات

جدول (٣/٢): قيم نمطية لمعامل القدرة للمحركات على حسب التحميل

قدرة المحرك (ك.و.)	السرعة (لفة/ د)	معامل القدرة		
		٢/١ حمل	٤/٣ حمل	حمل كامل
٠ - ٣,٧٥	١٥٠٠	٠,٧٠	٠,٨٠	٠,٨٢
٣,٧٥ - ١٥	١٥٠٠	٠,٧٢	٠,٨٢	٠,٨٤
١٥ - ١٥	١٥٠٠	٠,٧٨	٠,٨٥	٠,٨٧
١٥ - ٢٢٥	١٥٠٠	٠,٨٠	٠,٨٦	٠,٨٩

٦- يتضح من الجدول رقم (٣/٢) أن الصناعات والعمليات التى يتم فيها استخدام محركات عند أحمال متغيرة تكون ذات معاملات قدرة بقيم منخفضة.

٧- تتسم دوائر تغذية ماكينات اللحام العاملة بالقوس الكهربى (Arc welding) والتى تعد حملا حثيا كبيرا (نتيجة لوجود محولات القدرة)، بانخفاض كبير فى معامل القدرة.

٨- يقل معامل القدرة بالنسبة لبعض المستهلكين ولبعض الصناعات بسبب بعض المعدات والمكونات والأدوات الموجودة بدوائرها. ومن أمثلة ذلك المصابيح الفلورية التى تعمل بكوابح مغناطيسية.

٩- تتوقف درجة التحسين المطلوبة لمعاملات القدرة السائدة فى دائرة ما، على الاقتصاديات الخاصة بكل حالة على حدة، إذ يجب مقارنة تكلفة المكثفات ودوائرها بقيمة الوفر الناتج من رفع قيمة معامل القدرة.

٢/٤-١ غرامة انخفاض معامل القدرة

١- تكون غرامة انخفاض معامل القدرة هى معامل يضرب فى قيمة المتحصلات المعتادة عن الاستهلاك الإجمالى للكهرباء بالكيلووات ساعة. ويتوقف تقدير الغرامة على المتوسط السنوى لمعامل القدرة الذى يجرى حسابه من قراءات عداد الكيلووات ساعة وعداد الكيلوفار ساعة.

٢- يتم حساب المتوسط السنوى لمعامل القدرة من العلاقة التالية:

$$pf = \frac{kWh}{\sqrt{(kVARh)^2 + (kWh)^2}}$$

٣- عندما يكون المتوسط السنوى لمعامل القدرة أقل من ٠,٩ ولكنه فى نفس الوقت أكبر من أو يساوى ٠,٧، فإنه يجرى زيادة سعر الطاقة بمقدار ٠,٥ % لكل ٠,٠١ % من انخفاض المعامل حتى ٠,٧ .

٤- عندما يكون المتوسط السنوى لمعامل القدرة أقل من ٠,٧، فإنه يزاد سعر الطاقة بمقدار ١,٠ % لكل ٠,٠١ % من انخفاض المعامل عن ٠,٧ .

٥- إذا لم يلتزم المستهلك بتحسين معامل القدرة إلى ٠,٧ على الأقل فى خلال تسعة أشهر من تاريخ إخطاره، يكون من حق مرفق الكهرباء قطع الخدمة حتى يتم تحسين معامل القدرة إلى ما لا يقل عن ٠,٧.

٦- يمكن أن يؤدى رفع معامل القدرة طبقاً لهيكل التعريفة (Tariff structure) إلى تمكين المستهلك من تخفيض قدرته التعاقدية. وينتج عن هذا استخدام مقياس مختلف لحساب تكلفة استهلاك الكيلو وات ساعة.

٧- يكون الأثر المترتب على ذلك، هو استخدام مجموعات أحمال ذات سعات أصغر (Smaller block sizes) عند التكلفة الأعلى لوحدة الطاقة، وسعات أكبر للمجموعات ذات المعدلات الأرخص.

٢/٤-٢ حوافز تحسين معامل القدرة Incentives for power factor

١- يوجد حافز لكل من مرفق الكهرباء والمستهلكين لتحسين معامل القدرة. بالنسبة لمرفق الكهرباء، يؤدى تحسين معامل القدرة إلى تخفيض فقد الشبكة وزيادة نصيب الاستخدامات المنتجة فى طاقة التوليد المتاحة. كما أن هذا يساعد فى الحفاظ على مناسيب الجهد عند القيم المطلوبة. بينما من الفوائد التى يحصل عليها المستهلكين نتيجة لتحسين قيمة معامل القدرة إلغاء غرامة معامل القدرة.

٢- عند تحسين معامل القدرة أعلى من ٠,٩٢ يتم تخفيض سعر الطاقة بمقدار ٠,٥ % لكل ٠,٠١ % من ارتفاع المعامل عن ٠,٩٢ و بحد أقصى ٠,٩٥.

٣- يؤدى تحسين معامل القدرة إلى خفض فاتورة الكهرباء علاوة على مزايا أخرى تشمل زيادة سعة شبكة التوزيع الداخلية للكهرباء، وخفض الفقد فى الشبكة، وتحسين ثبات الجهد.

٢/٤-٣ اقتصاديات المشروع

أ- يختلف نمط الطلب على الطاقة من مستهلك إلى آخر، وعليه فإن اقتصاديات الاستثمار فى معدات تحسين معامل القدرة، تحتاج إلى تقييم لكل حالة على حدى.

ب-يجب عند القيام بدراسة مشروع تحسين معامل القدرة لشبكة تغذية ما، أن يتم تقييم التكاليف وما يتحقق من وفر للتأكد من الجدوى الاقتصادية لهذا المشروع.

ج- يجب تجميع المعلومات التالية عن الشبكة والأحمال الكهربية:

١- بيانات كل حمل، سواء القدرة الظاهرية (ف.أ.) أو القدرة غير الفعالة (ف.أ.ر) أو الفعالة (وات) ومعامل القدرة

٢- معامل القدرة بعد التصحيح

٣- جهد تغذية الشبكة

٤- الرسم الخطى الذى يبين مواقع الأحمال ومجموعة المكثفات الحالية السابق تركيبها (إن وجدت) من الطبيعة

د- يجب أن تشتمل التكاليف على الآتى:

١- تكلفة المعدات المطلوبة للمشروع

٢- تكلفة التركيبات والأعمال التابعة لها

٣- تكلفة مساحة الأرض والمبانى المطلوبة للمكثفات

٤- تكلفة النقل ورسوم التخليص الجمركى (إن وجدت)

هـ- تشتمل العائدات من المشروع على الآتى:

١- الوفر الناتج عن الاضطرار لدفع غرامة معامل القدرة

٢- الزيادة فى القدرة المتاحة نتيجة للتحسين

٣- خفض الفقد فى شبكة التوزيع

و- يكفى لإقرار تنفيذ مشروع تحسين معامل القدرة، ما يحققه من وفر ناتج عن تجنب دفع غرامة معامل القدرة المنخفض، ويمكن استنادا إلى هذا الوفر الذى قد يحقق استردادا لتكلفة المعدات فى نحو عام واحد، أما فى حالة توزيع إهلاك قيمة المعدات على مدى خمس سنوات فإن الوفر السنوى المتوقع يزيد عن ضعف التكاليف السنوية.

ز- يتوفر فى الآونة الأخيرة العديد من برامج الحاسب الخاصة بتحسين معامل القدرة الكهربائية ويمكن بواسطتها حساب قدرات المكثفات المطلوبة، والوفر المحتمل وفترة الاسترداد.

٢/٤-٤ فترة الاسترداد

يمكن حساب فترة الاسترداد (N) من المعادلة (٢-٢):

$T.C.C + N \times$ annual cost of maintenance $= N \times$ (*annual cost of penalty + annual cost of bonus + annual cost of energy saving in feeders*) (2-2)

حيث:

$T.C.C.$: Total capital cost of capacitors including installations
التكلفة الكلية للمكثفات شاملة التركيب

N : Pay-back period (Year)
فترة الاسترداد (سنة)

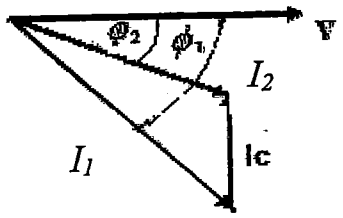
$P.f_1$: Initial power factor
معامل القدرة المبدئى

$P.f_2$: Target power factor
معامل القدرة المستهدف

T : Annual operating hours
ساعات التشغيل السنوية

I_1 : Phase current without capacitors (A)
تيار الطور بدون المكثفات (أمبير)

I_2 : Phase current using capacitors (A)
تيار الطور باستخدام المكثفات (أمبير)



Annual cost of penalty + annual cost of bonus =

$0.005 \times$ annual consumption$\times$ tariff $\times$ [$\frac{(0.9 - p.f_1)}{0.01} + \frac{(p.f_2 - 0.92)}{0.01}$] =

$0.5 \times$ annual consumption (kWhr) $\times$ tariff (L.E/kWhr) $\times$ ($p.f_2 - p.f_1 - 0.02$)

Annual cost of energy saving in feeders =

$3 \times [I_1^2 - I_2^2] \times$ resistance of feeders $\times 10^{-3} \times T \times$ tariff =

$3 \times I_1^2 \times [1 - \frac{\cos^2 \phi_1}{\cos^2 \phi_2}] \times$ resistance of feeders $\times 10^{-3} \times T \times$ tariff

الباب الثالث

تصميم نظام تحسين معامل القدرة باستخدام المكثفات

١/٣ عام

يلقى هذا الباب الضوء على تصميم نظام تحسين معامل القدرة باستخدام المكثفات وكذلك استخدام المكثفات لاستيعاب الأحمال التى تتطلب امتصاص قدرة غير فعالة كبيرة من الشبكة. وتعمل المكثفات الموصلة بالشبكة على إمداد الأحمال ذات معامل القدرة المتأخر (Lagging power factor) بقدرة غير فعالة سعوية، مما يقلل الطلب على القدرة غير الفعالة الحثية من شبكة التغذية.

يقتصر مجال هذا الباب على استيعاب القدرة غير الفعالة للأحمال الخطية النمطية التى توصل بشبكة قدرة مثالية خالية من التشوهات التوافقية (Harmonic distortion) التى تنتج عادة عن الأحمال الأخرى غير الخطية (Non-linear loads). ورغم عدم وجود مثل هذه الشبكات المثالية فى الوقت الحالى بسبب كثرة استخدام مغيرات القدرة الإلكترونية (Electronic power converters) فى معدات التحريك الكهربى ذات السرعات المتغيرة، وكذلك بسبب المعدات الأخرى المولدة للتوافقيات، إلا أنه يمكن بصورة أفضل فهم أساسيات تحسين معامل القدرة والمتمثلة فى استخدام المكثفات لاستيعاب القدرة غير الفعالة، وذلك عند شرح الاستخدامات تحت الظروف المثالية. ويمكن بعد ذلك تناول المشاكل التى تطرأ على النظام بسبب عدم خطية مغيرات القدرة الاستاتيكية، وذلك استنادا إلى الإطار العام الخاص بتحليل النظم المثالية (يتم الرجوع إلى كود الأنظمة الخاصة- المجلد السابع: التوافقيات).

٢/٣ طرق استيعاب القدرة غير الفعالة Reactive power compensation methods

١- يجب العمل على إيقاف الانخفاض فى معامل القدرة فى مرحلة تصميم شبكة التغذية للمصنع أو للمنشأة و ذلك بالاختيار الدقيق للمعدات وكيفية توصيل الأحمال وذلك لتقويم الطلب على مركبة التيار غير الفعالة المرتبطة بالحمل ذاته وبهدف تحديد كيفية تقليله إلى الحد الأدنى.

٢- يؤدى تشغيل المحركات الحثية والمحولات عند حمل جزئى على سبيل المثال إلى خفض قيمة معامل القدرة، وتتغير المركبة المولدة للقدرة والخاصة بتيار التغذية تقريبا وبشكل مباشر (طرديا) مع الحمل، بينما تقل مركبة تيار المغنطة التى تمثل جزءا لا يستهان به إذا تم تخفيض الحمل.

٣- يؤدى تحميل المحرك الحثى أو المحول تحميلا جزئيا إلى ارتفاع القدرة الظاهرية بالنسبة إلى القدرة الفعالة، مما يترتب علية انخفاض فى معامل القدرة.

٤- يعد تحديد سعة المحركات والمحولات بشكل جيد أحد أهم العوامل فى تحسين معامل القدرة فى شبكات تغذيتها.

٥- يعتبر من الممارسات العملية غير الموفقة تشغيل المحرك الحثى أو أية معدة من المعدات الأخرى فى الوقت الذى لا تحتاجه العمليات، وعليه فإن الهدف الأساسى هو خفض الطلب على القدرة الظاهرية الإجمالية (Total apparent power) للحمل أو لمجموعة الأحمال عند نقطة التوصيل المختارة من شبكة التغذية بالقدرة الكهربائية.

٦- يمكن تجميع أحمال مختارة فى مجموعات، وعلى نحو يسمح لأحد الأحمال بتوفير احتياجات القدرة غير الفعالة للأحمال الأخرى الموصلة بالقرب منها، فعلى سبيل المثال، يتم تصميم أنفاق الرياح (Wind tunnels) المستخدمة فى اختبارات الهيدروديناميكا بحيث تكون فى العادة مزودة بعدة مراوح (Fans) تدار بواسطة محركات حثية، على أن يتم تشغيل مروحة واحدة على الأقل بمحرك متزامن (synchronous motor) يعمل بمعامل قدرة متقدم Leading power (factor) وذلك بزيادة تيار الأقطاب (Over excited) وبهدف استيعاب المركبات غير الفعالة لباقى المحركات فى النظام.

٧- يعيب المحركات المتزامنة المستخدمة لتحسين معامل القدرة الفقد النسبى المرتفع فى الطاقة لكل فولت أمبير غير فعال (VAR) وارتفاع تكلفة الصيانة والضوضاء المصاحبة لتشغيلها وما شابه ذلك، إلا أنه بالرغم عن ذلك توفر الآتى :

أ- تقليل تلقائى ومستمر للقدرة غير الفعالة المولدة

ب-ثبات حرارى عالى عند وجود تيارات قصر فى الدائرة، الأمر الذى لا يتوفر فى حالة استخدام المكثفات

ج-قابلية وسهولة الإصلاح Reparability

٨- يوجد عموماً للآلات المتزامنة التى تعمل بمثابة مكثفات، مجالا واسعا للاستخدام فى محطات القوى الفرعية التى تغذى تجمعات رئيسية.

٩- تستخدم مرافق الكهرباء فى بعض الأحيان المولدات المتزامنة (Synchronous generators) الخاصة بها لتعمل بمثابة مكثفات، أما فى الوحدات الصناعية، فإن استخدام مجموعة مكثفات هو الأكثر شيوعا نظرا إلى انخفاض الفقد بها وسهولة تركيبها بالإضافة إلى رخص تكلفتها وسهولة صيانتها بسبب عدم وجود أجزاء متحركة بها.

١٠- يتم إنتاج المكثفات الخاصة بتحسين معامل القدرة بسعات مختلفة صغيرة القيمة لأسباب هندسية، إلا أنه يمكن تجميعها فى مجموعات لتعطى قدرات أكبر للحصول على السعة المناسبة والمطلوبة.

١١- تسمح مقدرة المكثفات على التضمين (Modulation) بالحصول على السعة المناسبة لمجموعة المكثفات المطلوبة، وكذلك إمكانية إضافة وحدات منها على التوازى بحسب الحاجة.

١٢- يوجد عند استخدام المكثفات بعض العيوب منها:

أ- انخفاض عمرها التشغيلى، حيث يبلغ فى المتوسط نحو ١٥ عاما

ب-ضعف المتانة، حيث يسهل حدوث الأعطال بها نتيجة للتيارات المندفعة عند بدء التغذية (Inrush current) مما يؤدى إلى حدوث قصر للدائرة

ج- حدوث ارتعاشات (Flickers) عالية فى الجهد

د- صعوبة إصلاحها (يكون إصلاح المكثفات المعطوبة فى العادة غير اقتصادى)

هـ- احتياجها إلى قواطع خاصة ذات حساسية معينة لمنع حدوث العطل بها بسبب الحمل المتأخر (Lagging load) أو بسبب معدات أخرى

١٣- يوصى على وجه الخصوص توخى الحذر عند استخدام المكثفات لتحسين معامل القدرة مع المحركات الحثية تجنبا لحدوث تعقيدات فنية وذلك فى الاستخدامات التالية:

أ- المحركات التى تتعرض لعكس الدوران (Reverse rotation) أو الإيقاف المفاجئ ((الزرجنة) (Plugging))

ب-المحركات التى يعاد بدء تشغيلها (Restarted) بينما لا تزال تدور (بالدفع الذاتى) مما يؤدى إلى حدوث جهود مرتدة كبيرة نتيجة لذلك

ج- محركات الأوناش والمصاعد عندما يقوم الحمل أثناء تحركه فى بعض الأحيان بإدارة المحرك مسببا تغذية عكسية (Reverse feeding) فى الشبكة

د-المحركات متعددة السرعات Multi-speed motors

هـ-بادئات تشغيل المحركات وذلك بتوصيل ملفاتها على هيئة ستار / دلتا (Y / Δ) والتى تعمل عند جهد منخفض وذات تحويل انتقالى مفتوح الدائرة (Open-transition) وفى وجود مكثفات، إذ يجب عندئذ توصيل المكثفات فى الدائرة على جهة الخط بالنسبة للملامسات المستخدمة فى عملية الانتقال المفتوح بهدف تغيير الجهد أو السرعة.

١٤- يوصى باستخدام المحركات المتزامنة فى حالة التطبيقات الصناعية عموما، إلا أن استخدام المكثفات الثابتة بدلا منها يكون أكثر مناسبة.

٣/٣ مواصفات المكثفات Capacitor specifications

١- ينبغى توصيف مكونات الدائرة اللازمة لتحسين معامل القدرة بمجرد تحديد استراتيجية الاستيعاب الأمثل للقدرة غير الفعالة، وعلى وجه التحديد المكثفات.

٢- يجب أن تكون المكثفات قادرة على التشغيل المستمر.

٣- يتم اختيار جهد المكثفات بزيادة بنسبة ١١٠% من القيمة المتوسطة للجهد المقنن مقدراً على أساس قيمة الجهد الفعال، وذلك بفرض أن جهد الذروة، شاملا كل التوافقيات باستثناء التوافقيات العابرة (Transient harmonics)، لن يتجاوز ($\sqrt{2}$) مضروبا فى تلك القيمة المتوسطة.

٤- يتم تقدير قدرة المكثف على أساس أقصى درجة حرارة للجو المحيط به وبافتراض السماح بتسرب الحرارة منه بالإشعاع وتيارات الحمل. وتؤثر ظروف التركيب وكيفية توزيع وتثبيت المكثفات بشكل ملحوظ على تسرب الحرارة منها وبالتالى على حدود درجات الحرارة التى قد تعمل فيها، لذلك فمن الضرورى توفير تهوية جيدة للحفاظ على درجة حرارة الجو المحيط بلوحة تحسين معامل القدرة.

٥- تتعرض المكثفات المركبة خارج المبنى لارتفاع أقل فى درجات الحرارة مقارنة بمثيلتها التى تعمل داخل المبنى وذلك نظرا لوجود التهوية الجيدة.

٦- تقل أعمار المكثفات عموماً عند تعرضها لاجهادات زائدة، أو تغيير كيميائى، أو عطب فيزيائى، أو تغيرات متكررة فى درجات الحرارة.

٧- يحظر أن يحتوى السائل العازل فى المكثفات على مادة ثنائى الفنيل متعدد الكلورة (Polychlorinated Biphenyl (PCB))الممنوع استخدامها دوليا.

٨- يجب كتابة البيانات التالية على لوحة بيانات المكثف:

أ- اسم جهة التصنيع

ب- الرقم المسلسل

ج- النوع والنموذج والطراز الخاص بجهة التصنيع

د- سنة الصنع

هـ- القدرة غير الفعالة

و- الجهد المقنن (قيمة فعالة)

ز- نوع التوصيل

ح- التردد

ط- المنسوب الأساسى لتحمل العزل للجهد ((Basic Impulse level (BIL)

ى- نص يفيد عما إذا كان سائل العزل فى المكثف قابل أو غير قابل للاشتعال، وفى حالة قابليته للاشتعال، يجب توضيح كميته باللتر أو بالجالون

ك- النص على ما إذا كان المكثف يحتوى على وسيلة داخلية للتفريغ

ل- يجب أن تكون رؤية أية علامة إضافية أو ملصقات ميسرة للواقف على منسوب الأرضية

م- يجب كتابة المعلومات المتعلقة بأمان الأشخاص أو المعدات بطريقة واضحة، إما على لوحة البيان الملصقة على وعاء المكثف، أو على صحيفة التعليمات المرفقة معة

ذ- يجب الرجوع إلى المواصفات القياسية المحلية و الدولية لمعرفة أية متطلبات متعلقة بالنواحى الفنية أو بالأمان

٩- يتم بيان الاعتبارات الأخرى المتعلقة بالمواصفات وخصائص التشغيل وهى كالتالى :

- **قدرة المكثف منفردا (Individual capacitor rating):**

أ- يوجد عادة عدد محدود من القدرات المتاحة للمكثفات المستخدمة فى الجهود المنخفضة ٢٤٠ ، ٦٠٠ فولت

ب- توجد بعض المكثفات بقدرات من ١ إلى ١٥ كيلو فار تغطى الاستخدامات الخاصة بالمحركات

ج- عندما يعمل المكثف عند تردد أقل من المعتاد، فإنه يتم تخفيض التيار والقدرة غير الفعالة بمقدار يتناسب مع تردد التشغيل

- **أقصى جهد Maximum voltage**

أ- تسبب المكثفات الموصلة على التوازى ارتفاعا فى الجهد عند نقاط توصيلها ولهذا يراعى أن هذه المكثفات قد تتعرض أثناء تشغيلها إلى جهد زائد مقارنة بالأنواع الأخرى من المعدات، وعليه تكون معدلات الجهد الخاصة بالمكثفات وكذلك الجهد الزائد المسموح بتشغيلها عنده، والتى تكون قيمها مكتوبة على لوحة البيانات، عادة أعلى من نظائرها الخاصة بالمحركات وبالمعدات الأخرى

ب- إذا تطلب الأمر تشغيل المكثفات عند جهود أعلى من المعتاد (يشمل ذلك تشغيلها فى وجود توافقيات)، فيجب الرجوع إلى منتج المكثفات لاستشارته بشأن الاستخدام المطلوب

- **الوقت اللازم للتفريغ Discharge time**

أ- تنص بعض المواصفات القياسية العالمية على تفريغ المكثفات عندما تصل قيمة الجهد المتبقى عليها (Residual voltage) إلى ٥٠ فولت أو أقل خلال دقيقة واحدة، وذلك للمكثفات التى تعمل عند جهد ٦٠٠ فولت أو أقل وخلال ٥ دقائق، إذا زاد جهد تشغيلها عن ٦٠٠ فولت، ويتم إجراء التفريغ فى المعتاد بواسطة مقاومات تفريغ داخلية

.(Built–in discharge resistors)

ب- لا يتطلب الأمر على أى حال استخدام المقاومات للتفريغ، عندما تكون المكثفات متصلة بصورة مباشرة (بدون وسائل لقطع التوصيل) بمسارات تفريغ أخرى غير المقاومات مثل توصيلها مع المحركات والمحولات.

- **تأثير التوافقيات Harmonic effects**

أ- عندما تكون قيمة جهد التشغيل قريبة من الجهد المقنن، فإنه يندر تعرض المكثفات للتحميل الزائد بفعل التوافقيات، ومع ذلك فإنه لا يمنع بالضرورة توافر هامش جهد كاف لاستيعاب تيارات وجهود التوافقيات التى قد تتعرض لها المكثفات

ب- ينتج عن تركيب وحدات تحسين معامل القدرة فى الدوائر التى بها توافقيات تقليل العمر الافتراضى لوحدات تحسين معامل القدرة، ولتلافى الآثار المترتبة على ذلك، يتم تركيب ملف على التوالى مع كل وحدة مكثف

- **زيادة تيار الحمل Overload current**

أ- قبل تركيب وحدات تحسين معامل القدرة، لا بد من الأخذ فى الاعتبار فحص وتقدير ظروف المكان المراد تركيب وحدات تحسين معامل القدرة به.

ب- يجب ألا تعمل المكثفات عند تيار أكبر من القيمة المحددة فى المواصفات الكهروتقنية الدولية IEC 60831-1 أو IEC 60931-1 .

ج- عند تصميم المكثف يجب تقليل تأثير التيار العابر ذو القيمة العالية والتردد العالى الذى ينتج عند تشغيل وحدة مكثف على التوازى مع وحدة أخرى وذلك بوضع مقاومة أو ملف فى دائرة المكثف.

ويتم حساب قيمة التيار والتردد طبقا للمعادلات الآتية:

$$I_s = \sqrt{2} \quad V / \sqrt{X_l \times X_c} \qquad (3/1)$$

$$f_s = f_N \quad \sqrt{X_c / X_l} \qquad (3/2)$$

حيث:

V : جهد الطور بالفولت

X_l : المعاوقة الحثية لكل طور بالأوم

X_c : المعاوقة السعوية لكل طور بالأوم

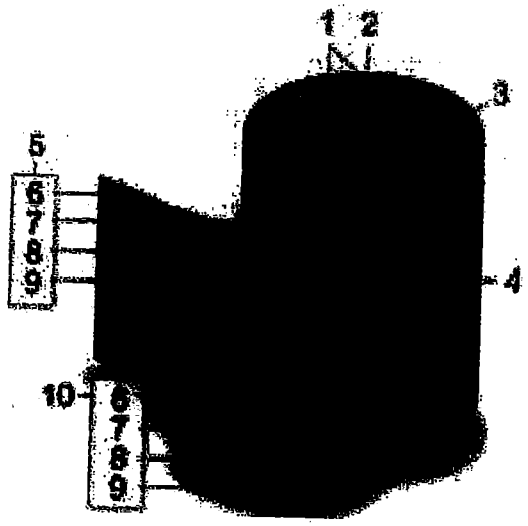
f_s : تردد تيار التدفق بالهرتز

f_N : التردد بالهرتز

٣/٤ تصميم المكثفات وتحديد قدرتها

٣/٤-١ تصميم المكثفات

١- يتكون مكثف القدرة فى أبسط صورة، من قطبين من مادة موصلة على شكل لوحين متوازيين تفصلهما مادة عازلة كهربائية (Dielectric). أما فى الواقع العملى، فيكون بناء المكثفات على شكل لفائف أسطوانية (Capacitor rolls)، مكونة فى المعتاد من تجميعه من المادة العازلة المحاطة بقطبين، ويوضح الشكل رقم (١/٣) مكونات المكثف.



شكل (١/٣) : مكونات المكثف

يتكون المكثف طبقا للشكل السابق من الأجزاء التالية:

١. أطراف المكثف
٢. فتحة تهوية وأمان
٣. عازل
٤ . حاوية من الألومنيوم
٥. القطب الموجب
٦. فاصل
٧. عمود من الكربون
٨. مجمع
٩. عمود من الكربون
١٠. القطب السالب

٢- يسمح هذا التصميم باحتواء كمية كبيرة من المادة فى حيز صغير ومن ثم يتم وضع هذه المجموعة داخل وعاء واحد.

٣- تتكون لفائف المكثف من طبقات تبادلية من المادة العازلة ومن مادة القطبين التى يجرى لفها بواسطة معدات آلية عالية السرعة، وتصنع الأقطاب الموصلة عادة من رقائق من الألومنيوم عالى النقاء أو من طبقة معدنية مرشوشة على المادة العازلة (Metal spray).

٤- يتكون نظام العزل الكهربائى من أغشية الورق أو من البلاستيك (مادة البولى بروبلين (Polypropylene)) مع سائل تشريب متوافق معها.

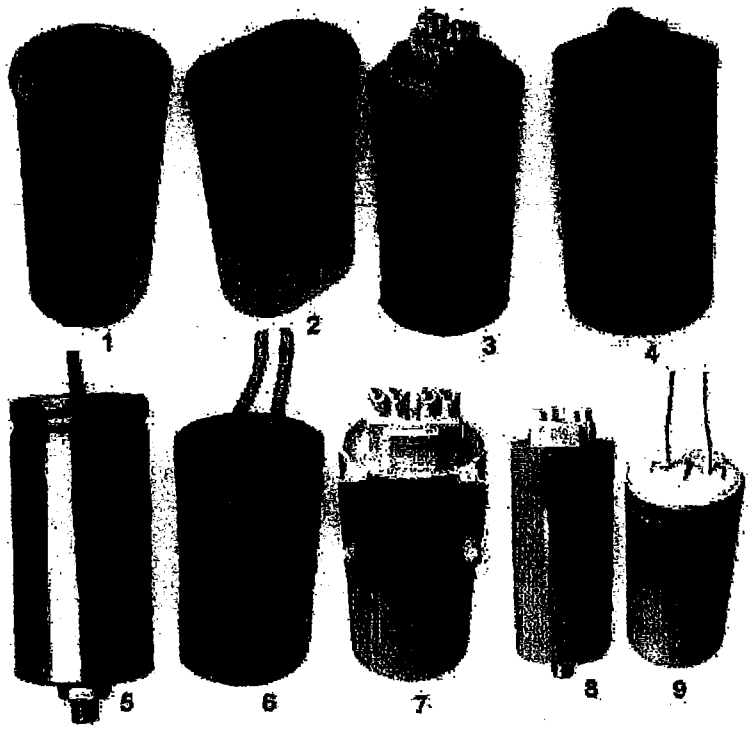
٥- تتشرب المواد العازلة فى السوائل على نحو يمنع وجود أى فجوات (Voids) هوائية داخل مادة المكثف العازلة، حيث يعد هذا الأمر بالغ الأهمية بالنسبة لأداء المكثفات، لأن وجود الفراغات الداخلية ينتج عنه تفريغات داخلية كهربائية (Internal discharges) تؤدى إلى حدوث الانهيار المبكر للمكثف.

٦- يمكن عن طريق التصميم السابق تجميع كل مكثفين مع بعضهما ويكونا متظاهرين (ظهرهما كل للآخر (Back–to–back)).

٧- يتم احتواء المكثفات عادة فى أوعية معدنية متينة حيث تبرز أطراف التوصيل منها إلى الخارج لتسهيل توصيلها بالدائرة.

٨- يبين الشكل رقم (٢/٣) مثالا لأشكال المكثفات.

٩- من المهم بصفة خاصة تحديد نوع المكثف المستخدم فى تحسين معامل القدرة، إذ يجب أن يكون عنصر المكثف موثوق به إلى درجة كبيرة (Highly reliable) وأن يتميز بطول العمر للحصول على الفوائد القصوى من الاستثمار الرأسمالى المطلوب.



شكل (٢/٣) : مثال لأشكال المكثفات

١٠- من الموصى به توفر الخصائص التالية فى مكثفات القدرة:

أ- فقد منخفض

يجب أن يكون الفقد من عنصر المكثف فى حدود ١,٥ وات /كيلو فار (ينتج هذا الفقد بسبب مقاومة مادة العزل الكهربائى، I^2R)، ويؤدى تخفيض الفقد إلى تقليل التكلفة الجارية لمعدات المكثفات، وتخفيض ارتفاع درجة الحرارة داخل المكثف.

ب-غشاء ممعدن عالى الجودة

يساعد الاقتصار على استخدام أغشية معدنية بأعلى جودة ممكنة فى تصنيع مكثفات، على تحسين درجة الوثوق فى نظام تحسين معامل القدرة.

وفيما يلى تعريف ومزايا الغشاء الممعدن:

ب-١ الغشاء الممعدن Metalized-film element

يتكون الغشاء الممعدن من طبقة من بعض المواد الموصلة وتكون ميكروسكوبية رقيقة (ويطلق على هذه الطبقة، قطب المكثف)، ويكون هذا الغشاء عادة من الألومنيوم أو الزنك فوق طبقة تحتية من غشاء عازل، ويبلغ فى المتوسط سمك القطب ٠,٠١ ميكرون، بينما يتراوح سمك غشاء العزل (البولى بروبلين Polypropylene) بين (٥ - ١٠) ميكرون بحسب تصميم المكثف (كلما ارتفعت قيمة الجهود، كلما زاد سمك العزل).

تتكون بذلك طبقتان من الأقطاب تفصلهما طبقة واحدة من الغشاء العازل ويجرى لف هذه الطبقات برفق حول قلب (Core) على نحو تكون فيه حافة أحد الأقطاب مكشوفة عند أحد جانبى العنصر والحافة الأخرى مكشوفة عند الجانب الآخر، وكما يتضح ذلك من الشكل رقم (٣/٣)، ويتم لحام سلك التوصيل على كل من الجانبين، ثم يوضع العنصر بعد ذلك فى وعاء مع خروج السلكين من أعلى ويملأ حوله بمادة حبك واقية صلدة.

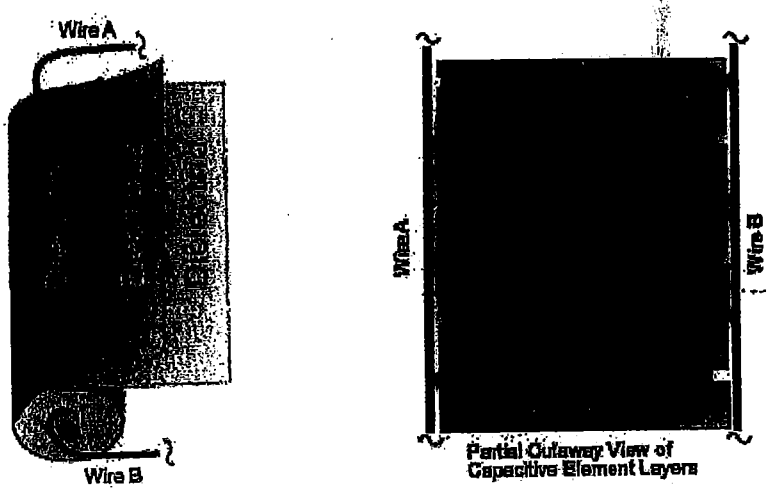
ب-٢ مزايا عناصر الغشاء الممعدن

تتمتع عناصر الغشاء الممعدن بالميزات التالية:

١- يسمح التصميم بالالتئام الذاتى (Self-healing design)

يجب تصميم عناصر المكثفات على نحو يسمح لها بالالتئام التلقائى لرأب التصدعات الصغيرة التى تنتج عن الجهود الزائدة المؤقتة والجهود الزائدة العابرة.

٢- المقصود بالالتئام الذاتى هو عملية تبخر مادة المعدن المكون للقطب حول موضع العطب حتى يزول العطب وذلك عند حدوث قصر فى الدائرة بين القطبين ويمكن للعنصر فى هذه الحالة مواصلة العمل دون خسارة تذكر فى أدائه.



شكل (٣/٣): عنصر الغشاء الممعدن

نظرا لكفاءة العزل الكهربائى العالية للغشاء العازل بين الطبقات الممعدنة، فإن الفقد الداخلى يكون بالغ الانخفاض (Low internal losses)، وعند مقارنة الغشاء الممعدن بالأنواع التقليدية الأخرى غير الممعدنة، نجد أن الفقد فى المكثفات التقليدية ثلاثية الأطوار يعادل فى المتوسط ٢,٥ وات/ ك. فار، بينما لا يتعدى إجمالى الفقد ٠,٥ وات/ ك. فار فى الأغشية الممعدنة، بما فى ذلك الفقد الذى يحدث فى مقاومات التفريغ.

٣- نظرا للرقة الميكروسكوبية لكل من الأقطاب والعازل الكهربائى، فإن عناصر الغشاء الممعدن تكون صغيرة ومضغوطة الحجم (Small element size) مما ييسر تصنيع مكثفات أكبر قدرة.

٤- تتناسب قيمة المواسعة الناتجة (Capacitive output) لعنصر المكثف طردياً مع مساحة سطح الأقطاب وعكسيا مع مساحات الغشاء الفاصل بين هذه الأقطاب أو بعبارة أخرى، فإنه إذا أمكن تخفيض مساحة الفصل بين السطحين الموصلين إلى النصف، فإن المواسعة الفعالة تتضاعف بالإضافة إلى تخفيض الحجم الطبيعى للعنصر إلى النصف.

٥- معلومات عن العناصر ذاتية الالتئام:-

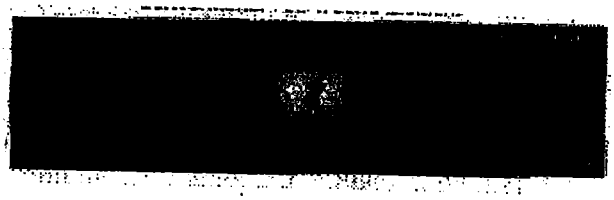
أ-يوجد عنصر أو أكثر من عناصر الالتئام الذاتى للمكثف يجرى تركيبه على كل طور، وتكون هذه الوحدات موصلة على التوازى بكل طور ويتم عادة توصيل أفرع الأطوار الثلاثة على هيئة دلتا Δ

ب- يتم فى حالة خرق العزل الكهربائى (Dielectric breakdown) علاج العطب عن طريق تبخير الطبقة الممعدنة حول المنطقة التالفة دون خسارة تذكر فى المواسعة (Capacitance) ويمكن بذلك الاستمرار فى تشغيل المكثف

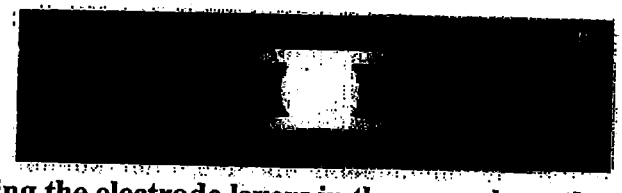
٦- تنفرد المكثفات ذات الغشاء الممعدن بخاصية الالتئام الذاتى عن باقى المكثفات، فعندما تتعرض جميع المكثفات للتأثيرات المتراكمة والتى منها ارتفاع درجة الحرارة والإجهاد الناتج عن الجهد والمجال الكهروستاتيكى نتيجة للشوائب الموجودة فى مادة العزل، فإن ذلك يؤدى فى النهاية إلى خرق العزل.

٧- قد يحدث فى المكثفات العادية غير الممعدنة قصر فى دائرة الأقطاب يؤدى إلى توقفها عن إنتاج القدرة غير الفعالة، بينما نجد فى المكثف ذى الغشاء الممعدن وعند حدوث خرق فى مناطق من العزل أن ذلك لا يعنى توقف المكثف عن العمل.

٨- تكون الأقطاب فى مكثفات الغشاء الممعدن عادة رقيقة للغاية مما يتحتم معه من حين لآخر حدوث قصر فى الدائرة نتيجة للعطب فى المادة العازلة الكهربائية وعندئذ تتبخر هذه الأقطاب الرقيقة حول موضع العطب ويستمر حدوث التبخر حتى يتم حدوث انفصال كاف بين القطبين المعطوبين بالقدر الذى يقاومان فيه قيمة الجهد الناتجة عن العطب، وتتضح عملية الالتئام الذاتى فى الأغشية الممعدنة من الشكل رقم (٤/٣).



Two electrodes short circulating through a fault in a dielectric layer



Self-healing the electrode layers in the area where they were short circulating have been vaporized there by eliminating the short circuit

شكل (٤/٣) : عنصر المكثف ذاتى الالتئام

٩- لا تستغرق عملية الالتئام الذاتى بأكملها أكثر من بضع ثوان وتكون كمية مادة القطب المفقودة أثنائها قليلة وبالقدر الذى يمكن إهماله، إذا ما قورنت بالمساحة الكلية للعنصر. ونتيجة لذلك يمكن للمكثف ذى الغشاء الممعدن أن يلتئم ذاتيا مئات المرات أثناء عمره الطويل ويظل محتفظاً بقدرته الكاملة.

ج- استخدام مقاومة تفريغ مستقلة Individual discharge resistor

تختزن عناصر المكثفات قدرة كهربائية استاتيكية مثلها مثل البطاريات ويظل المكثف محتفظا بكامل شحنته تقريبا حتى وإن لم يكن متصلاً بمصدر شاحن يحافظ عليها، وتشكل هذه الخاصية خطورة كبيرة على بعض العاملين بالمصنع المناط بهم فحص أسلاك توصيل أطراف المكثفات، لذلك يتم اتباع الآتى:

١- يجب توصيل مقاومات تفريغ بين جميع أطراف التوصيل حتى تقوم هذه المقاومات بتفريغ الشحنات المختزنة على عناصر المكثفات

٢- يوصى بضرورة قصر دوائر أطراف المكثفات قبل الشروع فى لمس هذه الأطراف عند تجميع عناصر المكثفات معا فى مجموعات لتكوين مراحل على سبيل المثال تتكون من ٢٥ أو ٥٠ ك. فار، فيؤدى وجود مقاومة مستقلة مع كل مكثف حتى فى حالة حدوث انهيار لمقاومة تفريغ واحدة أو أكثر، إلى ضمان استمرار بقية وحدات المكثفات فى تفريغ شحنات المكثفات ذات المقاومات المعطوبة.

د- الفصل عند ارتفاع الضغط داخل وعاء المكثف Overpressure disconnect

يجب أن يشتمل كل عنصر مكثف بشكل مستقل على أداة فصل عند زيادة الضغط داخل الوعاء، وعلى نحو يخرج العنصر من الخدمة فى حالة احتمال تعرض الغشاء الذى يكون قطبى المكثف لانهيار، وبالقدر الذى يتعذر تداركه عن طريق الالتئام الذاتى المتاح للعنصر.

هـ-التشرب بالزيت Oil impregnated

يؤدى تشريب العازل الصلب بالمكثف بالزيت إلى زيادة استقرار العزل الكهربائى وزيادة العمر المتوقع للمكثف، ويضمن إطفاء الشرر الذى يتولد تحت طبقة الزيت أثناء تشغيل أدوات الفصل عند زيادة الضغط. كما يجب اتخاذ إجراءات أمان بيئية خاصة عند استخدام العديد من زيوت تشريب المكثفات بسبب سميتها وقد أصبحت هذه التقنية قليلة الاستخدام بسبب أضرارها للبيئة.

٣/٤-٢ تحديد قدرة المكثفات

١- تكون الخطوة الأولى فى تحديد قدرة المكثف المثلى والتصميم الأمثل للتركيبات هى إيجاد العلاقة بين قدرة المكثفات المركبة (فار) والتحسن الناتج فى معامل القدرة.

٢- يتم اختيار قدرة المكثفات بزيادة بنسبة ١٣٥% من القدرة غير الفعالة المكتوبة على لوحة بيانات المكثف (Nameplate) والتى تشمل القدرة غير الفعالة الإضافية المصاحبة للجهد الزائد عن المكتوب على لوحة التوصيف عند التردد الأساسى، بشرط أن تكون فى الحدود المسموح بها لتردد الجهد ولجهود التوافقيات وتفاوت التصنيع (Manufacturing tolerance).

٣- تستخدم غالبا قواعد تقريبية سريعة (Rules of thumb) للمساعدة فى اختيار قدرات المكثفات المناسبة على النحو التالى:

أ- يجب أن تكون قدرة المكثف غير الفعالة (فار) على الأقل هى القدرة النمطية التالية المتاحة للمكثف ومساوية لقدرة المحرك الظاهرية (ف.أ.) فى حالة عدم التحميل (No-load)

ب- يجب توصيل المكثف المستخدم مع المحركات وتطبق هذه القاعدة بدءا بالمحرك الأكبر قدرة وفى اتجاه الأصغر حتى الوصول إلى محرك ذى قدرة يمكن اعتبارها الحد الأدنى استنادا إلى الخبرة المكتسبة عن المصانع أو الأحمال المماثلة، وبتفصيل أكثر، يمكن اختيار المكثفات أخذا فى الاعتبار عدد لفات المحرك فى الدقيقة (RPM)

ج- يوضح الجدول رقم (١/٣) قدرات خرج مجموعة المكثفات الملائمة طبقاً لقدرات المحركات المختلفة وحسب قيم عدد لفات المحرك فى الدقيقة

د- يوصى كطريقة بديلة بوضع المكثفات على المحركات الأكبر قدرة على أن تكون سعة هذه المكثفات مكافئة لنصف قيمة القدرة الظاهرية (ف.أ.) لحمل هذه المحركات، وعلى ألا توضع أى مكثفات على المحركات ذات الأحمال الأصغر

هـ-يكون من المعتاد اختيار قدرة المكثفات اللازمة لمعادلة قدرة المحرك غير الفعالة على أساس حالة عدم التحميل

و- يجب عندما يتم تحسين معامل القدرة لمحول باستخدام وحدة مكثفات ثابتة القيمة، التأكد من ألا يحدث تجاوز فى الاستيعاب (Over compensation) فى حالات التحميل الجزئى

ز- توجد قاعدة عملية أخرى خاصة بالاستخدامات الصناعية تنص على أن قدرة مجموعة المكثفات غير الفعالة يجب ألا تزيد عن ثلثى قدرة المحول الظاهرية (ك.ف.أ.)

ح- إذا تطلب الأمر زيادة عدد المكثفات عن الوحدة الثابتة، فيجب توصيل باقى المكثفات تلقائياً (Automatically switched) وحسب قيمة معامل القدرة

جدول (١/٣): قدرة مجموعة المكثفات حسب قدرة المحرك والسرعة

قدرة المحرك (ك. وات)	قيمة القدرة غير الفعالة (ك.فار) المطلوبة حسب عدد لفات المحرك فى الدقيقة (لفة/ د.)			
	٣٠٠٠ لفة/ د	١٥٠٠ لفة/ د	١٠٠٠ لفة/ د	٧٥٠ لفة/ د
١١	٢,٥	٢,٥	٢,٥	٥
١٨	٥	٥	٧,٥	٧,٥
٣٠	٥	٧,٥	١٠	١٠
٤٥	١٠	١٥	١٥	١٥
٧٥	١٥	٢٠	٢٥	٢٥
١١٠	٢٥	٣٠	٣٠	٤٠
١٦٠	٣٥	٤٠	٤٠	٥٠
٢٠٠	٤٠	٥٠	٥٠	٦٠
٢٥٠	٥٠	٥٥	٦٠	٧٠

ط- رغم ما تتيحه قواعد (التقدير السريع) من بعض التوجيه الخاص باختيار قدرة المكثفات المطلوبة لتحسين معامل القدرة، إلا أنه قد ينتج عن الاقتصار على استخدامها تركيب مكثفات بقدرات أقل من الحالة المثلى

ى- توجد عدة طرق أخرى لتحديد القدرة غير الفعالة للمكثف والمواسعة، مثل استخدام الجداول (أنظر الجدول رقم (م١/٣)) أو النورموجرامات (Nomograms) (أنظر الأشكال أرقام (م١/١)، (م١/٢)) بالملحق رقم (م١))، وبغض النظر عن الطريقة المختارة، فإنه من الضرورى توافر ثلاث نوعيات من المعلومات:

١- معامل القدرة الحالى

لتحديد هذا المعامل، يجب قياسه بالنسبة للمنشأة، أو للحمل موضع الاعتبار تحت ظروف تحميل مختلفة. وفى حالة مراعاة التحفظ فى تحديد قدرة المكثفات، يمكن اتخاذ قيمة أقل معامل قدرة حدثت فى العام السابق كأساس للحساب.

٢- منحنى الحمل

يجب معرفة منحنى الحمل لكل من القدرة الفعالة (وات) والقدرة غير الفعالة (فار) للشبكة أو للمعدات المطلوب تحسين معامل القدرة لها. ويمكن الاستفادة من هذه المعلومات فى استخراج معاملات تباين الحمل (Load diversity factor)، وهى أيضا ذات أهمية خاصة فى عمل تقويم للاستيعاب الشامل (Overall compensation) أو الاستيعاب على مستوى المجموعة (Group compensation).

٣- معامل القدرة المستهدف Target power factor

يقوم مرفق الكهرباء فى مصر بفرض غرامة على المستهلك، إذا انخفض معامل القدرة لديه عن ٠,٩ ، ولدواعى الأمان يمكن استهداف معامل قدرة ٠,٩ أو إجراء الحساب على أساس حمل أكبر. ومن الأفضل جدولة معامل التصحيح (Correction factor) كما يتضح من الجدول رقم (م١/٣) الوارد فى الملحق رقم (م١)، وذلك لتجنب تعقيدات حساب ظلال الزوايا. وتجرى قراءة معامل القدرة الأصلى من العمود فى أقصى يسار الجدول. وبمعرفة معامل القدرة المركب قبل الاستيعاب، ومعامل القدرة المطلوب بعد الاستيعاب، يمكن استخدام الجدول فى الحصول على المعامل الذى يجب ضربه فى قيمة القدرة الفعالة (Active power) لتحديد القدرة غير الفعالة (Reactive power) لمجوعة المكثفات المطلوبة. ويمكن من خلال المعادلة رقم (٣-٣) الحصول على قيمة المكثف المطلوب باستخدام معامل التصحيح (K) الوارد بالجدول رقم (م١/٣) فى الملحق رقم (م١).

$$\left\{\begin{array}{l} Q = P \times (\tan \phi_1 - \tan \phi_2) \\ = P \times \tan \delta \\ = K \times P \end{array}\right. \qquad (3-3)$$

٣/٤-٣ طرق توصيل المكثفات بالشبكات ثلاثية الأطوار

توجد فى المعتاد ثلاث طرق شائعة لتوصيل المكثفات بالشبكات ثلاثية الأطوار وهذه الطرق هى :

أ- توصيل على هيئة Y ذات نقطة تعادل يتم توصيلها بالأرض

ب- توصيل على هيئة Y ذات نقطة تعادل غير موصلة بالأرض

ج- توصيل على هيئة Δ

- يمكن بوجه عام استخدام مجموعات المكثفات غير الموصلة بالأرضى مع أى شبكة، أما بالنسبة لمجموعة المكثفات الموصلة على هيئة Y وذات نقطة تعادل موصلة إلى الأرض، فإنها مقصورة على الشبكات ذات التوصيل على هيئة Y والتى تتصل نقطة التعادل بها اتصالاً جيداً بالأرض.
- لا يوصى بوجه عام استخدام مجموعات المكثفات الموصلة على هيئة Y وذات نقطة تعادل متصلة بالأرض مع الشبكات غير المتصلة بالأرض أو المتصلة بها عن طريق مقاومة (Resistance grounded) أو عن طريق ملف حثى (Inductance grounded).
- يؤدى استخدام مجموعات المكثفات الموصلة على هيئة Y وذات نقطة تعادل متصلة بالأرض مع أى من الشبكات السابقة إلى تعرضها لجهود عالية فوق الحدود المسموح بها أو إلى مواجهة صعوبة التنسيق بين الوقاية المطلوبة للمكثفات وبين الوقاية المطلوبة للشبكة.

٥/٣ موقع تركيب المكثفات Location of capacitors

١- يتم تركيب مكثفات تحسين معامل القدرة فى معظم حالات التطبيقات الصناعية على شبكات التوزيع ذات الجهد المنخفض.

٢- لا بد أن تكون لوحة تحسين معامل القدرة وملحقاتها مرتبة بطريقة يسهل إجراء أعمال الصيانة واستبدال أى جزء منها وكذلك ترتيب الكابلات بين المكثفات.

٣- يجب تركيب مجموعات المكثفات (Capacitor banks) فى مواضع بعد أجهزة قياس الطاقة (العدادات) المركبة بواسطة شركة التوزيع داخل المصنع.

٤- هناك ثلاثة طرق لربط المكثفات على شبكة الجهد المنخفض:

أ- الربط المباشر (الثابت)

ب- الربط التلقائى

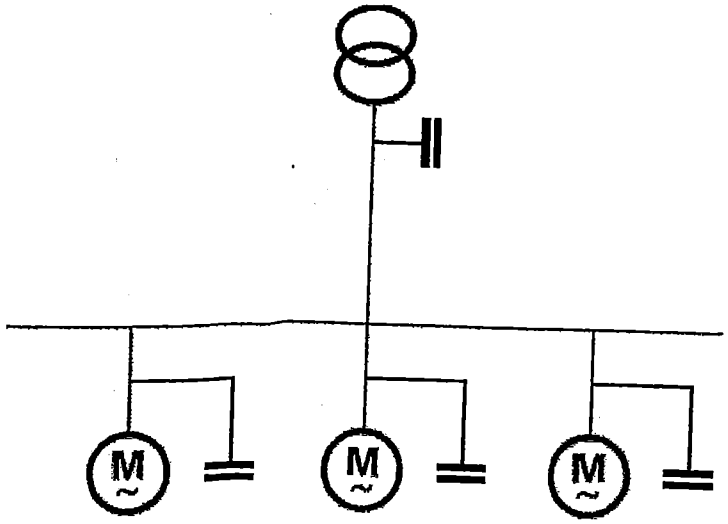
ج- الربط المختلط

وتعتبر تكلفة مجموعات المكثفات ونبائط الوصل والفصل ومعدات الوقاية المطلوبة من العوامل الأساسية لتفضيل طريقة على أخرى.

أ- الربط الثابت

فى هذه الطريقة يتم ربط المكثفات مباشرة على التوازى مع الحمل كل على حدة، وتستخدم هذه الطريقة لتعويض القدرة غير الفعالة للمحولات بلا حمل (No load reactive power) ، وللمحركات التى تعمل بشكل مستمر، وكذلك مع مصابيح التفريغ الكهربى.

ويوضح الشكل رقم (٥/٣) طريقة الربط الثابت للمكثفات مع الأحمال كل على حدة.



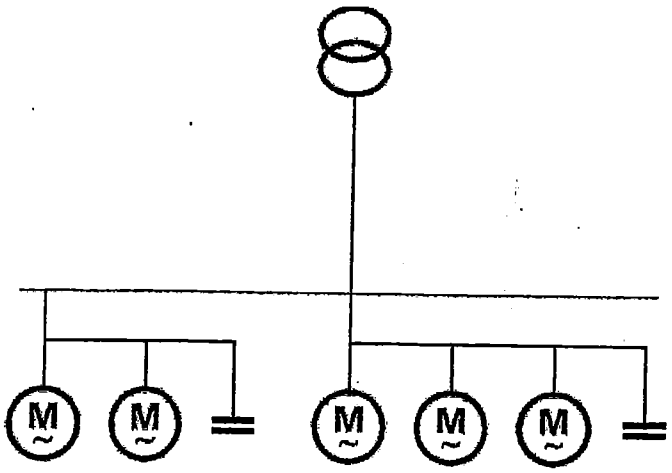
شكل (٣/٥): الربط الثابت للمكثفات مع الاحمال

وتتميز هذه الطريقة بأنها الأكثر فاعلية من حيث الموقع وذلك لأن القدرة غير الفعالة يتم توليدها فى نفس موقع استهلاكها وبذلك يقل الفقد فى خط التغذية ويقل الهبوط فى الجهد إلى الحد الأدنى، كما ينخفض التيار فى شبكة التوزيع مما يؤدى إلى خفض تكاليف توزيع القدرة.

بالإضافة إلى ذلك، فإنه لا يكون هناك احتياج إلى نبائط مستقلة بغرض التوصيل والفصل أو الوقاية حيث أنها تكون موجودة مع مكونات بادئ تشغيل المحرك أو مصباح التفريغ.

ويمكن ربط المكثفات على شكل مجموعات، (أنظر الشكل رقم (٦/٣))، ويجب أن تعمل كل مجموعة معا.

ومن مميزات هذه الطريقة التخلص من القدرة غير الفعالة قرب الحمل وقلة التكاليف.



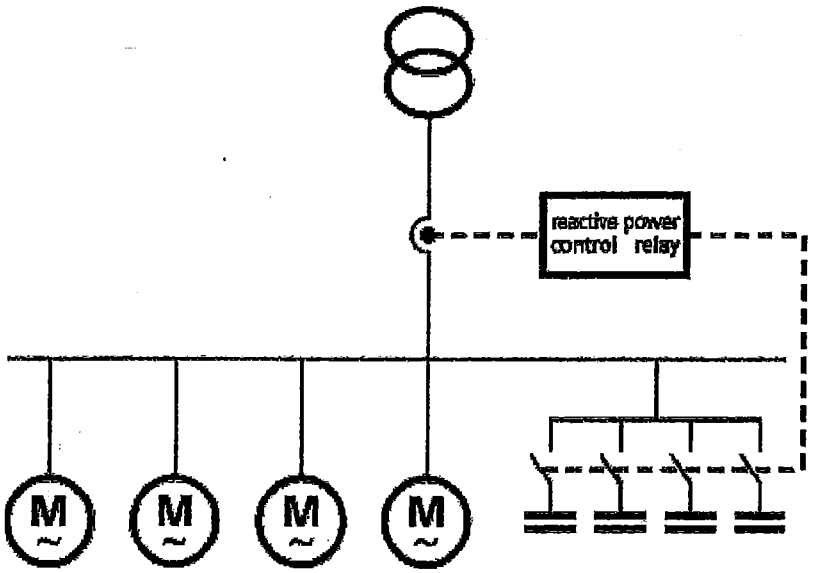
شكل (٦/٣): الربط الثابت للمكثفات مع الأحمال على شكل مجموعات

ب- الربط التلقائى

يتم فى هذه الحالة تركيب مجموعة المكثفات (Capacitor banks) كما تسمى هذه الطريقة الاستيعاب الشامل (Overall compensation) ويوجد لربط المكثفات (Automatic reactive power control relays) بحيث يغطى المطلب الكلى للقدرة غير الفعالة. ويتم توصيل المكثفات على مراحل وذلك من خلال ملامسات (Contactors) يتم التحكم فيها تلقائيا. وعند استخدام هذه الطريقة، يجب موائمة قدرة المكثف مع متطلبات القدرة غير الفعالة لمجموعة الأحمال مع مراعاة معامل التباين (Diversity factor) بين الأحمال.

وتعد هذه الطريقة هى الأكثر استعمالا وشيوعا، ومن مميزاتها سهولة المراقبة وإمكانية معرفة وضعية الملامسات وقيم التيار الفعال وغير الفعال وكذلك معامل القدرة، ويوجد منها أنواع جديدة ومتقدمة.

ويؤدى وجود موقع مركزى لمعدات تحسين معامل القدرة إلى سهولة فحص المعدات. ومن عيوب هذه الطريقة أنه لا يمكن إجراء أى تركيبات أو توسعات مستقبلية. ويوضح الشكل رقم (٧/٣) طريقة الربط التلقائى للمكثفات مع الأحمال.



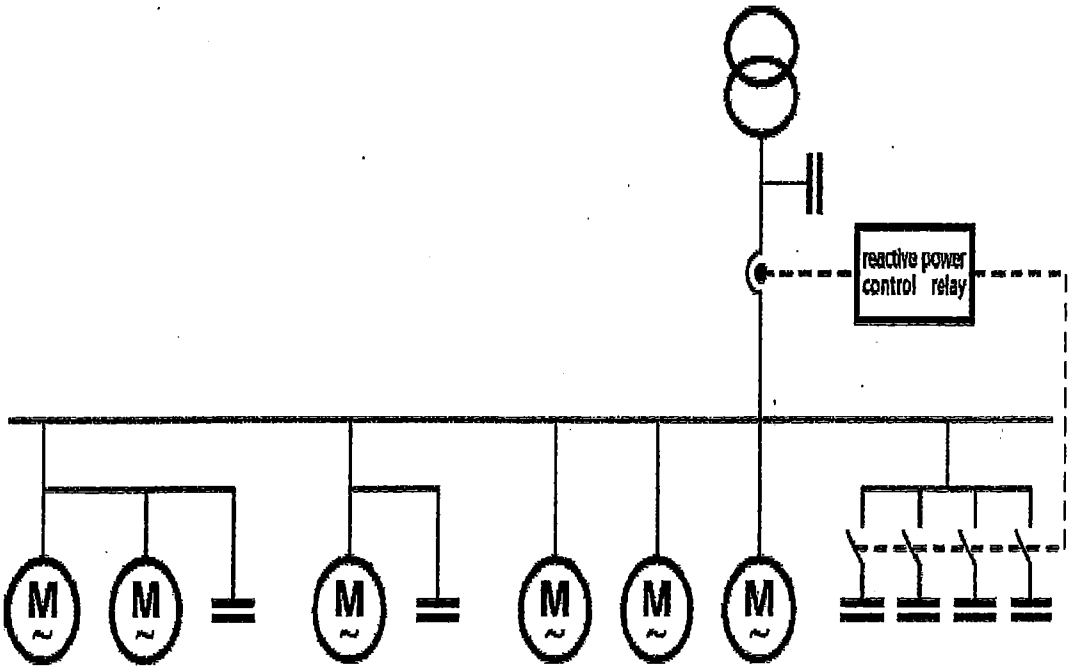
شكل (٣/٧): طريقة الربط التلقائى للمكثفات مع الأحمال

ج- الربط المختلط (التلقائى مع المباشر)

يتم فى هذه الطريقة استخدام كل من طريقة الربط الثابت وطريقة الربط التلقائى معا.

ومن مميزات هذه الطريقة أنها تقلل من قيمة المكثف وقدرته غير الفعالة بالنسبة للجزء الخاص بالربط التلقائى، كما أنه يمكن أن يقلل من عدد المراحل ومعدل التغيير للمراحل.

ويوضح الشكل رقم (٣/٨) طريقة الربط المختلط للمكثفات مع الأحمال.

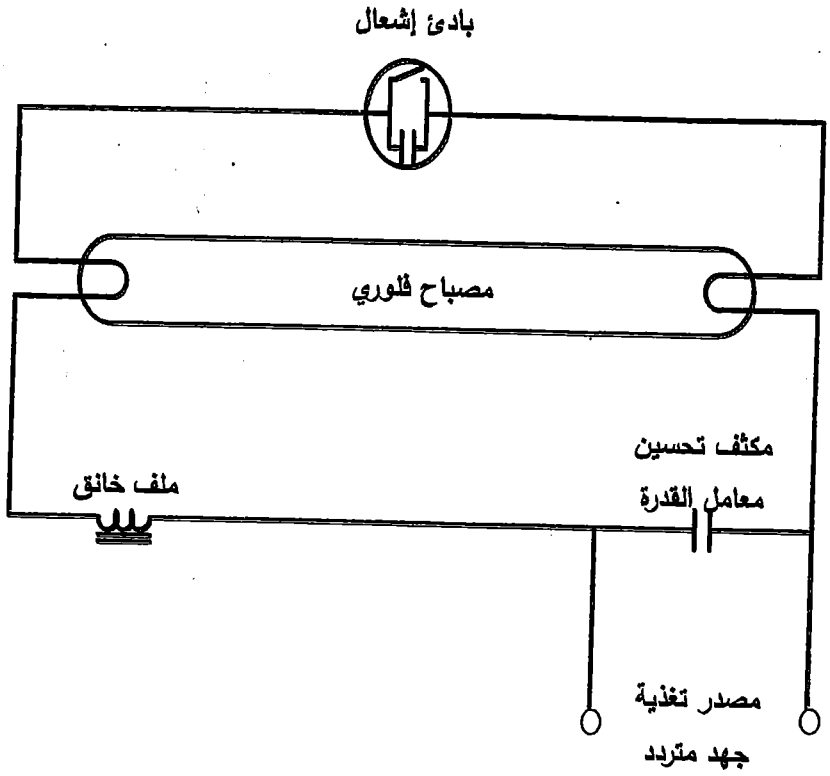


شكل (٨/٣): طريقة الربط المختلط

٥- توصيل مكثف على التوازى مع المصابيح الفلورية

أ- يكون معامل القدرة للمصابيح الفلورية عادة منخفضا، ولذلك يمكن استخدام مكثف على التوازى لتحسين معامل القدرة.

ب- عندما يستخدم مكثف سعته ٥ ميكروفاراد مع مصباح فلورى 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 ١٢٠سم قدرة ٤٠ وات، فيتحسن معامل القدرة من ٠,٤٨إلى ٠,٩٣ وتتغير قيمة التيار من ٠,٤٠٤ أمبير إلى ٠,٢٠١ أمبير.



شكل (٣/٩) : طريقة تركيب مكثف تحسين معامل القدرة لمصباح فلورى

وتوضح الجداول التالية قدرة المصابيح وقيم مكثفات تحسين معامل القدرة المناسبة لها.

جدول (٣/٢) : سعة مكثفات تحسين معامل القدرة للمصابيح الفلورية

مقنن قدرة المصباح (وات)	سعوية المكثف (ميكرو فاراد)
٤ – ١٦	٢,٥
١٨– ٢٠	٤,٥
٢٢	٥,٠
٢٥	٣,٥
٣٢	٥,٠
٣٦ – ٤٠(*)	٤,٥
٥٨– ٦٥	٧,٠

(*) الأنبوبة بطول ١٢٠سم

جدول (٣/٣) : سعة مكثفات تحسين معامل القدرة لمصابيح بخار الصوديوم منخفض الضغط بالتوصيل على التوازى

قدرة المصباح المقننة (وات)	سعة المكثف (ميكرو فراد)
٣٥	(٢٠)
٥٥	(٢٠)
٩٠	٢ × ١٣,٥ (٢٧)
١٣٥	٢ × ١٣,٥ (٢٧)
١٨٠	(١×٢٥) + (١×٢٠) (٤٥)

جدول (٤/٣) : سعة مكثفات تحسين معامل القدرة لمصابيح بخار الصوديوم عالى الضغط بالتوصيل على التوازى

مقنن قدرة المصباح (وات)	سعة المكثف (ميكرو فاراد)
٥٠	٨
٧٠	١٢
١٠٠	١٢
١٥٠	٢٠
٢٥٠	٣٢
٤٠٠	٥٠
١٠٠٠	١٠٠

٦/٣ الحسابات الخاصة بتحسين معامل القدرة

يمكن باستخدام مخطط اتجاه الأطوار(Phasor diagram) المبين فى الشكل رقم (٢/٢) بالباب الثانى الحصول على عدة تعبيرات رياضية بسيطة ومفيدة نوردها فيما يلى:

$$\left\{\begin{aligned}\cos\Phi &= \frac{active\ power(P)}{apparent power(S)} = \frac{W}{VA}\\ \sin\Phi &= \frac{reactive\ power(Q)}{apparent\ power(S)} = \frac{VAR}{VA}\\ \tan\Phi &= \frac{reactive\ power(Q)}{active\ power(P)} = \frac{VAR}{W}\end{aligned}\right\} \qquad (3-4)$$

حيث:

$\cos\Phi$: معامل القدرة

Φ : زاوية الإزاحة بين الجهد والتيار فى نفس الطور

S :القدرة الظاهرية (فولت أمبير)

P : القدرة الفعالة (وات)

Q : القدرة غير الفعالة (فار)

١- حيث أن مركبة القدرة الفعالة تظل عادة ثابتة، بينما تتغير كل من القدرة الظاهرية ومركبة القدرة غير الفعالة مع تغير معامل القدرة، لذا يكون من الأنسب استخدام التعبير الذى يشتمل على القدرة الفعالة، والذى يمكن كتابته على النحو التالى:

القدرة غير الفعالة (فار) = القدرة الفعالة (وات) × $\tan\phi$ (٣-٥)

هذا وتتحدد قيمة ظل الزاوية ($\tan\phi$) بحسب زاوية معامل القدرة ϕ .

٢- عند تحديد قدرة المكثف غير الفعالة اللازمة لتحسين معامل القدرة يكون ذلك على النحو التالى:

القدرة غير الفعالة عند معامل القدرة قبل التحسين =

القدرة الفعالة × $\tan\phi_1$ (٣-٦)

القدرة غير الفعالة عند معامل القدرة بعد التحسين =

القدرة الفعالة × $\tan\Phi_2$ (٣-٧)

حيث Φ_1 هى زاوية معامل القدرة قبل التحسين ، Φ_2 هى زاوية معامل القدرة المحسن، وعليه يمكن حساب قدرة المكثف اللازم لتحسين معامل القدرة من المعادلة الآتية:

القدرة غير الفعالة = القدرة الفعالة x $(\tan\Phi_1 - \tan\Phi_2)$ (٣-٨)

ويمكن لدواعى التبسيط كتابة $(\tan\Phi_1 - \tan\Phi_2)$ على الصورة $\tan\delta$ وعلية فان:

القدرة غير الفعالة = القدرة الفعالة x $\tan\delta$ (٣-٩)

٣- توجد أيضاً مجموعة أخرى من المعادلات المفيدة منها:

أ- معادلة لحساب المواسعة (Capacitance) من قيمة القدرة غير الفعالة ويمكن الحصول على قيمة المواسعة (C) من المعادلة الاتية:

$$C = \frac{VAR}{2\pi f V^2} \qquad (3-10)$$

حيث :

C : السعة بالفاراد

f : تردد مصدر التغذية بالهرتز

V : قيمة الجهد الفعال بالفولت

ب-حساب تيار المكثف فى الدائرة أحادية الطور (Single-phase) من العلاقة:

$$I_c = \frac{Q \ (VAR)}{V_{ph}} \qquad (3-11)$$

حيث :

I_c : تيار الطور بالأمبير

V_{ph} : الجهد بين الطور وخط التعادل بالفولت

ج- حساب تيار المكثف فى الدائرة ثلاثية الأطوار (Three -phase) من العلاقة:

$$I_c = \frac{Q \ (VAR)}{\sqrt{3}\, V_L} \qquad (3-12)$$

حيث:

I_c : تيار الطور بالأمبير

V_L : الجهد بين طورين بالفولت

د- قيمة الجهد الزائد عند أطراف المحول بسبب إضافة المكثف:

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{Q}{S} \qquad (3-13)$$

حيث :

ΔU : الجهد الزائد (فولت)

U : الجهد قبل توصيل المكثف (فولت)

S : قدرة قصر الدائرة عند مكان تركيب المكثف (MVA)

Q : قدرة المكثف (MVAR)

٤- تردد الرنين **Resonance frequency**

يكون المكثف فى حالة رنين بسبب التوافقيات طبقا للمعادلة التالية التى يكون فيها n عدد صحيح:

$$n = \sqrt{\frac{S}{Q}} \qquad (3-14)$$

حيث :

S : قدرة قصر الدائرة عند مكان تركيب المكثف (MVA)

Q : قدرة المكثف (MVAR)

n : عدد التوافقيات

٤- عند تصميم المكثف، يجب تقليل تأثير التيار الزائد العابر ذو التردد العالى الذى ينتج عند تشغيل مكثف واحد أو وحدة مكثف على التوازى مع وحدة أخرى وذلك بوضع مقاومة أو ملف فى دائرة المكثف. ويتم حساب قيمة التيار والتردد والمقاومة طبقا للآتى :

- فى حالة تشغيل مكثف واحد يتم حساب التيار من المعادلة الآتية:

$$I_s = I_N \sqrt{2S/Q} \qquad (3-15)$$

حيث:

I_s : القيمة القصوى لتيار المكثف (أمبير)

I_N : التيار المقنن للمكثف قيمة فعالة (أمبير)

S : قدرة قصر الدائرة عند مكان تركيب المكثف (MVA)

Q : قدرة المكثف (MVAR)

- يتم حساب التيار والتردد فى حالة تشغيل وحدة مكثف على التوازى مع وحدة أخرى من المعادلتين (٣-١)، (٣-٢)
- يتم تحديد قيمة مقاومة التفريغ سواء كانت أحادية الطور أو متعددة الأطوار من المعادلة الآتية:

$$R \leq t/[K C \ln (V_N \sqrt{2}/V_R)] \qquad (3-16)$$

حيث:

R : مقاومة التفريغ وتقاس بالميجا أوم

t : زمن التفريغ من القيمة($V_N \sqrt{2}$) حتى V_R بالثانية

C : السعوية المقننة لكل طور بالميكرو فاراد

V_N : الجهد المقنن بالفولت

V_R : الجهد المتبقى المسموح به بالفولت ويتم تحديد قيمتة طبقا للمواصفة الكهروتقنية العالمية IEC 60831-1

K : معامل يعتمد على طريقة توصيل المقاومة مع وحدة المكثف ويتم تحديد قيمتة طبقا للمواصفات الكهروتقنية العالمية IEC 60931-1 & IEC 60831-1

- القدرة غير الفعالة فى حالة التشغيل عند جهود مختلفة:

$$Actual\ VAR = Rated\ VAR\ x \left(\frac{Operating\ voltage}{Rated\ voltage} \right)^2 \qquad (3-17)$$

حيث:

Actual VAR : القيمة الحقيقة للقدرة غير الفعالة

Rated VAR : القيمة المقننة للقدرة غير الفعالة

٧/٣ تحديد درجة الحماية (IP)

عند تركيب لوحة معامل تحسين معامل القدرة بالقرب من لوحات التشغيل الرئيسية أو داخل غرف اللوحات الرئيسية يمكن أن تكون درجة حماية لوحة تحسين معامل القدرة IP20، وخلاف ذلك لابد أن يكون بتوصية من المصنع. وبالنسبة للوحات خارج المبانى فيجب ألا تقل درجة الحماية عن IP54 مع مراعاة التهوية المناسبة للوحات.

٨/٣ نبائط التوصيل والفصل

١- تعتبر مفاتيح فصل وتوصيل المكثفات وأجهزة الوقاية من التيار الزائد من أهم المكونات فى أعمال تركيب المكثفات، إذ أنها تعمل على وقاية مجموعات المكثفات، وضمان طول عمر كل من الملامسات (Contactors) والمكثفات على السواء، وكذلك المساعدة فى تأمين وضمان تكامل التشغيل الشامل للشبكة.

٢- يجب توفر مقدرة التوصيل والفصل السريعين لهذه المكونات.

٣- يجب صمود المكثفات للتيارات المندفعة العابرة (Transient inrush currents) التى قد تصل قيمتها إلى ١٠٠ مثل قيمة التيار المعتاد.

٤- يجب أن تكون قيم التيار المقنن التقريبية بالنسبة لنبائط الوقاية وكذلك قواطع الدائرة والمصاهر بنحو من ١,٥ إلى ١,٧ ضعفا من قيمة تيار المكثف المقنن.

٥- من الممكن أن يلحق تلف بالغ بالحمل نفسه وكذلك بالمعدات الأخرى، عندما تكون المكثفات متصلة بخط التغذية على غير المطلوب (عندما لا يكون هناك حملا حثيا (Lagging load) يجب استيعابه)، ولهذا يجب تركيب مفاتيح المكثفات على نحو يمكن معه تلافى حدوث التلف.

٦- يتم غالبا فى حالة المحركات تركيب المكثفات على جانب تغذية المحرك بعد المفتاح، وذلك لتسهيل توصيل وفصل المكثفات مع تشغيل وإيقاف المحرك وعلى أن يتم تركيب مفتاح منفصل للمكثفات يتم التحكم فيه بواسطة مفتاح المحرك، حتى يتحقق فصل المكثف عن المحرك تلقائياً.

٧- عندما يتم فصل المحرك عن جهد المصدر، تتوقف عادة المشكلات المصاحبة لعملية التوصيل والفصل على منسوب جهد نبيطة التوصيل والفصل.

٩/٣ المصاهر المنفردة للمكثفات Individual capacitor fuses

١- يجب عموماً استخدام المصاهر للوقاية من التيار الزائد بالرغم من أن وقاية المكثفات العاملة على جهود أقل من ٦٠٠ فولت يمكن أن تتم بواسطة نبائط التيار الزائد الخاصة بالمحركات.

٢- يجب على أى حال التنويه بأن المصاهر لا توفر الوقاية التامة للمكثفات خاصة عند وجود التوافقيات.

٣- قد يتعرض المصهر لبعض التلفيات المزعجة (Nuisance failures) فى الأحوال العادية وذلك بسبب التوافقيات.

٤- على عكس ما هو متوقع، فإن المصهر الذى يتم اختياره بسعة زائدة (Oversized) لن يوفر الوقاية الكافية.

٥- قد يؤدى وجود التوافقيات بالدائرة إلى تعقيد عملية تحديد مقاس المصهر وبنفس القدر الذى تحول فيه التوافقيات من تحديد عناصر الاستخدام الأخرى للمكثفات.

٦- يمكن استخدام المصاهر مع المكثفات المنفردة أو مع مجموعات صغيرة من المكثفات الموصلة على التوازى.

٧- يلاحظ أن استخدام المصاهر لا يهدف إلى وقاية المكثفات من التيار الزائد بنفس القدر الذى تستخدم من أجله مع المعدات الكهربائية الأخرى مثل المحركات.

٨- تتراوح نسبة مقننات التيار الخاصة بمصاهر المكثفات بين (١٦٥- ٢٥٠)% من قيمة التيار المسموح مروره بالمكثف وذلك لمواجهة تيار الذروة.

٩- تكون الوقاية من التيار الزائد باستخدام المصاهر محدودة حتى فى الحالات التى يتم فيها تقدير السعات بشكل مناسب، إذ خلافا للمعتاد اتباعه مع المعدات الكهربائية الأخرى والتى يدل انفجار المصهر على حدوث عطب فعلى، قد يدل فى حالة المكثف أيضاً على مرور تيار زائد.

١٠-تصمم المصاهر المنفردة بشكل خاص لمواجهة التيارات العابرة وبعد قطع الدائرة لمواجهة جهد الاستشفاء (Recovery voltages) وإن كان ذلك بدرجات نجاح متباينة (تتوقف فى بعضها على وجود التوافقيات).

١١- تتوافر المصاهر الانفجارية (Expulsion fuses) للاستخدام مع المعدات التي يجرى تركيبها خارج المبنى ويعرف "معامل انصهار المصهر" (Fusing factor) بأنه النسبة بين التيار المعتاد وبين التيار الإسمى للمكثف، وتتراوح قيمة هذا المعامل فى المعتاد بين (١,٣٥- ١,٦٥) وذلك لمصاهر المكثفات المنفردة.

١٢- يجب اختيار نوع وسعة المصاهر بعناية وذلك بحسب العلاقة بين خصائص الزمن والتيار (Time–current characteristics) المناسبة وكذلك حسب الجهد.

١٣- ينبغى الالتزام بسعة المصهر التى يوصى بها منتج المكثف، وتعتبر خاصية العلاقة بين الزمن والتيار للمصهر من أهم العوامل إذ أنها مقياس الأداء الخاص به، على خلاف قيمة التيار الذى قد تمثل فقط قيمة إسمية وضعت لنوع معين من المصاهر.

١٠/٣ وظائف نبيطة الوقاية لمجموعات المكثفات من عدم الإتزان

توجد وظيفتان لنبيطة الوقاية من عدم الإتزان وهما:

١- منع تكوين قوس كهربائى بين أطراف المكثف (protection "Arc-over") واستكشاف التلف الذى يتعذر تفاديه بواسطة مصهر المكثف الواحد فى مجموعة المكثفات المتصلة على التوالى.

٢- الوقاية ضد عدم الإتزان وذلك بكشف الظروف التى تلى عمليات تشغيل المصهر المعتادة والتى يمكن أن تتجاوز مدى التحميل لوحدات المكثفات المتبقية.

٣/١٠-١ الوقاية من عدم الاتزان وطرق التوصيل

١- لا يتم فى معظم مجموعات المكثفات المتصلة على هيئة دلتا Δ، توصيل وحدات المكثفات على التوالى، ولذا فهى لا تحتاج إلى الوقاية من عدم الإتزان، أما عندما يتم توصيلها على التوالى على نحو يصبح معه عدم الإتزان أمرا واردا، فإنه توجد عدة طرق لتدارك ذلك.

٢- تبين الأشكال أرقام (٣/١٠) إلى (٣/١٦) بعضا من أكثر التوصيلات فعالية فى هذا المجال والأشكال أرقام (٣/١٠) إلى (٣/١٣) أكثر أنواع تلك التوصيلات شيوعا فى الاستخدام.

٣- لا تحتاج مجموعة المكثفات المنفردة الموصلة على التوالى (Single–series-group) أو المجموعة الموصلة على هيئة نجمة (ستار) والتى تكون بها نقطة التعادل متصلة بالأرض، إلى أية وقاية من عدم الاتزان، يمكن فى هذه الحالة استشعار أى تلف قد يحدث لمجموعة المكثفات بواسطة مرحلات التيار الزائد، أما الجهود الزائدة فلن يمتد تأثيرها إلى الوحدات المتبقية عندما يعمل أحد المصاهر المنفردة.

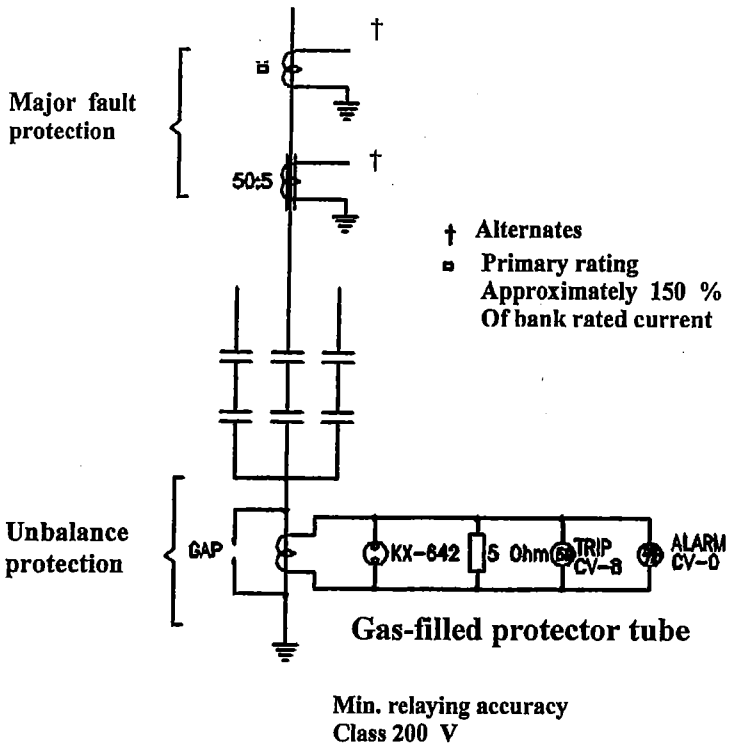
٤- يبين الشكل رقم (٣/١٢) والشكل رقم (٣/١٤) التوصيلات المستخدمة للوقاية من عدم الإتزان لمجموعات مكثفات ذات نقطة تعادل غير متصلة بالأرض.

٥- يمتاز التوصيل طبقا للدائرة المبينة فى الشكل رقم (٣/١٤) بتوفير الحماية فقط لمجموعة المكثفات غير المتزنة مع عدم الحماية ضد التلفيات الناتجة عن أرضى الشبكة (System ground faults).

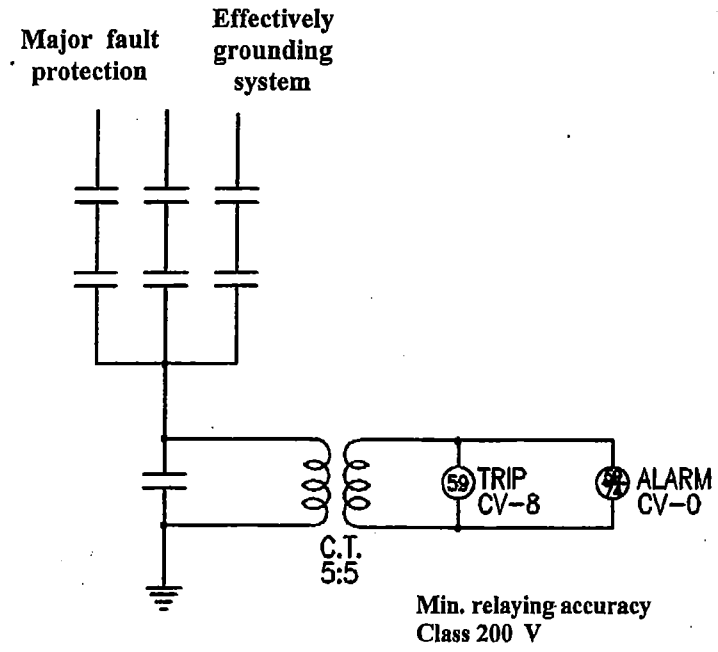
٦- إذا استخدمت مصاهر فى ملف المحول الابتدائى المتصل بالمعدات، فيجب الاهتمام عند اختيار سعة المصهر المستخدم، حيث قد يؤدى تيار تفريغ المكثف إلى تشبع حديد محول الجهد (Potential transformer core) ولا يحده عندئذ غير مقاومة الملف الابتدائى.

٧- يجب التأكد من مقدرة محول الجهد الحرارية على استيعاب مثل هذه الظروف.

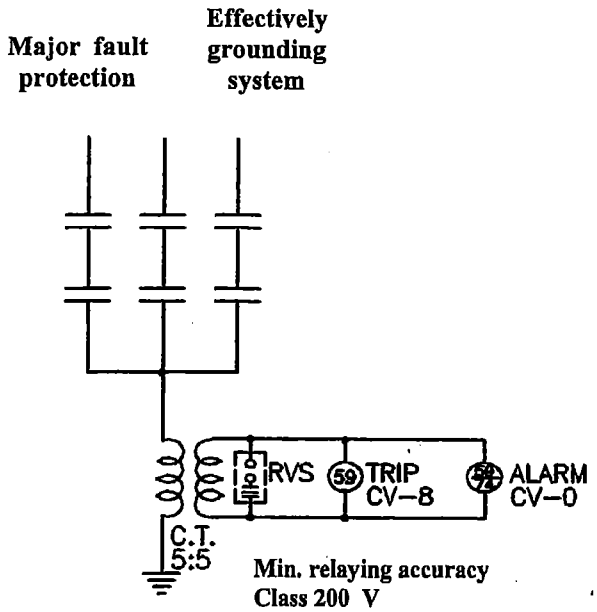
٨- يجب فى حالة استخدام مصاهر أولية (Primary fuses)، توصيل مقاومات مناسبة على أطراف كل من ملفات محول الجهد الثانوية لاستشعار المصهر المنفجر عالى الجهد عن طريق توفير مسار لتدفق التيار مغايرا للمسار المار خلال معاوقة المحول ذات المغنطة العالية والتى يوجد بها المصهر المنفجر.



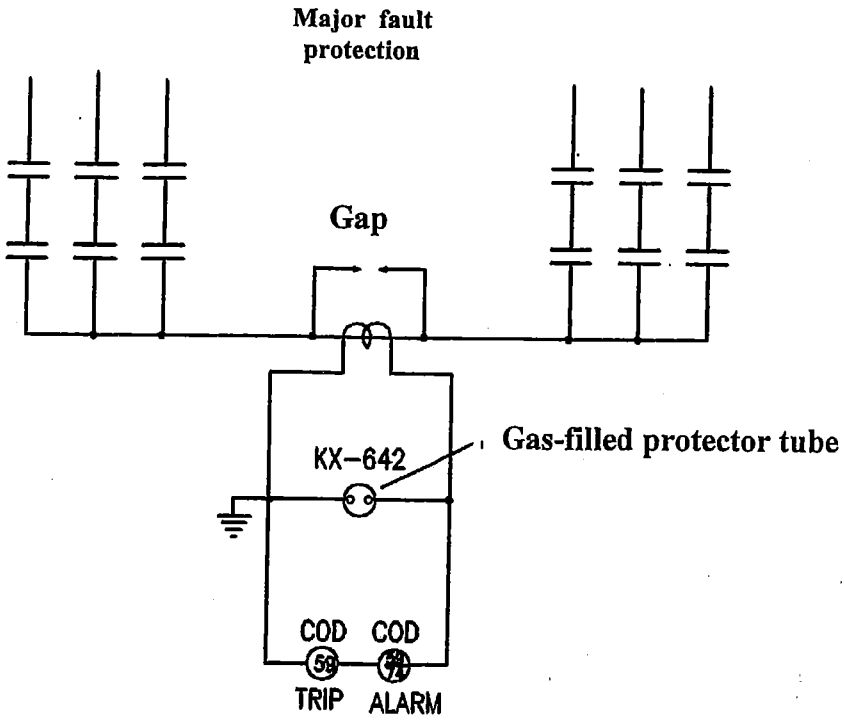
شكل (٣/١٠) : وقاية مجموعة مكثفات متصلة على هيئة نجمة (ستار) بها نقطة تعادل متصلة بالأرض وذلك ضد عدم الاتزان



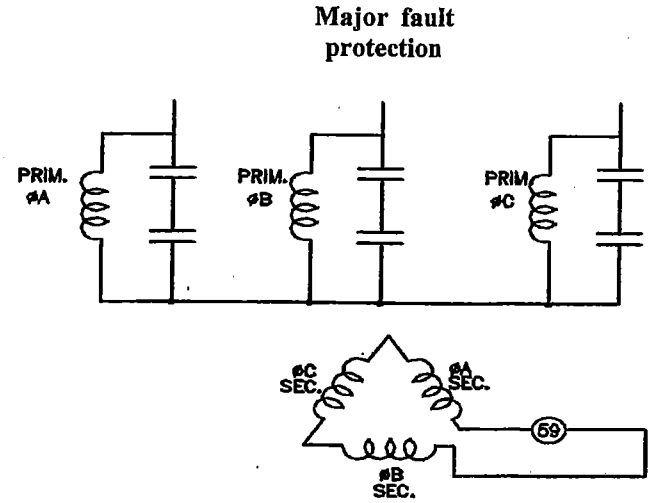
شكل (٣/١١) : وقاية مجموعة مكثفات متصلة على هيئة نجمة (ستار) بها نقطة تعادل متصلة بالأرض وذلك ضد عدم الاتزان



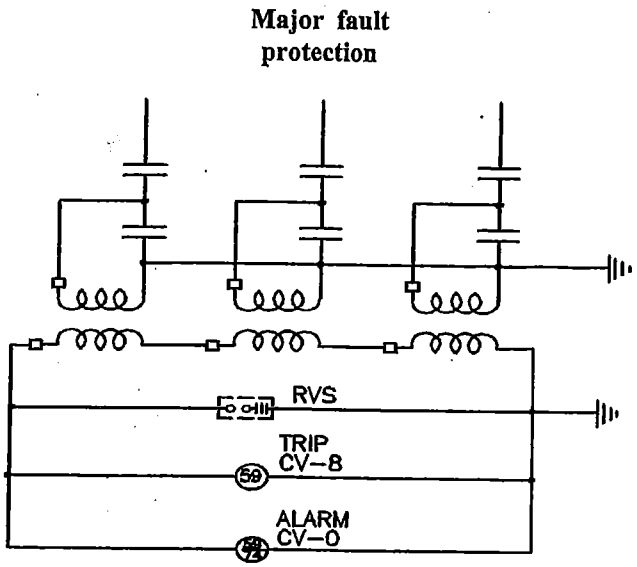
شكل (٣/١٢) : وقاية مجموعة مكثفات متصلة على هيئة نجمة (ستار) بها نقطة تعادل غير متصلة بالأرض



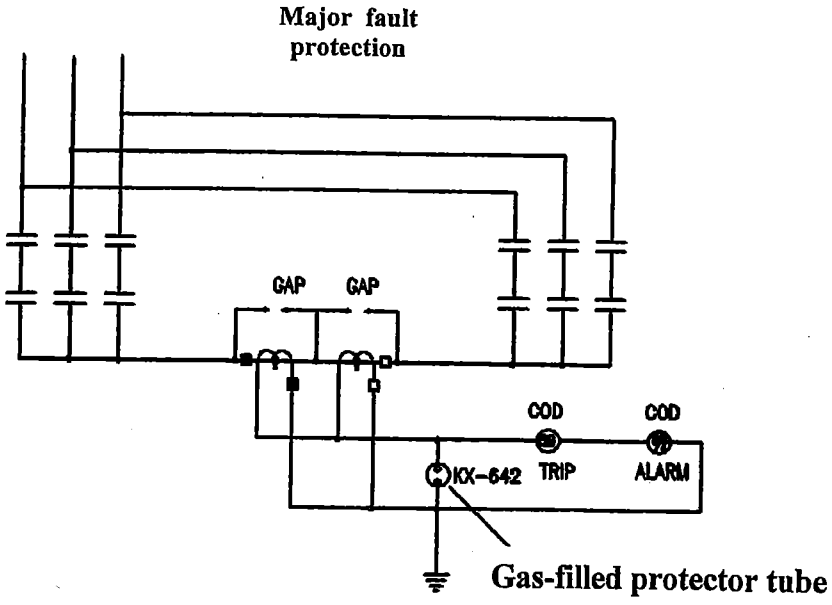
شكل (٣/١٣) : وقاية مجموعة مكثفات متصلة على هيئة نجمة (ستار)
بها نقطة تعادل غير متصلة بالأرض



شكل (٣/١٤) : وقاية مجموعة مكثفات متصلة على هيئة نجمة (ستار)
بها نقطة تعادل غير متصلة بالأرض



شكل (٣/١٥) : وقاية مجموعة مكثفات متصلة على هيئة نجمة (ستار) بها موصل تعادل متصل بالأرض



شكل (٣/١٦) : وقاية مجموعة مكثفات بها تفريعتين متصلتين على هيئة نجمة (ستار) بها نقطة تعادل غير متصلة بالأرض

١١/٣ إختيار الجهد المقنن Selection of rated voltage

يجب أن يكون الجهد المقنن للمكثفات على الأقل مساويا لجهد الخدمة بالشبكة التى يتم التوصيل عليها مع الأخذ فى الاعتبار تأثير وجود المكثف.

١- فى بعض الشبكات، قد يحدث فرق كبير بين جهد الخدمة والجهد المقنن للشبكة، ويؤثر هذا الفرق فى الجهد، سلبيا على أداء وعمر المكثفات نتيجة لزيادة الجهد على عزل المكثفات، لذلك يتم الرجوع للمصنع لتحديد مدى سماحية تحمل المكثف لزيادة الجهد.

٢- يجب فى حالة عدم وجود معلومات كافية عن جهود الشبكات، فرض أن جهد الخدمة مساويا للجهد المقنن للشبكة.

٣- عندما يتم إدخال عناصر الدائرة الكهربية على التوالى مع المكثفات للحد من آثار التوافقيات .....ألخ، فإن الزيادة الناتجة فى الجهد على أطراف المكثف فوق جهد الخدمة للشبكة، تتطلب زيادة مقابلة للجهد المقنن للمكثف.

٤- عندما يتم تحديد الجهد المتوقع على أطراف المكثف يلزم أخذ الآتى فى الاعتبار:

أ- توصيل المكثفات على التوازى يحدث ارتفاع فى الجهد من مصدر التغذية إلى مكان وجود المكثف بالدائرة، ويمكن حساب هذا الارتفاع من المعادلة رقم (٣-١٣)، وقد يزداد هذا الارتفاع فى الجهد أيضا عن هذة القيمة نتيجة لوجود توافقيات. لذا يجب أن يكون المكثف مجهز للعمل عند جهد أعلى من قيمة الجهد المقاس على الشبكة قبل توصيل المكثف.

ب- قد يكون الجهد على أطراف المكثف مرتفعا عند ظروف التحميل الخفيف، وفى هذه الحالة يلزم إخراج بعض أو كل المكثفات من الدائرة لمنع حدوث الآتى:

- زيادة الإجهاد على المكثفات
- زيادة الجهد على الشبكة

ج- فى حالة الطوارئ، يمكن تشغيل المكثفات عند أقصى جهد ودرجة حرارة مسموح بهما فى وقت واحد، وذلك لفترات قصيرة من الوقت.

١٢/٣ تأثير العوامل المحيطة Effect of surrounding conditions

فيما يلى أهم الشروط التى يجب على المصنعين أخذها فى الاعتبار أثناء تصنيع المكثفات:

١- الارتفاع فى الرطوبة

من الضرورى استخدام العوازل بتصميم خاص للحماية من توصيل التيار الكهربى إلى المكثف نتيجة تكثف الرطوبة على السطح الخارجى للمصهرات.

٢- نمو العفن السريع

لا ينمو العفن على المعادن ومواد السيراميك وبعض أنواع الدهانات والورنيش، بينما ينمو فى المواد الأخرى والأماكن الرطبة، وخصوصا الأماكن المعرضة لتراكم الغبار.

استخدام المنتجات المبيدة للفطريات قد يحسن من سلوك هذه المواد، لكن مفعول هذه المبيدات لا يمتد إلا لفترات محددة.

٣- التآكل الناتج عن الجو المحيط

تتواجد المواد المسببة للتآكل فى الجو المحيط بكثرة فى الأماكن الساحلية والصناعية، ويراعى ملاحظة أن تأثير هذه المواد يكون أكثر خطورة فى المناخ ذى درجة الحرارة العالية عنه فى المناخ المعتدل. وقد تكون هذه الأجواء موجودة أيضا فى الأماكن المغلقة.

٤- التلوث

يجب اتخاذ احتياطات خاصة عند تركيب المكثفات فى مواقع بها درجة عالية من التلوث.

٥- تركيب المكثفات على إرتفاع أعلى من ٢٠٠٠ م من سطح البحر

المكثفات المستخدمة على ارتفاعات تزيد عن ٢٠٠٠ م تخضع لظروف خاصة. وينبغى اختيار نوع المكثف بالاتفاق بين المشترى والشركة المصنعة.

٣/١٢-١ العوامل المؤثرة على عمر المكثف

فيما يلى أهم العوامل المؤثرة على عمر المكثف:

١- درجة حرارة التشغيل حيث يسمح باستخدام المكثفات ذات القدرة المعتادة فى مدى درجات حرارة من - ٤٠ إلى + ٨٠ °م

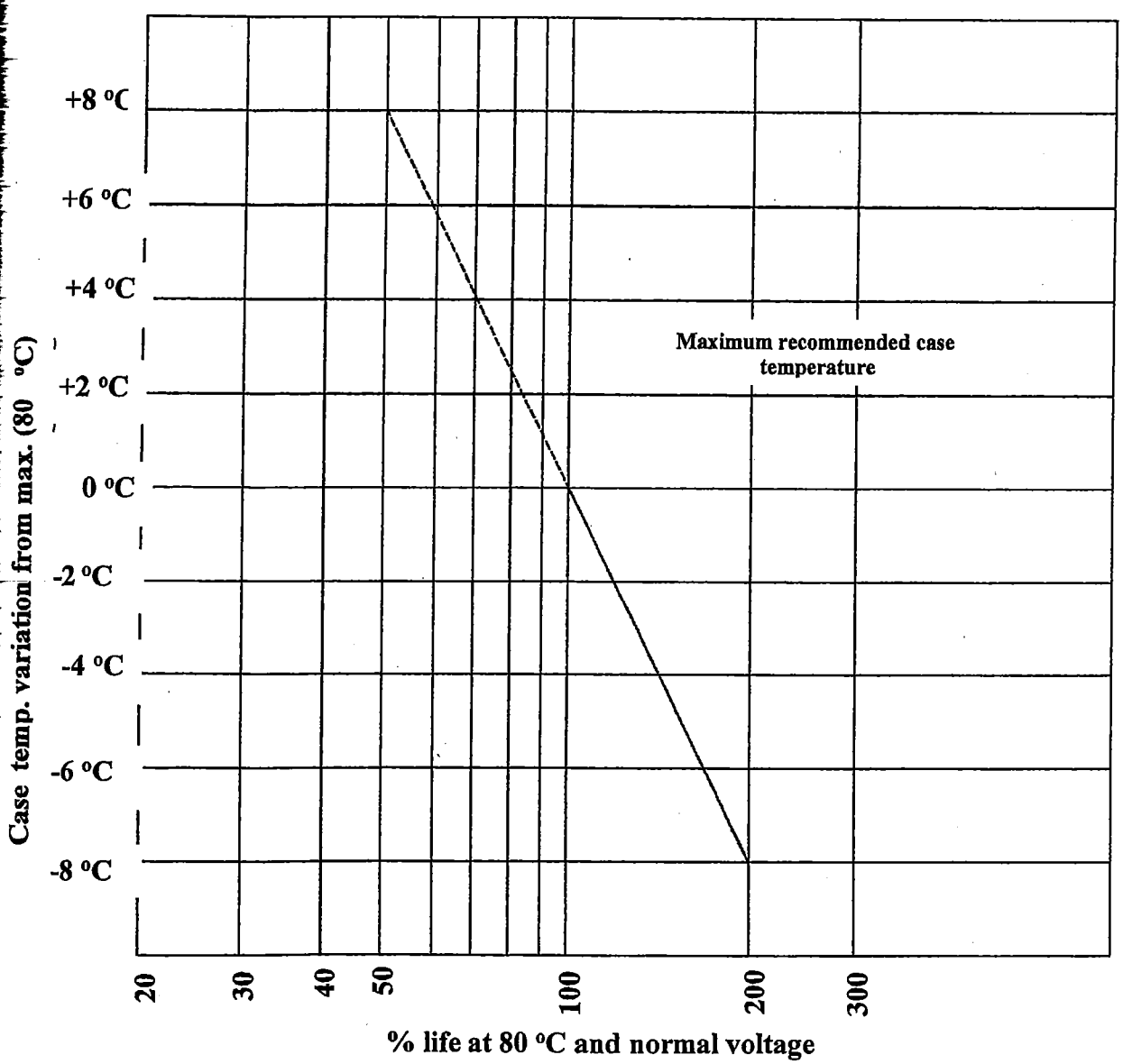
٢- يؤدى تشغيل المكثفات فوق الحدود القصوى المذكورة الى إنقاص عمرها بسبب العمليات الكيميائية التى ربما قد تحدث.

٣- يتضاعف تأثير العمليات الكيميائية لكل زيادة مقدارها ٨ °م بينما ينخفض هذا التأثير إلى النصف عند كل نقص مقداره ٨ °م فى درجات الحرارة وهو ما يؤثر بالطبع على المكثف، ويوضح الشكل رقم (٣/١٧) تأثير درجة الحرارة على عمر المكثف.

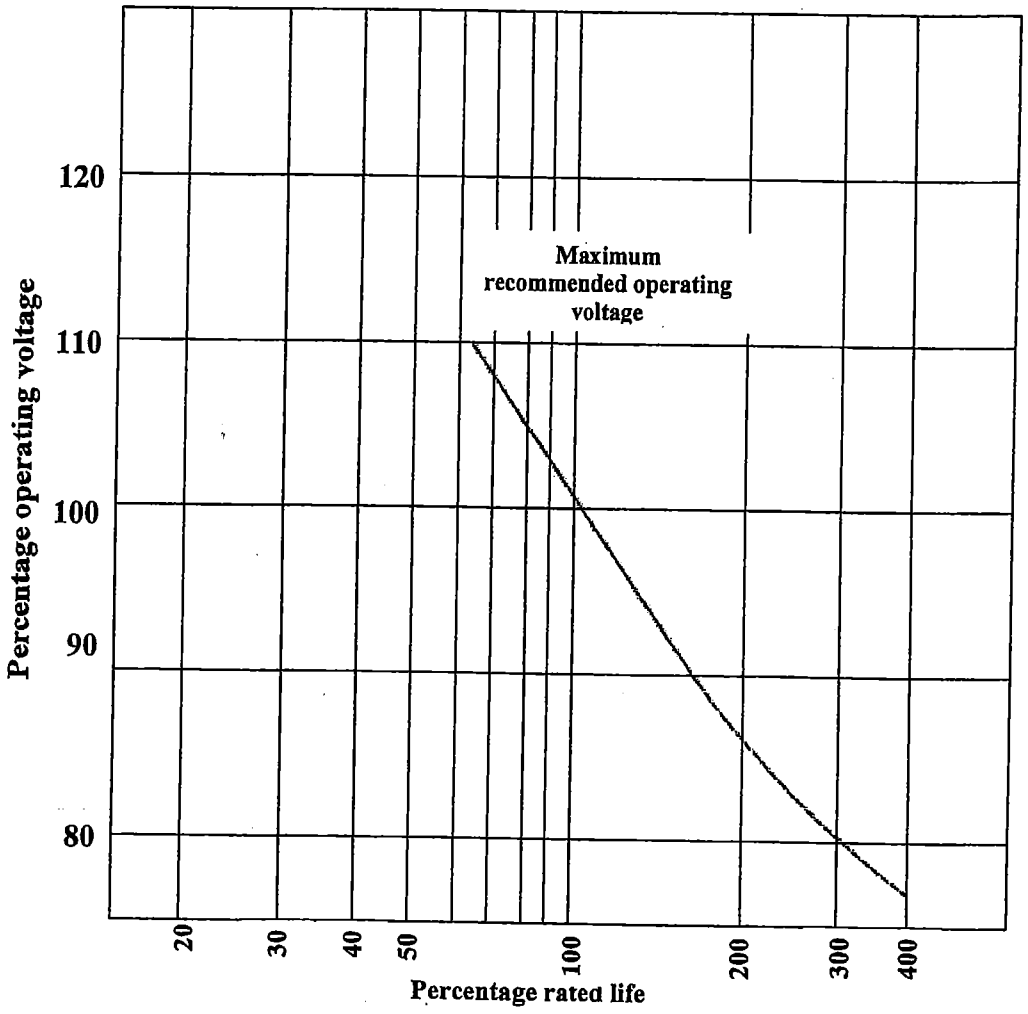
٤- يزداد عمر المكثف وكما هو متوقعاً، إذا ما تعرض لجهود تشغيل (Operating voltages) أقل من الجهد المقنن، وفى جميع الأحوال يجب ألا تتعدى الزيادة فى الجهد عن ١٠ % من الجهد المقنن.

٥- يتناقص عمر المكثف كهربائياً حسب الجهد فى علاقة مرفوعة للأس الخامس كما يتضح ذلك من الشكل رقم (٣/١٨).

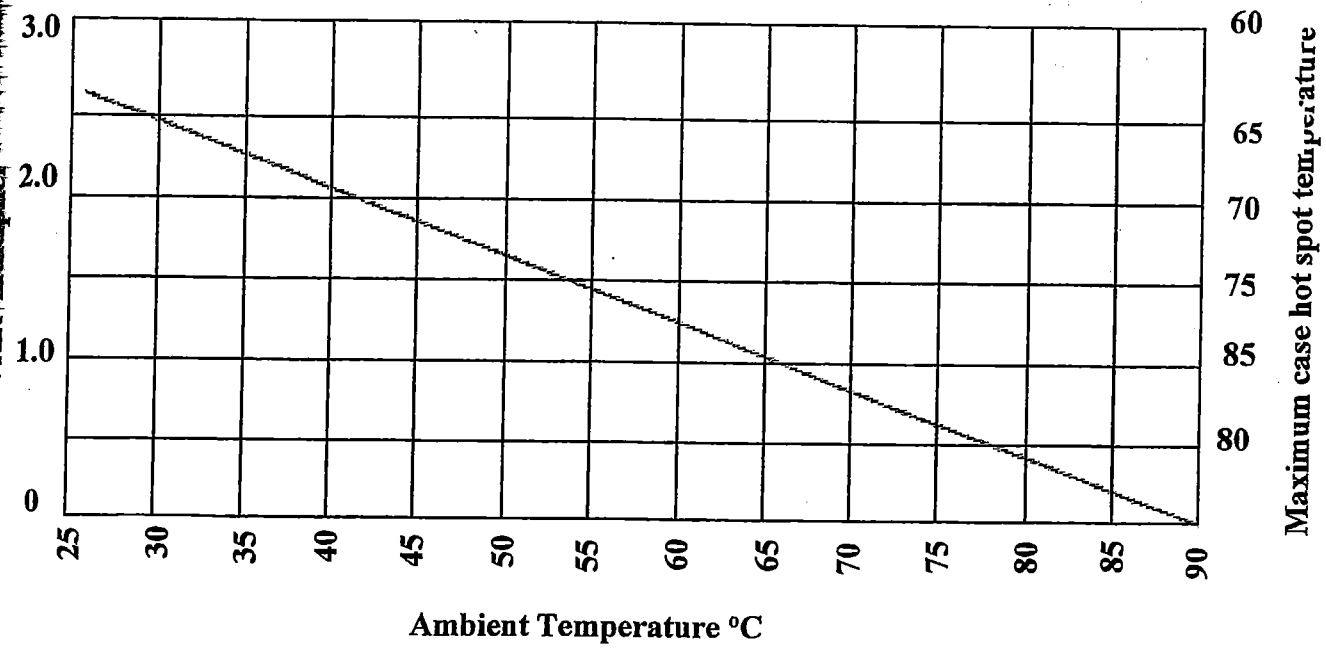
٦- يمكن أن تصل درجة حرارة غلاف المكثف إلى ٨٠ °م كحد أقصى، لأنه من المسموح به ارتفاع درجة حرارة الغلاف الخارجى بمقدار ١٥ °م فوق درجة حرارة الوسط المحيط، إذا كانت فى حدود ٦٥ °م، أما عند انخفاض درجات حرارة الوسط المحيط عن هذه القيمة، فيمكن السماح بقيم أعلى من قيم الجهد والتيار المقنن (Volt/ Ampere rating) وكذلك السماح بزيادة درجة حرارة الغلاف عن درجة حرارة الوسط بمقدار أكبر، كما يتضح ذلك من الشكل رقم (١٩/٣).



شكل (١٧/٣) : تأثير درجة الحرارة على عمر المكثف



شكل (١٨/٣) : تأثير جهد التشغيل على عمر المكثف



شكل (١٩/٣) :القيم المسموح بها أعلى من قيم الجهد والتيار المقنن للسماح بزيادة درجة حرارة الغلاف عن درجة حرارة الوسط

الباب الرابع

استخدامات خاصة للمكثفات

٤/١ عام

يتناول هذا الباب استخدام المكثفات فى تحسين معامل القدرة فى بعض الأحمال الخاصة كمرحلة أولى على أن يتم بعدها تحسين معامل القدرة الكلى للمنشأة طبقا لمتطلبات هذا الكود وتشمل هذه الأحمال:

١- ورش اللحام (لحام القوس ولحام المقاومة)
٢- أفران القوس الكهربائية
٣- أفران الحث
٤- أفران الجرفتة

٤/٢ لحام القوس ولحام المقاومة

٤/٢-١ معدات اللحام الكهربى

١- يستخدم اللحام الكهربى على نطاق واسع فى عمليات التصنيع ويشمل هذا اللحام نوعين أساسين هما :

أ- اللحام بالقوس

ب- اللحام بالمقاومة

٢- يعتمد استخدام هذا النوع من اللحام على عوامل أهمها طول اللحام المطلوب، سمك المعدن المراد لحامه، فمثلا فى حالة الألواح السميكة يستخدم اللحام بالقوس فى حين يستخدم اللحام بالمقاومة فى حالة الألواح الرقيقة.

٣- يتم الحصول على التيارات العالية للحام باستخدام المحولات الكهربية لتوليد الحرارة اللازمة للحصول على لحام جيد.

٤- يمكن اعتبار الأحمال الكهربية لأعمال اللحام أحمال غير متزنة وذات معامل قدرة منخفض نسبيا (٠,٣٥- ٠,٤)، فيما عدا اللحام بالقوس باستخدام التيار المستمر.

٤/٢-٢ خصائص أحمال اللحام بالقوس الكهربى

١- تتكون معدات اللحام فى معظم الأحوال من محول كهربى وجهاز منظم للجهد، وفى حالة اللحام الذى يقوم به عامل واحد يتم تشغيل محولات أحادية الطور ذات قدرة قد تصل إلى ٣٦ ك. ف. أ. ،

أما فى حالة اللحام الذى يقوم به عمال متعددون فى نفس الوقت من محول واحد يمكن استخدام محولات ثلاثية الأطوار قد تصل قدرتها إلى حوالى ١٦٠ ك. ف. أ.، وفى هذه الحالة يكون جهد الملفات الابتدائية حوالى (٣٨٠ - ٤٢٠) فولت، بينما يكون جهد الملفات الثانوية بين (٨٠ - ١٠٠) فولت.

٢- نظرا لوجود تباينات كبيرة للغاية فى الأداء بين ماكينات اللحام أحادية الطور وبين الماكينات ثلاثية الأطوار، التى يعمل عليها أكثر من عامل، فبينما تكون الأحمال فى الحالة الأولى غير متزنة على الأطوار الثلاثة تكون متزنة فى الحالة الثانية. وقد تقل هذه الأحمال عندما تعمل هذه المعدات بشكل مستمر.

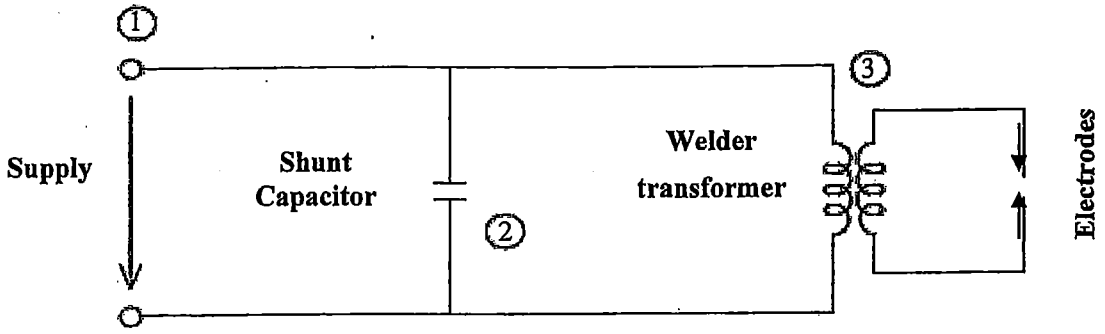
٣- يكون التحميل الناتج عن التيار متقطعا ولكنه لا يتذبذب بدرجة كبيرة ومؤثرة، ويكون معامل القدرة حوالى ٠,٣٥ (متأخر) سواء كانت ماكينات اللحام تعمل منفردة أو فى صورة مجموعات وذلك بافتراض أن النسبة بين زمن اللحام الفعلى وزمن توصيل محولات اللحام على الشبكة فى حدود ٣٠%.

٣-٢/٤ تحسين معامل القدرة لمحولات اللحام بالقوس الكهربى

١- نظرا لأن جهد الملفات الثانوية لمحول اللحام يكون منخفضا وغير ثابت القيمة، فإنه يصبح توصيل مكثفات تحسين معامل القدرة على الجانب الثانوى غير مناسب من الناحية العملية.

٢- تتأثر معدات اللحام بالقوس الكهربى باستخدام مكثفات التحسين المتصلة بالملفات الابتدائية، ولذلك فإنه يتم توصيل وفصل كلا من المكثف والمحول معا وكوحدة واحدة (أنظر الشكل رقم (١/٤)).

٣- يكون معامل القدرة قبل التحسين منخفضا (حوالى ٠,٣٥) ومعامل التباين لحمل اللحام مرتفعا، ونتيجة لذلك فإنه لا يصبح الهدف من التحسين هو رفع معامل القدرة فقط ولكن الأهم من ذلك هو ضمان تساوى تيار اللاحمل مع التيار أثناء اللحام، وتبلغ قدرة المكثف المطلوب حوالى ٥٠% من القدرة الظاهرية.



(١) مصدر التغذية (٢) مكثف متصل على التوازى (٣) محول معدة لحام

شكل (١/٤) : تحسين معامل القدرة لمعدات اللحام بالقوس الكهربى

٤- كثيرا ما يحدث فى أجهزة اللحام بالقوس الكهربى انحراف للقيمة الظاهرية المنخفضة لمعامل القدرة بعد التحسين وذلك بسبب طبيعة التشغيل المتقطع ومعامل التباين المرتفع لحمل اللحام بالقوس الكهربى، ففى فترات اللاحمل تعمل مجموعة المكثفات وجهاز اللحام على معامل قدرة متقدم ولذلك يكون متوسط قيمة معامل القدرة بعد التحسين أعلى من ٠,٦ على مدى تشغيل يوم كامل وقد تصل هذه القيمة إلى ٠,٩٥ متأخر وتحدث نفس الظروف عند توصيل عدة محولات لحام أحادية الطور بنقطة تغذية مشتركة. ويعطى الجدولان رقمى (١/٤)، (٢/٤) سعات المكثفات المقترح استخدامها مع محولات اللحام.

جدول (٤/١) : قدرة المكثفات الموصى بها فى المحولات النمطية أحادية الطور المستخدمة فى اللحام بالقوس الكهربى (بواسطة عامل تشغيل واحد)

القدرة الظاهرية المستمرة (ك. ف. أ)	متوسط معامل القدرة قبل التحسين	قدرة المكثف المقترح (ك.فار)	معامل القدرة بعد التحسين(*)
٩	٠,٣٥	٤	٠,٥٥
١٢	٠,٣٥	٦	٠,٦٢٥
١٨	٠,٣٥	٨	٠,٥٨
٢٤	٠,٣٥	١٢	٠,٦٢
٣٠	٠,٣٥	١٥	٠,٦٢
٣٦	٠,٣٥	١٨	٠,٦٢

(*) كمرحلة أولى

جدول (٤/٢) : قدرة المكثفات الموصى بها فى المحولات النمطية ثلاثية الأطوار المستخدمة فى اللحام بالقوس الكهربى (عمال متعددين)

أقصى معدل قدرة (ك. ف. أ)	القدرة الظاهرية المستمرة (ك. ف. أ)	معامل القدرة قبل التحسين	قدرة المكثف المقترح (ك. فار)	معامل القدرة بعد التحسين(*)
٩٥	٥٧	٠,٣٥	١٦,٥	٠,٤٨
١٩٠	٩٥	٠,٣٥	٣٠	٠,٤٩
٢٨٥	١٢٨	٠,٣٥	٤٥	٠,٥١
٣٨٠	١٦٠	٠,٣٥	٦٠	٠,٥٣

(*) كمرحلة أولى

٤/٢-٤ خصائص أحمال اللحام بالمقاومة

تشترك أنواع أحمال اللحام بالمقاومة فى الخصائص الآتية:

أ- يكون الحمل متقطعا بطبيعته، وغير متزن فى معظم الحالات، وقد تنخفض فيه دورة الأداء (نسبة فترة سريان الحمل الكهربائى إلى زمن الدورة الكاملة للعمليات) إلى ٢% فقط

ب-يكون التيار اللحظى المسحوب من المصدر، غالبا أكبر من التيار المتصل المقنن لجهاز اللحام

ج-تتباين قيم معامل القدرة المتأخر للأنواع المختلفة من ماكينات اللحام بحيث تتراوح ما بين (٠,٢ - ٠,٥)

هذا وتؤكد الخصائص السابقة على ضرورة عمل تحسين لمعامل القدرة فى معدات اللحام بالمقاومة بوجه عام.

٤/٢-٥ تحسين معامل القدرة لمعدات اللحام بالمقاومة

١- يمكن معاملة معدات اللحام فيما يخص تحسين معامل القدرة، بأسلوب مشابه لما يتم بمعدات اللحام بالقوس الكهربى، وإن كانت المعلومات المتاحة بالنسبة لمعدات اللحام بالمقاومة عن القدرات المستمرة الظاهرية وقيم معاملات التحسين أقل بكثير عن مثيلتها من معدات اللحام بالقوس الكهربى، وقد يرجع هذا الأمر إلى حقيقة أن العديد من معدات اللحام بالمقاومة يجرى تصميمها لتلائم أغراض ومتطلبات خاصة، الأمر الذى يتطلب معاملة كل منها بشكل منفرد.

٢- يمكن فى هذه الحالة توصيل المكثفات بشكل مباشر على التوازى مع الملف الابتدائى لمحول اللحام وعلى نحو يمكن معه فصل وتوصيل المجموعة معا (المكثف والمحول) بواسطة المفتاح (أو الملامس) الخاص بماكينة اللحام، وعليه فإنه يتم بين كل عمليتى لحام فصل المكثف عن المصدر، وعلى نحو يؤدى إلى تفريغ المكثف بسرعة كبيرة بسبب المقاومة المنخفضة للملفات الابتدائية.

٣- تعمل معدات اللحام ذات القدرة الظاهرية ١٠٠ ك. ف. أ. فأكثر على خطوط إنتاج يلزم معها تحقيق تجانس كبير فى عمليات اللحام، مما يتطلب عادة توفر تحكم تلقائى لمراقبة الوقت والتيار وجهد الأقطاب، ومما يستدعى استخدام نبائط ثايروستور وما يتبعها من دوائر تحكم كهربائية.

٤- إذا ما تم توصيل المكثف مع الملف الابتدائى لمحول اللحام عند الفصل، يكون من الضرورى مراجعة رسومات الدوائر الكهربائية لماكينة اللحام من حيث وضع المكثف عند نقطة التوصيل المقبولة.

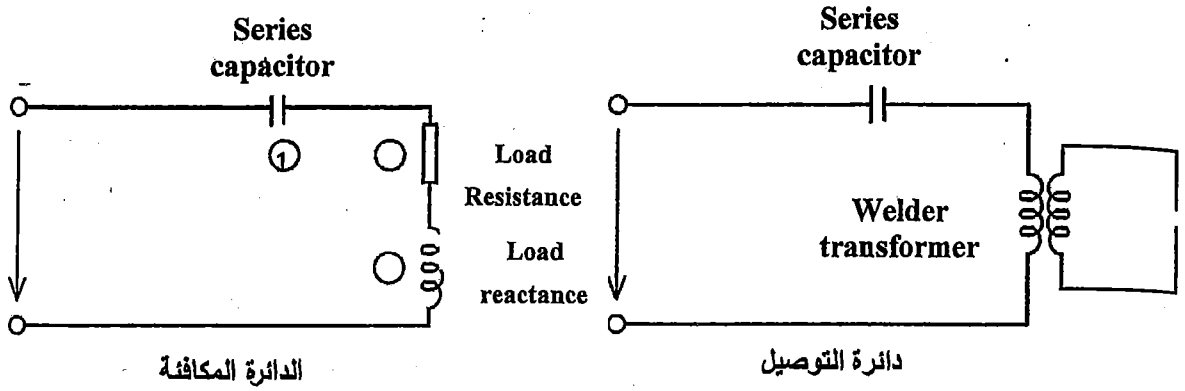
٥- توجد طريقة بديلة يتم فيها توصيل وفصل المكثف تلقائيا من خلال ملامس (Contactor)، إلا أنها أكثر تكلفة.

٦- في حالة تعذر وجود نقطة مقبولة للتوصيل، فينبغى توصيل المكثف جهة المصدر المغذى لمحول اللحام باستخدام سكينة فصل بالمصهر.

٧- يمنع المعدل السريع للحام من استخدام ملامس من النوع الهوائى الانطباقى (Clapper- type contactor) نظرا لقرب قطع التلامس به من بعضها، و إنما يصلح فقط فى هذه الحالة استخدام ملامس تخلخلى (Vacuum contactor) أو استخدام نبيطة توصيل وفصل إلكترونية (Semi conductor device) حتى يمكن التعامل مع المعدلات السريعة للتوصيل والفصل. ويكون من الضرورى أيضا بالنسبة للمكثف توفير مسار تفريغ منخفض المقاومة لتجنب حدوث جهد اندفاعى غير مرغوب.

٨- إذا لم تتوفر بيانات دقيقة عن الحمل ومعامل القدرة لدى منتج معدات اللحام بالمقاومة، فإنه من الممكن فى بعض الأحيان عمل اختبارات على المعدات بالموقع.

٩- تقوم ماكينات اللحام الضخمة بسحب تيارات كهربائية هائلة من المصدر وخلال فترات زمنية قصيرة للغاية تقل غالبا عن الثانية الواحدة، ويمكن اعتبار ذلك كحالة قصرفى الدائرة تحدث بصفة متتابعة عند معامل قدرة متأخر تتراوح قيمته بين (٠,٢- ٠,٣)، فإذا كانت ماكينات اللحام تمثل معظم حمل المصنع فى وجود مقاومة عالية لدائرة التغذية الكهربائية، فإنه قد يحدث هبوط كبير فى الجهد، مما يتسبب فى مشاكل لباقى المستخدمين المتصلين بنفس المصدر، كما يؤثر على جودة اللحام، وتكون النتيجة ليست فقط مشكلة معامل القدرة المنخفض وإنما أيضا مشكلة ارتعاش الجهد، ويتعذر فى هذه الحالة حل المشكلة بمجرد توصيل مكثف مع ملف ماكينة اللحام على التوازى، ويكون الحل المثالى في هذه الحالة استخدام مكثف يتم توصيلة على التوالى مع الملف الابتدائى لمحول اللحام بالمقاومة (أنظر الشكل رقم (٢/٤))، إلا أنه ينبغى تصميم المكثف المتصل على التوالى مع ملف محول ماكينة اللحام باعتبارهما وحدة واحدة، حيث يخفض الجهد السعوي الناتج من هبوط الجهد الحثى إلى قيمة مقبولة، ومن الناحية العملية فإنه يتم معادلة الجهد بشكل تلقائى.



(١) مكثف متصل على التوالى (٢) مقاومة الحمل (٣) مفاعلة الحمل

شكل (٢/٤) : مكثف متصل على التوالى فى الدائرة الابتدائية لمحول لحام بالمقاومة

١٠- المكثفات المتصلة على التوالي مع ماكينات اللحام بالمقاومة ذات القيمة الكبيرة، مما يقتضى تركيبها فى حاوية منفصلة. وفي هذه الحالة لا توجد أية علاقة بين جهد المكثف وبين الجهد الفعلى لمصدر التغذية الكهربائية، فعلى سبيل المثال بالنسبة لتغذية ماكينة لحام ذات جهد ٣٨٠ فولت قد يكون من الضرروى إخطار منتج المكثفات بقيمة مفاعلة محول اللحام عند كل مخرج (مرحلة) لاختيار المكثفات المناسبة، كما يجب أيضا معرفة حمل اللحام ومعامل القدرة عند كل مخرج (مرحلة) من هذه المخارج، حتى يستفيد من هذه المعلومات فى حساب قيمة المكثف وقيمة الهبوط فى الجهد فى كل حالة.

١١- من الضروري تصميم المكثف على أساس أعلى جهد ناتج من هذه الحسابات، ولما كان تيار اللحام يعد نوعا من أنواع القصر فى الدائرة، فلا توجد حاجة لتوفير وقاية من التحميل الزائد للمكثف الموصل على التوالى، وعلى أى حال يمكن بواسطة جهاز قياس للجهد (فولتميتر) المتصل بين طرفى المكثف الأساسين، الحصول على بيانات هامة بهذا الشأن.

١٢- لا توجد نبائط تفريغ لماكينات اللحام التى يتم التحكم فيها الكترونيا وبذلك يمكن أن يحتفظ المكثف بشحنته بين كل عمليتى لحام، ومما يتجنب معه عمليات إعادة الشحن الانتقالية التى تحدث إذا لم يجرى هذا الترتيب قبل بدء كل لحام. وعلى أى حال يتم توفير دائرة تفريغ خارجية منفصلة حتى يمكن تفريغ المكثف بأمان فى نهاية كل فترة تشغيل أو وردية.

٣/٤ الأفران الحثية

يكثر استخدام الأفران الحثية فى صناعة الحديد مما يتطلب استخدام المكثفات مع أفران القوس الكهربى وكذلك مع أفران الجرفتة.

٣/٤-١ تحسين معامل القدرة لأفران القوس الكهربى

١- يتم صهر الفلزات والمعادن فى أفران القوس الكهربى بواسطة درجات الحرارة المرتفعة التى تتحقق فى جو من البلازما أو فى جو متأين ينشأ بين إلكترود الصهر والفلز وتكون درجة الحرارة خلال القوس فى حدود ٥٠٠٠ درجة مئوية وتكون قدرة محولات أفران القوس المعتادة فى حدود (١٠ - ٦٠) م. ف. أ.

٢- تكون التغذية الكهربائية فى حالة الأفران الكبيرة من مصدر ثلاثى الأطوار ذى تردد ٥٠ هرتز وجهد ١١ أو ٣٣ ك. ف. (أحيانا يكون الجهد ٦٦ ك. ف.).

٣- توجد حالتان مميزتان يمر بهما تشغيل أفران القوس الكهربى. ففى بداية الصهر يكون الحمل كبيرا وغير متزن ومتذبذب. وقد ينخفض معامل القدرة المتأخر حتى ٠,٧ وتسمى هذه الحالة فترة الصهر الرئيسية. وعندما يكتمل صهر كل المعدن تبدأ مرحلة التنقية أو التجانس وفيها ترتفع قيمة معامل القدرة المتأخر ليصل إلى ٠,٩.

٤- تعتمد تعريفة الطاقة الكهربائية فى مصر على قيمة الطلب الأقصى من الكيلو فولت أمبير وغرامة معامل القدرة. وينبغى تحديد قدرة المكثف المطلوب لتحسين معامل القدرة حسب أقصى حمل أثناء فترة المرحلة الأولى من صهر الشحنة فى الفرن، وحتى يتحقق هذا الطلب، يجب اختيار مجموعة مكثفات ذات معدل من ٣٠ إلى ٤٠% من معدل المحول المخصص للفرن.

٥- لما كان الجهد فى الجانب الثانوى من المحول يتعرض للتغير من خلال مراحل نمطية فى المدى من (٢٣- ٨٠) فولت، لذا فإن توصيل المكثف مباشرة عبر الجانب الابتدائى للمحول سوف يلغى الاحتياج إلى أى تحكم إضافى. وتجدر الإشارة إلى أن تركيب مجموعة ثابتة من المكثفات سوف يؤدى إلى ظهور معامل قدرة متقدم فى دائرة فرن القوس الكهربى خلال فترة التنقية، ولا يشكل هذا الأمر فى معظم الأحيان أهمية كبرى، وذلك لأن السعة الكبيرة للمصنع تستوعب أية قيمة زائدة من القدرة السعوية غير الفعالة (فار) التى سوف تؤدى إلى تقدم معامل القدرة من جهة وموازنة ذلك من خلال الأحمال الأخرى من جهة أخرى وعلى نحو يجعل معامل القدرة الإجمالى على مستوى المصنع فى حالة تأخر.

٦- فى حالة أفران القوس الكهربى ذات السعة الضخمة، قد لا يكون من المرغوب فيه توصيل وفصل المكثفات حسب عمل الفرن. وفى هذه الحالة، سوف يتطلب الأمر تركيب قاطع دائرة خاص للمكثفات، والذى يجب أن يعمل بالتنسيق مع قاطع الدائرة الخاص بالفرن أثناء الصهر. ويجب أن تزود مجموعة المكثفات التى يجرى فصلها وتوصيلها بشكل مستقل بمفاعلات تفريغ إضافية. أما إذا وصلت المكثفات مباشرة بالملفات الابتدائية، فإن هذا سوف يوفر مسارا ذا سرعة تفريغ مناسبة للمكثفات.

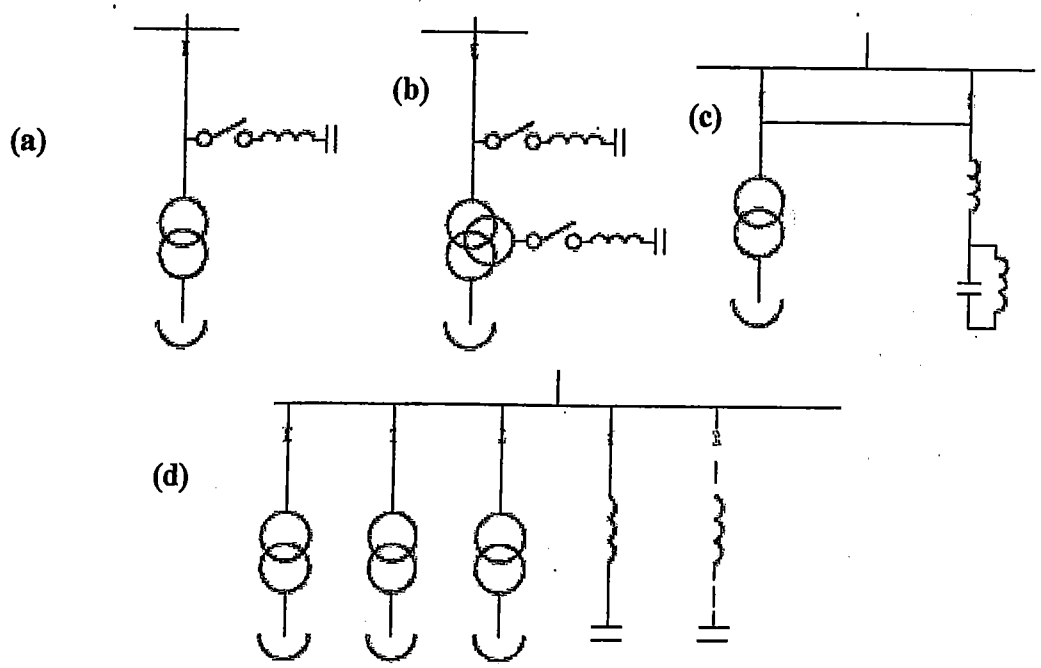
٧- قد يكون من المناسب توصيل فرنين أو أكثر من الأفران كبيرة السعة على نفس قضبان التوصيل (الباسبارات) وذلك لتجنب تطابق أحمال الذروة، ويمكن تقليل سعة المكثفات المطلوبة وتكلفتها إذا ما تم توصيل المكثفات مباشرة على نفس قضبان التوصيل. ولما كانت معظم أفران القوس الكهربى تعمل بصفة متواصلة على أساس ٢٤ ساعة فى اليوم، فإنه يمكن توصيل المكثفات توصيلا دائما من خلال قاطع دائرة مناسب، وتجدر الإشارة إلى أهمية خفض المعدلات الاعتبارية للمكثفات للسماح باستيعاب تيارات التوافقيات التى تتولد خلال فترة الصهر فى الفرن بحسب سعة مجموعات المكثفات المطلوبة وبحسب الحيز المتاح.

٨- يمكن وضع المجموعات من المكثفات الصغيرة فى حاوية ما مثل خزان مبرد بالزيت، أو حاوية مبردة بالهواء. وعلى أى حال، فإن معظم مجموعات المكثفات التى قد يبلغ معدل أكبرها نحو ٦٠ ك. فار يجرى تركيبها خارج المبنى لأسباب تتعلق بالتشغيل.

٩- لا يبدو أن أفران القوس الكهربى من الأجيال الأولى والتى تستخدم محولات بقدرات من (٢ - ٧,٥) م. ف. أ.، تعانى من أية مشكلات خاصة بتيارات التوافقيات. أما الأفران الحديثة ذات السعات العالية، والتى تبلغ قدرات محولاتها ما بين (٥٠ -١٥٠) م. ف. أ، فإنها تولد تيارات توافقيات كبيرة القيمة، ومعظم التوافقيات الشائعة فيها تكون من الدرجة الثالثة والخامسة والسابعة، ويكون من الضرورى الحصول على معلومات دقيقة من مصنعى أفران القوس بهذا الشأن، حيث يجب عمل تخفيض فى المعدلات الاعتبارية للمكثفات لاستيعاب تأثير التوافقيات.

١٠- قد يكون من الضرورى استخدام ملفات حثية يمكن ضبط قيمتها موصلة على التوالى لتجنب حدوث رنين (Resonance) فى الدائرة.

ويبين الشكل رقم (٣/٤) أربع حالات لإظهار الطرق المختلفة التى توصل بها مجموعات المكثفات فى التركيبات الكهربائية للفرن.



شكل (٣/٤): طرق توصيل المكثفات لتحسين معامل القدرة فى أفران القوس الكهربى

٣/٤-٢ تحسين معامل القدرة للأفران الحثية

يمكن صهر المعادن أو معالجتها حراريا بواسطة الأفران الحثية، وفى هذه الحالة لا تتولد الحرارة عن طريق القوس الكهربى المباشر وإنما عن طريق المجال المغناطيسى الذى يستحث بدوره الفقد فى المعدن نتيجة للتيارات الدوامية.

ويتم عادة توريد المكثفات باعتبارها جزءا مكملا لتركيبات الفرن الأساسية.

يوجد نوعان من الأفران الحثية:

أ- الفرن الحثى ذو القلب

١- يشكل المعدن المنصهر فى هذا النوع من الأفران، ملفا ثانويا أحادى الطور واقعا تحت قصر فى الدائرة عند جهد يبلغ من (٤٠٠ - ٦٠٠) فولت عند تردد ٥٠ هرتز.

يشار لهذه الأفران غالبا على أنها من النوع ذى القناة ويتم استخدامها بصفة أساسية فى حفظ المعدن فى حالة منصهرة بعد أن يتم صهره أولا فى فرن حثى عديم القلب (Coreless).

٢- تكون قدرة هذه الأنواع من الأفران منخفضة للغاية، وتتميز بأنها حمل كهربى ثابت، ويكون معامل القدرة فى حدود ٠,٧ .

ب- الأفران الحثية عديمة القلب

١- يوجد نوعان من الأفران الحثية عديمة القلب :

- نوع يعمل على تردد المنبع
- نوع يعمل على تردد أعلى من تردد المنبع

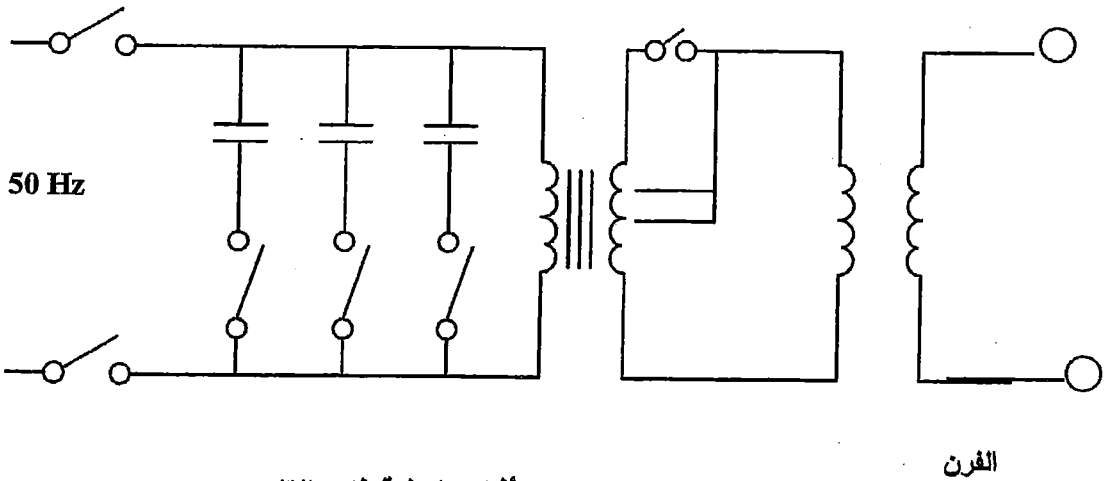
٢- تعتمد فكرة تصميم النوع الذى يعمل بتردد المنبع على إحاطة بوتقة المعدن من الخارج بملف حثى، ويشكل المعدن المنصهر فى هذه الحالة القلب المعدنى للفرن.

٣- يمكن للأفران الحثية عديمة القلب العاملة عند تردد المنبع على جهد منخفض أحادى الطور توفير دفعات من المعدن المنصهر بسرعة كبيرة للغاية وبسعات تتراوح ما بين (٠,٥- ٣٠) طنا، وتتميز هذه الأفران بمعامل قدرة متأخر بالغ الانخفاض قد يهبط حتى ٠,١٥ ولهذا فتعتبر المكثفات جزءا لا يتجزأ من تركيبات الفرن ذاته.

٤- بالرغم من أن حمل الفرن يتزايد مع تطور الصهر، إلا أن معامل القدرة لا يطرأ عليه تحسنا، مما يستلزم أن يكون من بين مجموعات المكثفات قطاعات ثابتة وأخرى متغيرة (قابلة للتوصيل والفصل) وتكون النسب النمطية لقدرات المكثفات فى حدود ٤٠% للقطاعات الثابتة، ٦٠% للقطاعات المتغيرة وقد يصل إجمالى قدرة مجموعات المكثفات (ك. فار) إلى نحو ٦ أو ٧ أمثال قدرة المحول (ك. وات)، فعلى سبيل المثال، قد يحتاج فرن بقدرة ٩ ميجاوات إلى مكثفات تبلغ قدرتها ٦٣ م. فار.

ويبين الشكل رقم (٤/٤) رسما تخطيطيا لدائرة توصيل المكثفات.

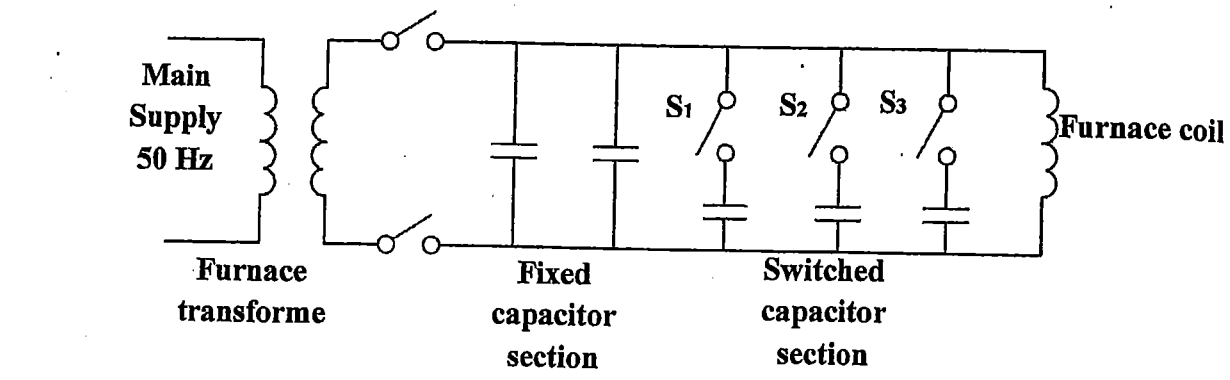
٥- يتم الحصول على القدرة المطلوبة عن طريق مجموعات مكونة من محرك ومولد، وتم استبدالها حاليا بمغيرات تردد استاتيكية وكما هو موضح فى الشكل رقم (٥/٤).



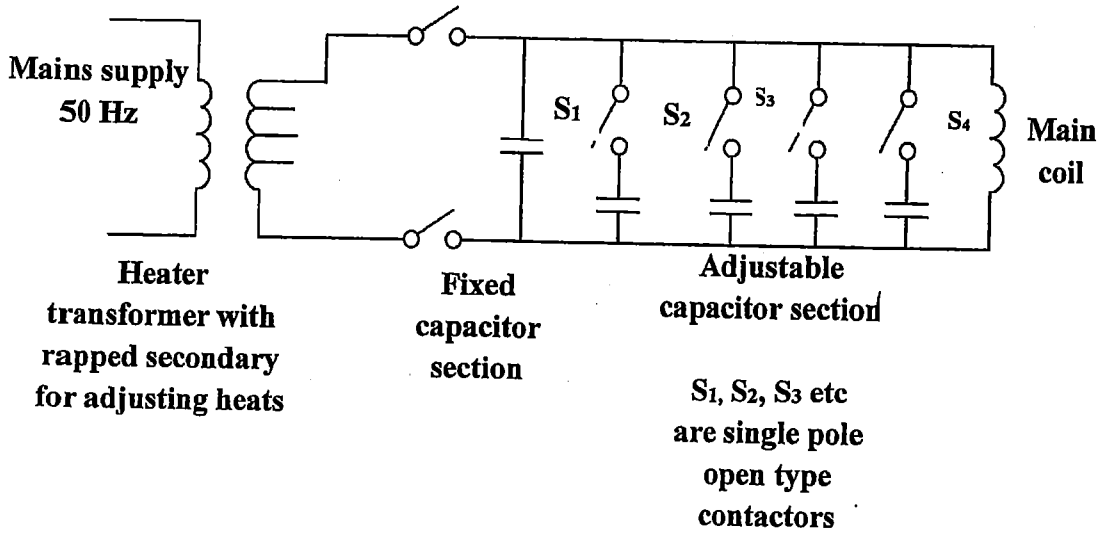
شكل (٤/٤) : دائرة الأفران الحثية ذات القلب

ج- تماثل خصائص الحمل باستخدام تردد متوسط المدى فى نطاق الصهر نظائرها عند استخدام أفران تعمل على تردد المصدر (٥٠ هرتز) ويبلغ معامل القدرة المتأخر قبل التحسين عند التردد متوسط المدى نحو ٠,١، مما يستوجب ضرورة استخدام مجموعات من المكثفات ثابتة وأخرى قابلة للتوصيل والفصل

د- يترتب على زيادة التردد زيادة القدرة غير الفعالة لوحدة الحجم من المكثف وتوجد حاليا فى الخدمة مكثفات بمعدلات قد تصل إلى ١٢٠٠ ك. فار. عند ترددات تتراوح ما بين (١٠٠٠ - ٢٠٠٠) هرتز تعمل على جهود تتراوح ما بين (١٠٠٠ - ١٥٠٠) فولت، ويجرى تبريد الوحدات بالمياه للمساعدة على تسريب الحرارة المتولدة بفعل الفقد فى العزل الكهربائى، (أنظر الجدول رقم (٣/٤))



(a)



(b)

شكل (٤/٥) : دوائر أفران حثية عديمة القلب

جدول (٤/٣) : تأثير التبريد بالمياه فى الأفران الحثية عديمة القلب

النوع	التبريد	كثافة الطاقة (كيلو. فار/لتر)
مكثف فرن ذو تردد متوسط	بالمـــاء	٥,٣
مكثف ذو تردد ٥٠ هرتز	طبيعى	٣,٠

هـ- يتم التحكم فى المكثفات القابلة للتوصيل والفصل عن طريق ملامسات من النوع المفتوح مزودة بمقاومات للحد من اندفاع التيار الكهربائى ومزودة أيضا بمقاومات تفريغ، كما توجد أيضا وسائل إضافية لفصل المكثفات فى حالة اضطراب أو انقطاع تدفق المياه.

٤/٣-٣ تحسين معامل القدرة لأفران التسخين الحثية

١- نتيجة لوجود مدى واسع من التحميل، فانه من المحتمل أن يسبب ذلك ارتفاعا فى قيمة معامل القدرة قبل التحسين فى فرن التسخين مقارنة بفرن الصهر، ويكون عادة معامل القدرة متأخرا وفى الحدود (٠,٤ - ٠,٦). وبالرغم من أن هذه القيمة منخفضة بالقدر الذى يمكن معه تبرير تركيب مكثفات كجزء أساسى من مكونات معدات التسخين المتكاملة، فإن قيمة معامل القدرة بعد التحسين قد لا تكون مرتفعة بنفس القدر الذى تكون عليه فى حالة أفران الصهر.

توجد بعض أفران التسخين التى تعمل بمعامل قدرة بعد التحسين يصل إلى ٠,٨٥ متأخر.

٢- تستخدم عادة مكثفات قياسية طبقا للمواصفات البريطانية BS 1650 أو أية مواصفات مماثلة، إلا أنه يتم عادة تقسيم مجموعات المكثفات للسماح بظروف تحميل متغيرة على ملف الفرن.

٣- لا يتم فصل أو توصيل المكثفات أثناء التسخين وإنما يجرى مسبقا اختبار قدرة المكثف المطلوب لتسخين معدن معين بواسطة سكاكين فصل بدون حمل قبل بدء تشغيل برنامج التسخين.

٤- يمكن أن يحدث توصيل وفصل مجموعات المكثفات بشكل متكرر، وأن تعمل المسخنات على فترات سريعة التردد قد تصل معدلاتها إلى نحو ١٢٠ مرة فى الدقيقة أو على فترات تعرض زمنى قصيرة للاحتفاظ بالحرارة داخل المشغول ولابد من التأكد من حدوث التفريغ السريع لمجموعات المكثفات نتيجة لحدوث توصيل وفصل المكثفات بتكرار مع ملف المسخن وعلى فترات زمنية قصيرة تجنبا لحدوث مشكلات لهذا السبب.

٥- تنطبق الملاحظات الواردة بالبنود السابقة على أفران التسخين العاملة فى مدى التردد المتوسط والتى تستخدم فى حالة المشغولات الأصغر حجما عند ترددات تقع ما بين (٢ – ٥) كيلو هرتز.

٦- يسمح بتقسيم مجموعات المكثفات ذات القدرات الصغيرة وضبط قدراتها أوليا وتجهيز مجموعات منها للتوصيل قبل بدء أية عملية بعينها.

٧- يتم تغذية الأفران العاملة فى نهاية مدى التردد المتوسط وفى نطاق ترددى ما بين (٢ – ٥) ك.هرتز من مصدر جهد عالى مباشرة وباستخدام مغيرات تردد استاتيكية على أن يتم تزويد المعدات بمكثفات مناسبة للتردد المتوسط كجزء مكمل للدائرة المولفة (Tuned circuit)، إلا أنه قد يجرى تصحيح إضافى لمعامل القدرة على المكثفات جهة الجهد المتوسط عند تردد المصدر، وفى هذه الحالة يتم تخفيض قدرة المكثفات الاعتبارية للتغلب على تأثير تيار التوافقيات الذى تولده مغيرات التردد الاستاتيكية.

٤/٣-٤ تحسين معامل القدرة لأفران الجرفتة

١- عندما يكون المراد تحسين معامل القدرة لأفران الجرفته فى الصناعة، يتم استخدام المكثفات الموصلة على التوالى، ويستخدم الجرافيت بكثافة فى تصنيع إلكترودات أفران القوس الكهربائية وفى تصنيع المفاعلات النووية وذلك فى شكل قضبان أسطوانية قد تصل أقطارها إلى ٥٠٠ مم. ويوجد طلب ثابت على هذه القضبان التى يجرى تصنيعها بتمرير تيار كهربى خلال قضبان كربونية مبثوقة حتى يمكن الوصول بعد عدة أيام إلى درجة حرارة نحو ٢٦٠٠ درجة مئوية، وعند هذه الدرجة يتحول الكربون إلى جرافيت، وتتزايد خلال هذه الفترة قيمة التيار من بضعة مئات من الأمبيرات إلى قيمة قصوى تصل إلى حوالى ٤٠ كيلو أمبير عند نهاية فترة التشغيل.

٢- يجرى تغذية أفران الجرفتة من محولات أحادية الطور موصلة بمصدر ذى جهد مرتفع، (من ٦ إلى ١٥ ك. ف). ويكون ثانوى المحول من ترتيبة معقدة من قضبان التوصيل (الباسبارات)، وتمتد هذه القضبان بين كل طرفين من أطراف الفرن الذين تتصل بهما قضبان الكربون. ويسبب هذا النظام انخفاض معامل القدرة عند التيارات المرتفعة. وفى البداية، يساوى معامل القدرة الواحد الصحيح، ولكن بزيادة درجة حرارة الكربون تنخفض مقاومته فيزداد التيار وينخفض معامل القدرة المتأخر حتى يصل إلى نحو ٠,٤ تقريبا عندما يصل التيار فى ثانوى المحول إلى قيمته القصوى التى تقدر بنحو

٤٠ كيلو أمبير. وعلى مدى دورة تسخين كاملة، تزيد النسبة بين مفاعلة الدائرة إلى مقاومتها من ٠,١ إلى ٢.

٣- لا يتطلب تصحيح الحمل على الجانب الابتدائى إلى تحرير محول الفرن من أى أحمال، ويتطلب الأمر تركيب مكثف على التوازى يجرى توصيله وفصله على مراحل، مما يعتبر مكلفا.

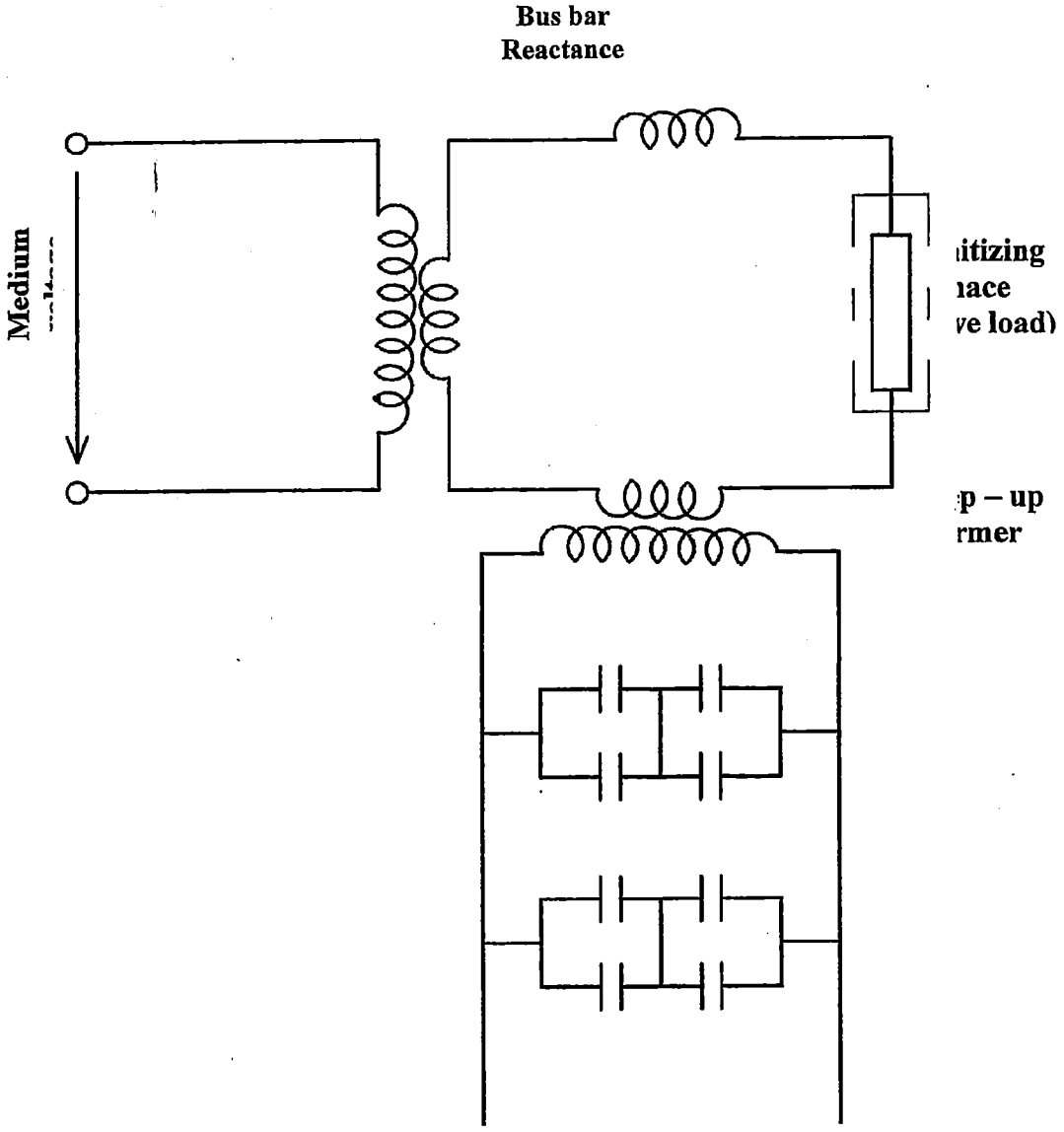
٤- لما كان معامل قدرة فرن الجرفتة يتغير عكسيا مع تيار الحمل، فإن المكثفات الموصلة على التوالى تعتبر طريقة مثالية لتصحيح معامل القدرة وتعطى تحكما أتوماتيكيا غير مرحلى ويتعذر توصيل مثل هذه المكثفات فى الدائرة الثانوية مباشرة لأن التغيرات فى الجهد تتراوح فقط بين (٤٠ -٢٠٠) فولت، ويمكن تركيب محول على التوالى ذى تصميم مناسب، مما يمكن من وضع تصميم اقتصادى قابل للاستخدام ويعتمد على مكثفات موصلة على التوالى.

٥- نظرا لأن التيار الثانوى الذى قد تصل قيمته القصوى إلى ٤٠ كيلو أمبير يمثل فى حد ذاته ظروفا شبيهة تقريبا بظروف حدوث قصر فى الدائرة، لذا لا يتطلب الأمر وجود وحدات مكلفة للوقاية من الجهد الزائد مع المكثفات الموصلة على التوالى والتى تحافظ على معامل القدرة عند واحد صحيح على المدى الكامل لعملية الجرفتة، وقد صممت مجموعات لمكثفات تصل قدرتها القصوى إلى نحو ١٠٠٠ كيلو فار لتناسب ظروف التحميل فى أفران الجرفتة التى تبلغ قدرة محولها ٤ م .ف .أ.، وبدون هذه المكثفات سوف يحتاج الفرن إلى محول قدرته ١٠ م .ف .أ. وعليه، فإن تركيب المكثفات سوف يحقق وفرا فى التكاليف الابتدائية يفوق فى أهميته الوفر المحتمل فى مدفوعات تعريفة الطاقة الكهربائية.

٦-يجرى تركيب مصاهر خارجية لكل وحدة من مجوعات المكثفات، وبالرغم من أن قيمة الجهد الأقصى تتراوح بين (٢٤٠٠- ٤٨٠٠) فولت، فإنها تعتبر منخفضة نسبيا، إلا أنه يجرى فى المعتاد تقسيم مجوعات المكثفات إلى قسمين متساويين بتركيب كل قيم منها من مجموعتين موصلتين على التوازى من وحدات المكثفات إلى قسمين متساويين كل قسم منها مكون من مجموعتين. ويحد هذا التصميم من احتمال انفجار المصهر بفعل التيارات المتدفقة الزائدة عند إعادة تشغيل المصهر إلى التشغيل. ويقدم هذا التصميم الفرصة لاستخدام نظام للوقاية من الجهد الناتج عن عدم الاتزان، وبالرغم من أن مجموعة المكثفات لا تعمل عند الجهد الكامل بشكل متصل، لكونها موصلة على التوالى، إلا أن أى فقد لوحدة مكثفية سوف يزيد من الجهد عير المجموعة بأكملها، ومن المهم إعطاء تحذير ما حتى يمكن اتخاذ الترتيبات لاستعادة الاتزان فى

وقت مناسب. كذلك سوف يسمح هذا التصميم بكشف أى جهد زائد قد يظهر عبر المكثف نتيجة لاضطراب خطوات التشغيل.

ويبين الشكل رقم (٦/٤) التوصيلات النمطية لمكثفات موصلة على التوالى فى فرن جرفتة، ومن المعتاد أن تتضمن فولتميتر موصل على التوازى عبر طرفى المكثف فى غرفة التحكم فى الفرن.



شكل (٦/٤) : التوصيلات النمطية لمكثفات موصلة على التوالى فى فرن جرفتة

الباب الخامس

التنفيذ والفحص والاختبار واستلام أعمال تحسين معامل القدرة

٥/١ التنفيذ

١- يجب أن تكون رؤية أية علامة إضافية أو ملصقات على بدن المكثف واضحة للواقف على مستوى الأرضية.

٢- يجب استخدام اللون الأزرق لتمييز المائع داخل المكثف، ويحظر أن يحتوى على مادة ثنائى الفنيل متعددة الكلورة (Polychlorinated biphenyl , (PCB)) الممنوع استخدامها دوليا كسائل للعزل.

٣- يجب توضيح المعلومات المتعلقة بأمان الأشخاص أو المعدات جيدا، إما على لوحة البيان الملصقة على وعاء المكثف، أو على صحيفة التعليمات المرفقة مع المكثف.

٤- يجب فى حالة تحسين معامل قدرة المحركات تركيب المكثفات جهة تغذية المحرك بعد المفتاح، وذلك لتسهيل توصيل وفصل المكثفات مع تشغيل وإيقاف المحرك.

٥- يجب تثبت رسم به مخطط للوحة داخل حجرة اللوحات أو داخل هيكل اللوحة موضحاً به سعات القواطع وقطاعات المغذيات.

٦- يجب تركيب اللوحات فى أماكن ظاهرة وبعيدة عن متناول غير المختصين.

٧- يجب ترك مسافة كافية حول اللوحة من جهة تشغيلها (واجهة اللوحة والحائط المقابل لها) أو بينها وبين اللوحة التالية أو بينها وبين أى عائق لضمان سهولة التشغيل والصيانة.

٨- يجب توصيل أجسام اللوحات إلى قضيب التأريض الرئيسى بالمبنى وكذا تأريض أبواب اللوحات.

٩- تثبت بطاقة على كل لوحة مبينا بها نوع وقيمة الجهد وعدد الأطوار وجهد التحكم (إن وجد).

١٠- توضع أرقام مسلسلة على جميع اللوحات وتكون الأرقام مطابقة للوارد فى الرسومات النهائية.

١١- توضع بطاقات بحروف أو أرقام مسلسلة أسفل جميع قواطع ومفاتيح ومصاهر اللوحات.

١٢- يجب ترك مسافة لا تقل عن ٣٠٠ مم بين المعدات المركبة فى اللوحة وأطراف النهايات المخصصة للكابلات المغذية لها أو الخارجة منها.

١٣- يراعى عند تركيب مفتاح سكينة أن يتصل مصدر التغذية بالأطراف الثابتة منها بحيث يكون الجزء المتحرك للسكينة عند فتحها غير مكهرب.

١٤- يجب أن تكون الأدوات والأجهزة التى تركب فى باب اللوحة الموجودة فى أماكن معرضة للمياه من النوع المقاوم للمياه (درجة حماية IP 54 على الأقل) ويجب أن تدخلها كابلات التغذية من خلال حلقة حشو وصامولة خاصة (Cable or conduit glands).

١٥- يجب أن تكون الأدوات والأجهزة التى تركب فى أماكن بها غازات أو أبخرة قابلة للاشتعال حول اللوحة، من النوع المقاوم للهب ومطابقة للمواصفات القياسية المصرية الخاصة بها كما تكون توصيلاتها من النوع المقاوم للهب أيضاً.

١٦- يجب تفريغ الشحنة الكهربائية لكل مكثف قبل نقل أو تحريك اللوحة أو المكثف.

٢/٥ الفحص

أ- يجب فحص جميع التركيبات والتوصيلات الكهربائية ظاهريا واختبارها عند الانتهاء منها وقبل توصيل التيار الكهربائى لها بغرض التشغيل، وذلك للتأكد من تحقيق المتطلبات الواردة فى الكود والتأكد من صلاحيتها وكفاءتها ومطابقتها للمواصفات. ويراعى تزويد الأشخاص القائمين بالمعاينة والاختبارات بالرسومات النهائية والبيانات اللازمة.

ب- يجب تفريغ الشحنة الكهربائية لكل مكثف قبل البدء فى إجراءات الفحص أو الاختبارات.

ج- يتم التأكد من أن جميع التركيبات والتوصيلات تمت حسب الرسومات المعتمدة ولا يوجد أى تلفيات بالتوصيلات.

د- يكون الفحص للتأكد من:

١- نوع الموصلات المستخدمة ومقاساتها

٢- طريقة التوصيل والرباطات

٣- التوصيل السليم لنقاط التوزيع

٤- كتابة أسماء الدوائر والمفاتيح المختلفة عليها

٥- مطابقة الحاوية أو اللوحة للمواصفات

٣/٥ الاختبارات واستلام الأعمال

٣/٥-١ الاختبارات

١- تكون جميع التجارب والاختبارات التى يتم إجراؤها على التركيبات الكهربائية على نفقة المقاول وتجرى بواسطة عماله المتخصصين والمدربين على ذلك أو بواسطة فنيين آخرين من الباطن وبمعداته وبأجهزة قياس معايرة ومزودة بشهادة تفيد صلاحية استخدامها وقت إجراء التجارب ويقدمها المقاول طبقاً لطلب المهندس.

٢- للمهندس الحق فى إرسال أى عينات من المواد أو المهمات التى يوردها المقاول لمعامل معتمدة لاختبارها اختبارا روتينيا والتأكد من صلاحية أدائها ومطابقتها للشروط والمواصفات ويكون ذلك على نفقة المقاول.

٣- يحق للمهندس إرسال مندوبه لحضور كل أو بعض هذه الاختبارات. وتقترح بيانات الاختبارات من المنتج أو المقاول لتتيح للمهندس أو مندوبه مشاهدة الاختبارات والنتائج ومراجعة شهادات الاختبارات التى ترسل للمهندس.

٤- تتم جميع الاختبارات طبقاً لما جاء فى آخر طبعه للكود المصرى لأسس تصميم وشروط تنفيذ التوصيلات والتركيبات الكهربائية فى المبانى وكذلك المواصفات القياسية المصرية والمواصفات الكهروتقنية الدولية المناظرة.

٥- يجب اتخاذ كافة الاحتياطات أثناء المعاينة والاختبارات لتلافى حدوث أية أخطار للأشخاص أو المهمات المركبة، و يجب أن يؤخذ فى الاعتبار احتمال وجود خلل فى بعض الدوائر موضوع المعاينة والاختبار.

٥/٣-٢ أنواع الاختبارات التى تجرى على المهمات

تشتمل الاختبارات التى تجرى على المهمات المستخدمة فى التركيبات الكهربائية على ثلاثة أنواع موضحة كما يلى:

أ- الاختبارات النوعية (Type tests)

- هى الاختبارات التى تجرى على المعدات والمتطابقة مع متطلبات المواصفات الكهروتقنية الدولية IEC قبل توريدها للموقع وذلك للتأكد من أدائها للغرض الموردة من أجله.
- يجرى الاختبار على عينة من المعدات المنتجة نهائياً أو بعض الأجزاء من مكوناتها للتأكد من أنها تطابق مواصفات التصميم المطلوب. ولا توجد ضرورة لتكرار إجراء الاختبارات ما لم يتم تغيير فى المواد المصنعة منها أو فى تصميمها بما يؤدى إلى تغير للصفات المميزة للمواد الداخلة فى التصنيع ومن ثم فى أدائها.
- يجب الرجوع إلى كل فقرة متعلقة من المواصفات الكهروتقنية الدولية IEC 60439-1 وذلك للاختبارات النوعية التالية:

١- التأكد من حدود ارتفاع درجة الحرارة

Verification of temperature- rise limits

وعندما تكون التركيبات مجهزة بأنظمة للوقاية أو التحكم للحد من القيمة العظمى للتيار، فإن تيار الاختبار يكون مناظرا لهذه القيمة العظمى، أما فى حالة عدم التجهيز بهذه الأنظمة فإن تيار الاختبار يكون ١,٢ مرة للتيار المقنن

٢- التأكد من خصائص العزل الكهربى Verification of dielectric properties

٣- التأكد من الصمود لحدوث قصر الدائرة

Verification of the short- circuit withstand strength

٤- التأكد من فعالية دوائر الوقاية

Verification of the effectiveness of the protective circuit

٥- التأكد من مسافات الزحف والخلوص

Verification of clearances and creepage distances

٦- التأكد من التشغيل الميكانيكى Verification of mechanical operation

٧- التأكد من درجة الحماية "IP" Verification of degree of protection

ب- اختبارات المصنع المنتج (Factory tests) (الاختبارات الروتينية)

- هى الاختبارات التى تجرى بالمصنع على المعدات والمتطابقة مع متطلبات المواصفات الكهروتقنية الدولية IEC كما سيرد ذكره فيما بعد لكل اختبار قبل توريدها للموقع وذلك للتأكد من مطابقتها للمواصفات وأدائها للغرض الموردة من أجله.
- يجب الرجوع إلى كل فقرة متعلقة من المواصفات الكهروتقنية الدولية IEC 60439-1 وذلك للاختبارات الروتينية التالية:

١- التفتيش على المعدة وهى مجمعة Assembly شاملا التفتيش على التمديدات وعلى اختبار التشغيل

٢- اختبار العزل الكهربى Dielectric test

٣- التأكد من إجراءات الوقاية و الاستمرارية الكهربية لدوائر الوقاية

٤- التأكد من مقاومة العزل

٥- اختبارات العزل بين الملفات وبين الملفات و الأرض

ج- اختبارات الموقع (Site tests)

- هى الاختبارات التى تجرى بالموقع بعد النقل والتركيب للتأكد من سلامة النقل وعدم تعرض المنتج لأى تغييرات أثناء النقل وكذلك للتأكد من سلامة أوضاع التركيب وسلامة الأداء فى هذه الأوضاع.
- لمزيد من المعلومات عن جميع أنواع الاختبارات، يمكن الرجوع إلى كود التركيبات الكهربائية- المجلد الثالث: الاختبارات واستلام الأعمال لبند اللوحات الكهربائية للجهد المنخفض.

٥/٣-٣ استلام الأعمال

٥/٣-٣-١ عام

(١) تكون جميع الأجهزة والمهمات والمعدات والأعمال الكهربائية حتى تاريخ الاستلام الابتدائى لكافة الأعمال فى عهدة المقاول وتحت مسئوليته وعليه أن يعالج بمعرفته وعلى نفقته جميع العيوب التى تظهر أو الأضرار التى تنشأ من أى سبب كان سواء كان ذلك قبل أو بعد اعتماد المهندس لهذا الجزء من الأعمال الذى حدثت به الأضرار.

(٢) على المقاول أن يزيل من الموقع جميع المنشآت المؤقتة والأعمال المؤقتة من كل نوع مع نقل المخلفات الخاصة إلى المقالب العمومية وأن يرمم كل التلفيات فى أعمال الدهانات والناتجة عن التركيبات وذلك فور الانتهاء من أعمال التعاقد.

(٣) بمجرد إتمام الأعمال، يقوم المقاول بإخطار المهندس كتابة بأنه تم الانتهاء من الأعمال المطلوبة، ويقوم المهندس بتحديد اليوم الذى ستتم فيه المعاينة التى تجرى بمعرفة المهندس وبحضور المقاول أو مندوبه و تجرى فى غيابه إذا لم يحضر فى الموعد المحدد بعد إخطاره كتابة بذلك.

(٤) إذا اتضح من المعاينة أن العمل قد تم طبقا للكود والمواصفات القياسية ومواصفات المشروع، يتم البدء فى اتخاذ إجراءات الاستلام الابتدائى.

أما إذا أظهرت المعاينة أن العمل لم ينفذ على الوجه الأكمل، فيؤجل الاستلام الابتدائى إلى أن يتضح أن الأعمال قد تمت بما يطابق المتطلبات.

٥/٣-٣-٢ المستندات والإجراءات التى تسبق الاستلام الابتدائى

يجب استيفاء المستندات والإجراءات التالية حتى يمكن البدء فى أعمال الاستلام الإبتدائى:

١- الرسومات النهائية (As- built Drawings)

يقوم المقاول بعد الانتهاء من تنفيذ جميع الأعمال وأثناء اختبار تشغيلها وحصرها وقبل تسليمها ابتدائياً بتجهيز هذه الرسومات بمقياس رسم مناسب (١ : ١٠٠ ، ١ : ٥٠) على ورق (Hard copy) لإمكانية إعادة الطبع منها وكذلك على قرص مدمج (CD) ويكتب عليها (As- Built drawings) أو (As- Constructed) وكذلك (الرسومات النهائية) ويجب أن يكون واضحاً بدقة فى هذه الرسومات جميع ما تم تنفيذه من أعمال على الطبيعة متضمناً كافة البيانات والأبعاد وكافة ما توضح على الرسومات التنفيذية بعد إجراء ما تم من تعديلات عليها.

٢- دليل التشغيل والصيانة (Operation & maintenance manuals)

(أ) على المقاول تقديم كافة النشرات الخاصة بالتشغيل والصيانة لجميع أجزاء ومفردات المشروع تحت الاستلام وهى التى يلزم الرجوع إليها عند عمل الصيانة أو عند عمل أى تعديلات أو توسعات فى المستقبل (ويجب أن تحدد عدد النسخ بالعطاء ولا تقل عن عدد (٢) نسخة.

(ب) يجب أن يقدم المقاول كشفا بعناوين جميع الموردين لمهمات ومعدات المشروع وتليفوناتهم وبريدهم الإلكترونى وأقرب مراكز للصيانة وقطع الغيار لمهمات المشروع للرجوع إليهم عند الحاجة.

٣- قوائم قطع الغيار

(أ) يقوم المقاول بتسليم بيان بقطع الغيار التى يمكن أن يكون المشروع فى حاجة إليها خلال فترة تشغيل عادية لمدة ٥ سنوات معتمدة من الوكلاء التجاريين للمعدات والأجهزة والمهمات الموردة بالمشروع و كذلك يذكر الأرقام الخاصة بهذه القطع (Spare part No.) والمصادر التى يمكن منها الحصول عليها.

(ب) قد يرى مالك واستشارى المشروع وأثناء إعداد مستندات النشر أن ينص فى دفتر الشروط والمواصفات والكميات على قيام المقاول بأعمال الصيانة الوقائية خلال سنة الضمان وقد يكون هذا النص شاملاً قيام المقاول بتدبير قطع الغيار اللازمة أو بدونه.

٤- دفاتر حصر الأعمال

حيث أن الكميات الواردة بمقايسة الأعمال هى كميات استرشادية، كما أن ما يجرى أثناء التنفيذ من تعديلات قد تكون صغيرة أو كبيرة، وبالإضافة إلى ما تم أثناء التنفيذ من حصر الأعمال دورياً لعمل المستخلصات أول بأول مع تقدم سير العمل بالمشروع، فإنه يتم الحصر والقياس تبعاً لنوع الوحدة الملصوص عليها فى دفتر البنود والكميات سواء بالعدد أو بالمتر الطولى بالنسبة للكابلات أو بالمقطوعية هذا ويتم إعداد دفاتر الحصر بحيث يدون كل بند فى صفحة ويدون بالصفحة المقابلة تفاصيل الحصر بالأدوار أو المبانى المختلفة أو للأطوال من/إلى وهكذا، بحيث يكون أمام كل بند تفاصيل تنفيذه عداً أو قياساً من الطبيعة ومن الرسومات النهائية.

٥- شهادات الاختبارات

يجب أن ترفق كافة شهادات الاختبارات لجميع المهمات والأجهزة والمعدات بالمشروع فى ملف خاص يسلم قبل إجراء الاستلام الابتدائى للمشروع.

وتشمل الاختبارات على تقارير الاختبارات النوعية، اختبارات المصنع المنتج (الاختبارات الروتينية) واختبارات الموقع.

٦- قوائم استلام الأعمال

يتم استيفاء نماذج قوائم استلام الأعمال.

٧- تدريب المختصين

نظرا لأهمية تدريب الكوادر وتأهيلهم لتشغيل وصيانة المشروع بعد انتهائه، فإن المقاول يكون مسئولا عن تدريب جهاز التشغيل من قِبَل المالك (مهندسين وفنيين ومتخصصين) وتزويدهم بكافة المعلومات والبيانات الضرورية اللازمة سواء لأعمال التشغيل أو الصيانة. ويتم التدريب من قِبَل مهندسى المقاول أو الشركة المنتجة على أعمال تشغيل المهمات ومراقبتها وصيانتها طبقاً لنصوص العقد الذى يحدد مدة ومكان التدريب سواء بالموقع أو بمصانع الشركة المنتجة.

٨- الاستلام الابتدائى

(أ) إذا تم استيفاء جميع المستندات المطلوبة للاستلام الابتدائى وإتمام تدريب المختصين، واتضح من المعاينة والمراجعات وتجارب التشغيل الوظيفى أن جميع الأعمال قد تمت طبقاً لشروط ومواصفات العقد، فيتم عمل إجراءات الاستلام الابتدائى.

(ب) يحرر محضر رسمى للاستلام الابتدائى من ثلاث صور (للمقاول والمالك والمهندس).

ويذكر فى المحضر:

- أن المقاول قد قام بكافه الأعمال على الوجه الأكمل أو
- أنه توجد ملاحظات لا تعيق الاستلام (و تذكر)
- ملاحظات يتم الخصم عليها (وتذكر) ويذكر الخصم أو نسبته
- ما تم من تعلية نظير المخالفات ويحدد للمقاول مدة زمنية لتلافى هذه المخالفات.

ويمكن أن تصرف هذه التعليات بشهادة من اللجنة مرة أخرى (إذا كانت تستدعى حضور اللجنة) أو بشهادة من القائمين بالتشغيل بموقع المشروع.

(ت) بعد إجراء الاستلام الابتدائى، تحرر كشوف الختامى مرفقاً بها دفاتر الحصر وتعتمد من كل من المقاول والمهندس والمالك أو المفوضين من قبلهم لصرف قيمتها بعد خصم قيمة التأمين النهائى للأعمال لحين انتهاء فترة الضمان.

٩- شهادة إتمام العمل فى التركيبات الكهربائية

بعد إتمام المعاينات والاختبارات المطلوبة واعتمادها من مهندس كهربائى متخصص، يقوم المقاول أو من ينوب عنه بتقديم شهادة إتمام العمل إلى المالك أو من ينوب عنه، وذلك بعد استكمال أى أعمال ناقصة وإصلاح أى عيوب تظهر أثناء المعاينة أو الاختبارات. ويجب أن ترفق شهادات المعاينات و الاختبارات المعتمدة مع شهادة إتمام العمل فى التركيبات.

١٠- ضمان الأعمال

(أ) يضمن المقاول جميع الأعمال محل التعاقد وذلك لمدة سنة كاملة من تاريخ محضر الاستلام الابتدائى للمشروع أو حسب ما يذكر فى مستندات المشروع وعليه إجراء كافة الإصلاحات اللازمة خلال هذه الفترة مع تحمله كافة تكاليف الإصلاحات.

(ب) إذا ثبت تقصير المقاول فى تنفيذ الإصلاحات بحد أقصى ١٥ يوماً من تاريخ إنذاره كتابة بذلك، (إلا إذا تحددت مدة غير ذلك فى مستندات المشروع)، يتم خصم تكاليف هذه الإصلاحات من التأمين النهائى أو من أى مستحقات أخرى للمقاول وليس للمقاول الرجوع إلى القضاء فى هذا الشأن بأى حال من الأحوال.

(ج) يكون المقاول مسئولاً عن كل خطر يحدث للمهمات أو الأفراد طوال مدة الضمان نتيجة التشغيل العادى.

١١- الاستلام النهائى

(أ) إذا قام المقاول بالوفاء بجميع ما عليه من التزامات طبقاً لشروط العقد وبالأخص ضمان الأعمال خلال فترة الضمان المنصوص عليها، يقوم المقاول بإخطار المالك كتابة برغبته فى تسليم الأعمال نهائياً.

(ب) يتم تشكيل لجنة الاستلام وتكون مكونة من المالك والمهندس والمقاول أو من ينوب عنهم ويتم تحرير محضر استلام نهائى للأعمال ويوقع عليه كل من المهندس والمقاول والمالك أو من يفوضونه فى ذلك.

(ج) إذا أخل المقاول بأى التزامات عليه وعلى الأخص بالنسبة لضمان الأعمال، فإنه يتم تأجيل الاستلام النهائى لحين تنفيذ كل التزامات المقاول.

(د) بعد التصديق على محضر الاستلام النهائى، يصرف للمقاول قيمة التأمين النهائى للأعمال والمودع لدى المالك أو يتم رد خطاب الضمان البنكى إلى المقاول خلال أسبوع على الأكثر (إلا إذا تحددت مدة غير ذلك فى مستندات المشروع).

٤/٥ الصيانة

١- تحتاج المكثفات لصيانة دورية بسيطة وسهلة، عبارة عن عمل نظافة للمكثف وإحكام ربط لأطرافه أخذا فى الاعتبار وسائل الأمان والاحتياطات اللازمة، علما بأن الحرارة الناتجة عن عدم إحكام ربط الوصلات قد تتسبب فى إتلاف المكثف.

٢- يجب قبل إدخال المكثفات فى الخدمة، إجراء تفريغ شحناتها باستخدام مقاومة التفريغ ولا يتم التفريغ عن طريق عمل قصر بين طرفى المكثف حيث يتسبب هذا فى انهيار المكثف.

٣- يجب مراعاة إجراء تفريغ شحنة المكثف قبل نقله من مكان إلى آخر.

٤- يمكن التأكد من صلاحية المكثف عن طريق أفوميتر كالآتى:

- المكثف السليم يعطى مقاومة لانهائية بين كل طرف والأرض
- المكثف غير السليم يشير إلى دائرة قصر عند توصيل أطرافه بالأفوميتر

ويوضح الملحق رقم (م٣) أعطال لوحة المكثفات والمصاهر.

المراجع

١- الكود المصرى لأسس تصميم وشروط تنفيذ التوصيلات والتركيبات الكهربائية فى المبانى – الأنظمة الخاصة
المجلد السادس: تحسين معامل القدرة – ٢٠٠٤,

٢- الكود المصرى لأسس تصميم وشروط تنفيذ التوصيلات والتركيبات الكهربائية فى المبانى
المجلد الأول: أسس التصميم – ٢٠١٢.

٣- الكود المصرى لأسس تصميم وشروط تنفيذ التوصيلات والتركيبات الكهربائية فى المبانى
المجلد الثانى: شروط التنفيذ – ٢٠١٢.

٤- الكود المصرى لأسس تصميم وشروط تنفيذ التوصيلات والتركيبات الكهربائية فى المبانى
المجلد الثالث: الاختبارات واستلام الأعمال – ٢٠١٣.

٥- الكود المصرى لتحسين كفاءة استخدام الطاقة فى المبانى
الجزء الثانى: المبانى التجارية – ٢٠٠٥.

٦- المواصفة القياسية المصرية رقم ٢٠١٠ لسنة ١٩٩١ :
إرشادات لتركيب وتشغيل مكثفات القدرة.

٧- المواصفة القياسية المصرية رقم ٢٠١١ لسنة ١٩٩١ :
متطلبات الأمان لمكثفات القدرة.

٨- المواصفة القياسية المصرية رقم ٢٠١٢ لسنة ١٩٩١ :
متطلبات الجودة واختبار مكثفات القدرة.

٩- المواصفة القياسية المصرية رقم ٦١٣٥-٠١ /٢٠٠٧
لوحات معدات الفصل و التوصيل والتحكم ذات الجهد المنخفض ج ١ : مجموعات مختبرة حسب الطراز آليا وجزئيا.

١٠- المواصفة القياسية المصرية رقم ٦٤٧٧/ ٢٠٠٨
معدات الفصل والتوصيل والتحكم للجهد المنخفض –معدات مساعدة قوالب نهايات التوصيل للموصل الواقي النحاسي .

١١- المواصفة القياسية المصرية رقم ٢٠١٠/٧٢٢١
معدات الفصل والتوصيل والتحكم ذات الجهد المنخفض – مفاتيح الفصل والوصل، سكاكين القطع، مفاتيح سكاكين الفصل ووحدات تجميعة المصهر.

١٢- المواصفة القياسية المصرية رقم ٢٠٠٨/٦٤٧٦
أبعاد معدات الفصل والتوصيل والتحكم للجهد المنخفض التثبيت القياسي على قضبان للتثبيت الميكانيكي للنبائط الكهربائية في تركيبات معدات الفصل والتوصيل والتحكم.

١٣- المواصفة القياسية المصرية رقم ٠٢٦٥- ٠١ /٢٠٠٦ .
مصهرات الجهد المنخفض ج ١ :المتطلبات العامة.

١٤- المواصفة القياسية المصرية رقم ٠٢٦٥-٠٣/ ٢٠٠٦
مصهرات الجهد المنخفض ج ٣ :متطلبات اضافية للمصهرات المستخدمة بواسطة اشخاص غير مدربين- مصهرات مستخدمه للاغراض المنزلية وما شابهها .

١٥- المواصفة القياسية المصرية رقم ٥٦٢٩- ٢٠٠٧/٠١
الأمان الكهربى فى أنظمة توزيع الجهد المنخفض حتى ١٠٠٠ فولت للتيار المتردد وحتى ١٥٠٠ فولت للتيار المستمر – الأجهزة المستخدمة فى الإختبارات أو القياس أو مراقبة وسائل الحماية ج ١ : متطلبات عامة.

١٦- المواصفة القياسية المصرية رقم ٥٦٢٩- ٢٠٠٧/٠٢
الأمان الكهربى فى أنظمة توزيع الجهد المنخفض حتى ١٠٠٠ فولت للتيار المتردد وحتى ١٥٠٠ فولت للتيار المستمر – الأجهزة المستخدمة فى الإختبارات أو القياس أو مراقبة وسائل الحماية – ج ٢ : مقاومة العزل.

١٧- المواصفة القياسية المصرية رقم ٥٦٢٩- ٢٠٠٧/٠٣
الأمان الكهربى فى أنظمة توزيع الجهد المنخفض حتى ١٠٠٠ فولت للتيار المتردد وحتى ١٥٠٠ فولت للتيار المستمر – الأجهزة المستخدمة فى الإختبارات أو القياس أو مراقبة وسائل الحماية – ج ٣ : معاوقة المسار المغلق.

١٨- المواصفة القياسية المصرية رقم ٥٦٢٩- ٢٠٠٧/٠٤
الأمان الكهربى فى أنظمة توزيع الجهد المنخفض حتى ١٠٠٠ فولت للتيار المتردد وحتى ١٥٠٠ فولت للتيار المستمر – الأجهزة المستخدمة فى الإختبارات أو القياس أو مراقبة وسائل الحماية – ج٤ :مقاومة توصيلات الأرض وتساوى جهد نقاط الربط.

١٩- المواصفة القياسية المصرية رقم ٥٦٢٩- ٢٠٠٧/٠٥
الأمان الكهربى فى أنظمة توزيع الجهد المنخفض حتى ١٠٠٠ فولت للتيار المتردد وحتى ١٥٠٠ فولت للتيار المستمر – أجهزة الإختبار ، القياس أو المراقبة لوسائل الحماية ج ٥ :المقاومة للأرضى.

20- IEC 61921 Ed. 1.0 , 2003
Power capacitors - Low-voltage power factor correction banks.

21- IEC 61048 Ed. 2.0, 2006
Auxiliaries for lamps - Capacitors for use in tubular fluorescent and other discharge lamp circuits - General and safety requirements.

22- IEC 61049 Ed. 1.0, 1991
Capacitors for use in tubular fluorescent and other discharge lamp circuits. Performance requirements.

23- IEC 60252-1 Ed. 2.1 Consol. with am1, 2013
AC motor capacitors - Part 1: General - Performance, testing and rating - Safety requirements - Guidance for installation and operation.

24- IEC 60931-1 Ed. 2.0, 1996
Shunt power capacitors of the non-self-healing type for a.c. systems having a rated voltage up to and including 1000 V - Part 1: General - Performance, testing and rating - Safety requirements - Guide for installation and operation.

25- IEC 60931-2 Ed. 2.0, 1995
Shunt power capacitors of the non-self-healing type for a.c. systems having a rated voltage up to and including 1000 V - Part 2: Ageing test and destruction test.

26- IEC 60931-3 Ed. 1.0, 1996
Shunt capacitors of the non-self-healing type for AC power systems having a rated voltage up to and including 1000 V Part 3: Internal fuses.

27- IEC 60831-1 Ed. 3.0, 2014
Shunt power capacitors of the self-healing type for a.c. systems having a rated voltage up to and including 1 000V Part 1: General - Performance, testing and rating - Safety requirements - Guide for installation and operation.

28- IEC 60831-2 Ed. 3.0, 2014
Shunt power capacitors of the self-healing type for a.c. systems having a rated voltage up to and including 1 000 V - Part 2: Ageing test, self-healing test and destruction test.

29- IEC 61642 Ed. 1.0, 1997
Industrial a.c. networks affected by harmonics - Application of filters and shunt capacitors.

30- IEC 61439-3 Ed. 1.0, 2012
Low-voltage switchgear and control gear assemblies - Part 3: Distribution boards intended to be operated by ordinary persons (DBO).

31- IEC 61439- 4 Ed. 1.0, 2012
Low-voltage switchgear and control gear assemblies - Part 4: Particular requirements for assemblies for construction sites (ACS).

32- IEC/TR 61641 Ed. 2.0, 2008
Enclosed low-voltage switchgear and control gear assemblies - Guide for testing under conditions of arcing due to internal fault.

33- IEC 60439-1, 1999
Low-voltage switch gear and control gear assemblies.
Part 1: Type-tested and partially type-tested assemblies.

34- BS 1650,1971
Specification for capacitors for connection to power-frequency systems.

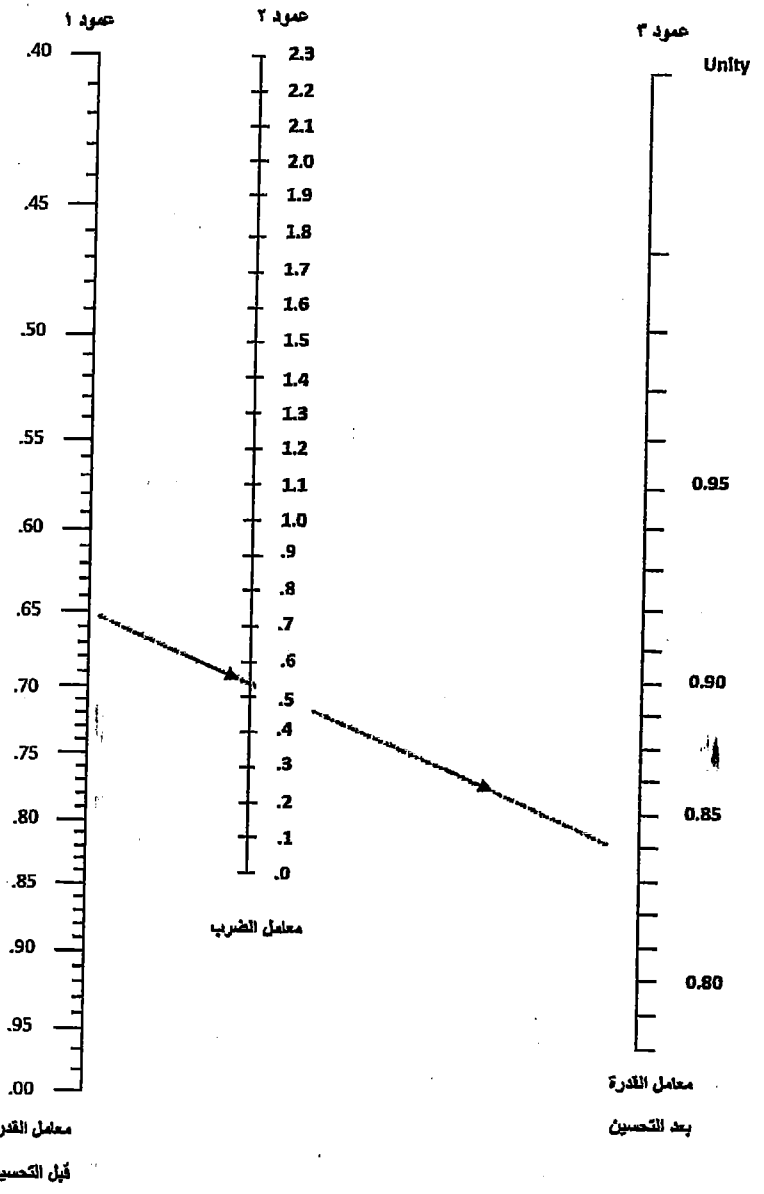
ملحق (م١): نورموجرام لحسابات تحسين معامل القدرة

ملحق (م١/١): نورموجرام لتحديد معامل الضرب نتيجة لتحسين معامل القدرة

يوضح الشكل رقم (م١/١) نورموجرام لتحديد معامل الضرب نتيجة لتحسين معامل القدرة.

يتم رسم خط من قيمة معامل القدرة قبل التحسين (عمود ١) إلى قيمة معامل القدرة بعد التحسين (عمود ٣) فيقطع عمود ٣ عند قيمة معامل الضرب.

يتم ضرب قيمة هذا المعامل فى القدرة الفعلية لنحصل على قيمة القدرة غير الفعالة للمكثفات المطلوبة.

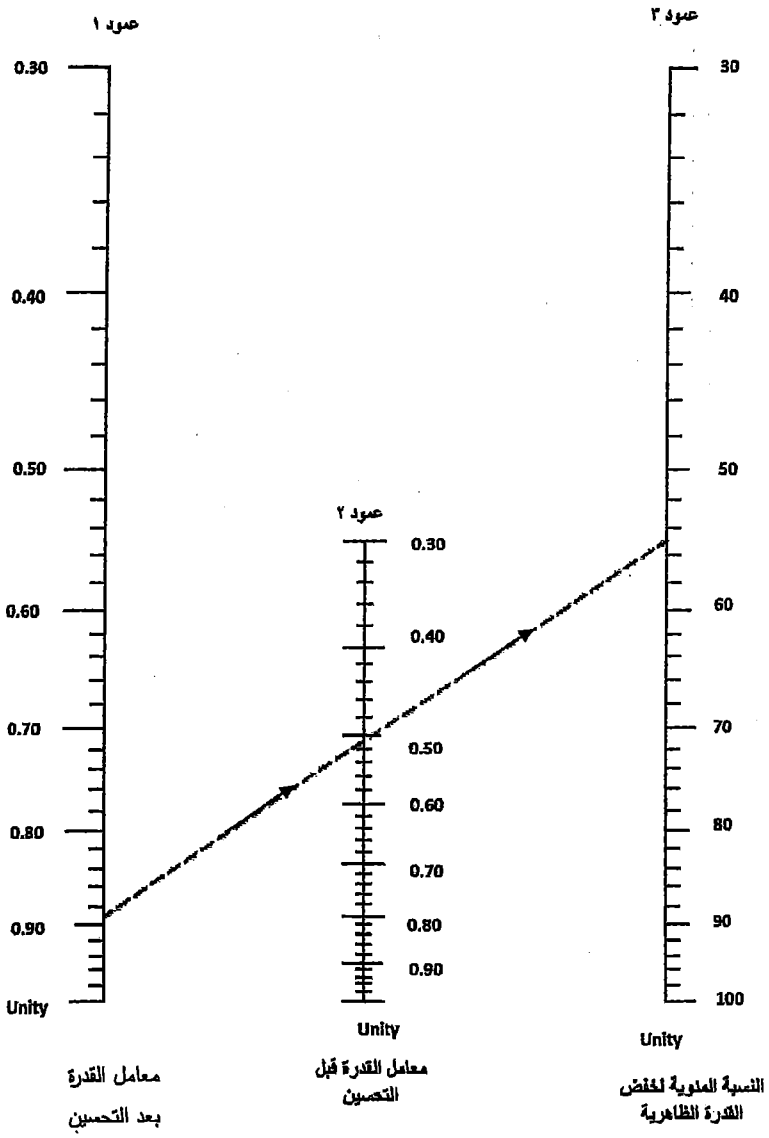


شكل (م١/١): نورموجرام لتحديد معامل الضرب نتيجة لتحسين معامل القدرة

ملحق (م/٢/١): نورموجرام لتحديد النسبة المئوية لخفض القدرة الظاهرية نتيجة لتحسين معامل القدرة

يوضح الشكل رقم (م/٢/١) نورموجرام لتحديد النسبة المئوية لخفض القدرة الظاهرية نتيجة لتحسين معامل القدرة.

يتم رسم خط من قيمة معامل القدرة قبل التحسين (عمود ١) إلى قيمة معامل القدرة بعد التحسين (عمود ٢) فيقطع عمود ٣ عند قيمة النسبة المئوية لخفض القدرة الظاهرية نتيجة لتحسين معامل القدرة.



شكل (م/٢/١) نورموجرام لتحديد النسبة المئوية لخفض القدرة الظاهرية

ملحق (م/٣/١): جدول معامل الضرب (k) لحساب القدرة الظاهرية للمكثفات المطلوبة

kVAR rating of capacitor bank to install per kW, to improve cos Φ_1 (the power factor) to a given value												
cos Φ_1	cos Φ_2											
	0.80	0.86	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99
0.40	1.557	1.89	1.80	1.83	1.86	1.89	1.92	1.95	1.99	2.03	2.085	2.148
0.41	1474	1.82	1.74	1.76	1.79	1.83	1.84	1.89	1.93	1.97	2.021	2082
0.42	1.413	1.56	1.68	1.70	1.73	1.77	1.80	1.83	1.87	1.91	1.961	2.022
0.43	1.356	1.49	1.62	1.65	1.68	1.71	1.74	1.77	1.81	1.85	1.903	1.964
0.44	1.290	1.44	1.55	1-	1.61	1.64	1.67	1.71	1.75	1.79	1.837	1.899
0.45	1.230	1.38	1.50	1.53	1.56	1.59	1.62	1.65	1.69	1.73	1.784	1.846
0.46	1.179	1.33	1.44	1.47	1.50	1.53	1-	1.60	1.63	1.67	1.725	1.786
0.47	1.130	1.27	1.39	1.42	1.45	1.48	1.51	1.53	1.58	1.62	1.677	1.758
0.48	1.076	1.22	1.34	1.37	1.40	1.43	1.46	1.49	1.53	1.57	1.623	1.684
0.49	1.030	1.17	1.29	1.32	1.35	1.38	1.42	1.45	1.48	1.53	1.578	1.639
0.50	0.982	1	1.24	1.27	1.30	1.33	1.36	1.40	1.44	1.481	1.529	1390
0.51	0.936	1.08	1.20	1.23	1.25	1.28	1.32	.357	1.39	1.43	1.483	1.544
0,52	0.894	1.04	1.16	1.18	1.21	1.24	1.28	.315	1.35	1.39	1.441	1.502
0.53	0.850	1.00	1.11	1.14	1.17	1.20	1.23	.271	1.30	1.34	1.397	1.458
0.54	0.809	0.95	1.07	1.10	1.13	1.16	1.19	.230	1.26	1.30	1.356	1.417
0.55	0,769	0.91	1.03	1.06	1.09	1.12	1.15	.190	1.22	1.26	1.316	1.377
0.56	0.730	087	0.99	1.02	1.05	1.08	1.11	.151	1.18	1.22	1.277	1.338
0.57	0.692	0.84	0.95	0.98	1.01	1.04	1.07	.113	1.15	1-191	1.239	1.300
0.58	0.655	O.80	0.92	0-	0.97	1.01	1-	.076	1.11	1.15	1.202	1263
0.59	0.618	0.76	0.88	0.91	0.93	0.97	1.00	.039	1.07	1.11	1.165	1.226
0.60	0.584	0.73	0.84	0-	0.90	0.93	0.97	.00S	1-	1.08	1.131	1.192
0.61	0.549	0.69	0.81	0.84	0.87	0.90	0.93	0.97	1.00	1.04	1.096	1.157
0.62	0.515	0.66	0.78	0.80	0.83	0.87	0.90	0.93	0.97	1.01	1.062	1.123
0.63	0.483	0.63	0.74	0.77	0.80	0.83	0.87	0.90	0-	0.96	1.030	1.091
0.64	0.450	0.60	0.71	0.74	0.77	0.80	0.83	0.87	0.90	0.94	0.997	1.058
0.65	0.419	0.56	0.68	0.71	0.74	0.77	0.80	0.84	0.87	0-	0.966	1.007
0.66	0.388	0.53	0.65	0.68	0.70	0.74	0.77	0.80	0.84	0.88	0.935	0.996
0.67	0.358	0.50	0.62	0.65	0.67	0.71	0.74	0.77	0.81	0.85	0.906	0.966
0.68	0.329	0.47	0.59	0.62	0.65	0.68	0-	0.75	0.78	0.82	0.876	0.937
0.69	0.299	0.44	0.56	0.59	0.62	0.65	0.68	0.72	0.75	0.79	0.840	0.907
0,70	0.270	0.42	0.53	0.56	0.59	0.62	0.65	0.69	0.72	0.76	0.811	0-878
0.71	0.242	0.39	0.50	0.53	0.56	0.59	0.62	0.66	0.70	0.74	0.783	0.850
0.72	0.213	0.36	0.47	0,50	0.53	0.56	0.60	0.63	0.67	0.71	0.754	0.821
0.73	0.186	0.33	0.45	0.48	0.50	0.54	0.57	0.60	0.64	0.68	0.727	0-794
0.74	0.159	0.30	0.42	0.45	0.48	0.51	0.54	0.58	0.61	0.65	0.700	0.767
0.7S	0.132	0.82	0.39	0.42	0.45	0.48	0.51	0.55	0.59	0.63	0.673	0.740
0.76	0.105	0.25	0.37	0.39	0.42	0.46	0.49	0.52	0.56	0.6O	0.652	0.713
0.77	0.079	0.22	0.34	0.37	0.40	0.43	0.46	0.50	0.53	0.57	0.620	0.687
0.78	0053	0.20	0.31	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.55	0.594	0.661
0.79	0.026	0.17	0.29	0.32	0.34	0.38	0.41	0.44	0.48	0.52	0.567	0.634
0.80		0.15	0.26	0.29	0.32	0.35	0.38	0.42	0.45	0.49	0.541	0.608
0.81		0.12	0.24	0.26	0.29	0.32	0.36	0.39	0.43	0.47	0.515	0-582.
0.82		0.09	0.21	0.24	0.26	0.30	0.33	0.36	0.40	0.44	0-489	0.556
0.83		0.07	0.18	0.21	0.24	0.27	0.30	0.34	0.38	0.42	0.463	0.530
0.84		0.04	0.16	0.19	0.21	0.25	0.26	0.31	0.35	0.39	0.437	0.504
085		0.02	0.13	0.16	0-	0.22	0.25	0.29	0.32	0.36	0-417	0.478
0.66			0.10	0.14	0.16	0.19	0.23	0.26	0.30	0.34	0-390	0.450
0.87			0.08	0.11	0.14	0.17	0.20	0.23	0.27	031	0.364	0.424
0.88			0.05	0.08	0.11	0.14	0.17	0.20	0.24	0.28	0.335	0.395
0.89			0.02	0.05	0.08	0.11	014	0.18	0.23	0.26	0.309	0.369
0.90				0.03	0.05	0.08	0.12	0.15	0.19	0.23	0.281	0.341

ملحق (م٢): أمثلة لحسابات تحسين معامل القدرة

مثال (١):

القدرة الظاهرية لأحمال مصنع هى ٦٦٦ ك.ف.أ و معامل القدرة ٠,٧٥ . إذا كان معامل القدرة المستهدف هو ٠,٩٣، احسب القدرة غير الفعالة للمكثفات المستخدمة.

الحل:

$$P = S_1 \cos \Phi_1 = S_2 \cos \Phi_2 = 666 \times 0.75 = 500 \text{ kW}$$

$$Q_1 = P \times \tan \Phi_1$$

$$Q_2 = P \times \tan \Phi_2$$

$$Q_c = Q_1 - Q_2$$

$$= 0.75 \Phi_1 \cos \qquad = 0.93 \ \Phi_2 \ \cos$$

$$\therefore \quad = 0.8819 \ \Phi_1 \ \tan \qquad = 0.3952 \Phi_2 \ \tan$$

$$Q_c = P \times (\tan \Phi_1 - \tan \Phi_2)$$

$$= 500 \times (0.8819 - 0.3952)$$

$$= 500 \times 0.4867 = 243.35 \qquad [\text{kVAR}]$$

ويمكن حساب القدرة غير الفعالة من النورموجرام فى شكل رقم (م١/١) و ذلك بتوصيل الخط بين معامل القدرة الحالى ٠,٧٥ (عمود ١) ومعامل القدرة المستهدف ٠,٩٣ (عمود ٣) ليتقاطع مع العمود ٣ عند القيمة ٠,٤٨٧ و هو معامل الضرب.

$$\therefore \quad Q_c = k \times P$$

$$= 0.487 \times 500 = 243.5 \qquad [\text{kVAR}]$$

كما يمكن تحديد معامل الضرب من الجدول رقم (م١/٣) وهو ٠,٤٨ .

مثال (٢):

فى المثال السابق، احسب القيمة السعوية للمكثفات المطلوبة إذا كان جهد التشغيل هو ٣٨٠ فولت وتردد ٥٠ هيرتز.

الحل:

$$C = Q_c / V^2 (2 \pi f) 10^3$$
$$= 243.5 \times 10^3 / ((380)^2 \times 2 \pi \times 50)$$
$$= 5.377 \times 10^{-3} \quad [Farad]$$

مثال (٣):

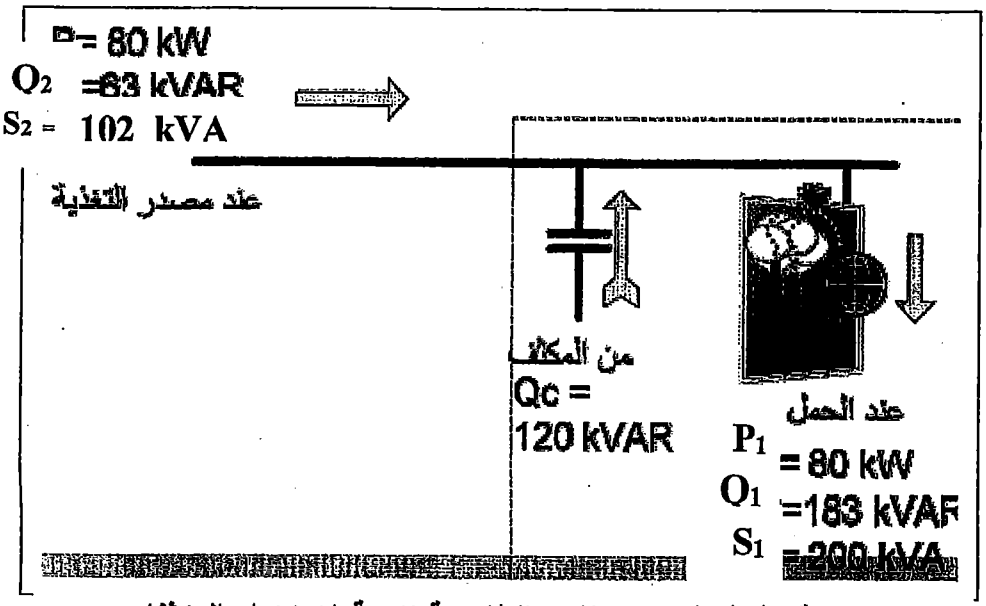
القدرة الظاهرية لأحمال مصنع هى ٢٠٠ ك.ف.أ. و معامل قدرة ٠,٤ .

احسب القدرة الفعالة و غير الفعالة. و إذا تم استخدام مجموعة مكثفات بقدرة ١٢٠ ك.فار، احسب معامل القدرة فى هذه الحالة و كذلك القدرة غير الفعالة لمصدر التغذية.

الحل:

$$S = 200 \quad [kVA]$$
$$p.f_1 = 0.4$$
$$P = S \times \cos \Phi = 200 \times 0.4 = 80 \quad [kW]$$
$$Q_1 = P \times \tan \Phi = 80 \times 2.291 = 183.28 \quad [kVAR]$$
$$Q_2 = -183.28 + 120 = -63.28 \quad [kVAR]$$
$$S_2 = \sqrt{P^2 + Q^2}$$
$$= \sqrt{(80)^2 + (63.28)^2} = 102 \ kVA$$
$$p.f_2 = P/S = 80/102 = 0.784$$

وبتحسين معامل القدرة، انخفضت القدرة الظاهرية لمصدر التغذية من ٢٠٠ ك.ف.أ إلى ١٠٢ ك.ف.أ.، (أنظر الشكل رقم (م٢/١)).



شكل رقم (م٢/١): تغير القدرة الظاهرية نتيجة لاستخدام المكثفات

مقدار الخفض فى القدرة الظاهرية = ٢٠٠-١٠٢ = ٩٨ ك.ف.أ.

النسبة المئوية للخفض فى القدرة الظاهرية = $\frac{98}{200} \times 100 =$ ٤٩ %

و يمكن الحصول على نفس النتيجة من شكل رقم (م/١/٢) وذلك بتمرير خط من القيمة ٠,٧٨٤ للعمود ١ إلى القيمة ٠,٤ للعمود ٢ ليتقاطع مع العمود ٣ عند القيمة ٠,٤٩ .

مثال (٤):

مجموعة أحمال بقدرة ظاهرية ٢٠٠ ك.ف.أ. ومعامل قدرة ٠,٧ ، فإذا كانت تعريفة استهلاك الطاقة الكهربائية هى ٠,١٥ جنيها/ ك.وات ساعة وكان عدد ساعات التشغيل السنوية ٣٦٠٠ ساعة، احسب غرامة وحافز معامل القدرة فى الحالتين الآتيتين:

أ- معامل القدرة المستهدف هو ٠,٩

ب-معامل القدرة المستهدف هو ٠,٩٣

الحل:

$$P = S \times \cos \Phi = 200 \times 0.7 = 140 \quad [kW]$$

أولا: معامل قدرة مستهدف ٠,٩ وتعريفة استهلاك القدرة الكهربائية تبلغ ٠,١٥ جنيها/ ك.وات ساعة

١- الغرامة السنوية على المستهلك:

$$\text{a) Annual penalty} = 0.005 \times \left(\frac{0.9 - p.f}{0.01}\right) \times \text{annual energy consumption} \times \text{tariff}$$

$$= 0.005 \times \left(\frac{0.9 - 0.7}{0.01}\right) \times 140 \times 3600 \times 0.15$$

$$= 0.005 \times 20 \times 140 \times 3600 \times 0.15 = 7560 \text{ L.E}$$

b) Annual bonus = 0

ثانيا: معامل قدرة مستهدف ٠,٩٣ وتعريفة استهلاك القدرة الكهربائية تبلغ ٠,١٥ جنيها/ ك.وات ساعة

a) Annual penalty = 0

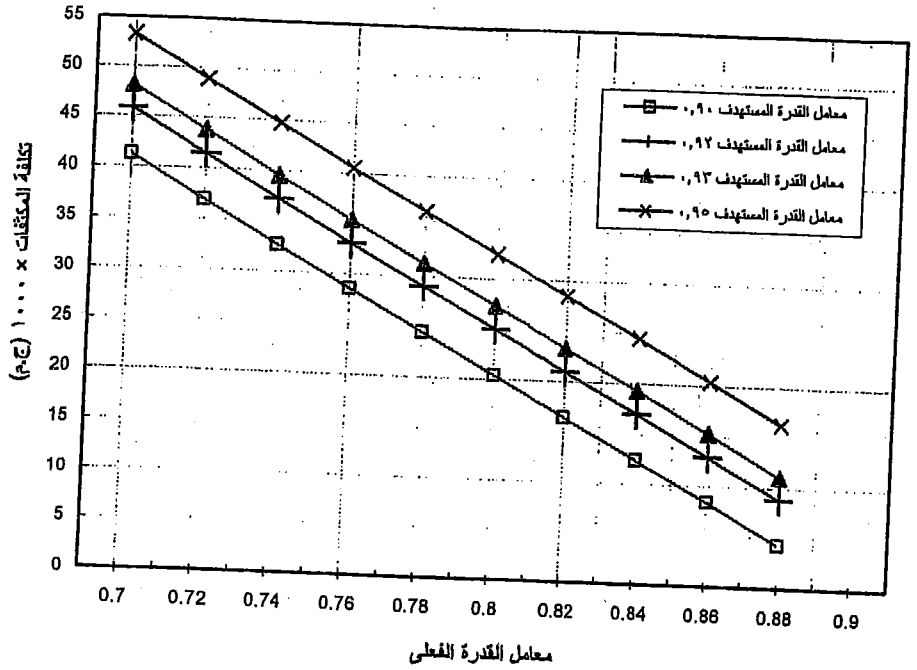
$$\text{b) Annual bonus} = 0.005 \times \left(\frac{p.f - 0.92}{0.01}\right) \times \text{annual energy consumption} \times \text{tarrif}$$

$$= 0.005 \times 1 \times 140 \times 3600 \times 0.15 = 378 \text{ L.E}$$

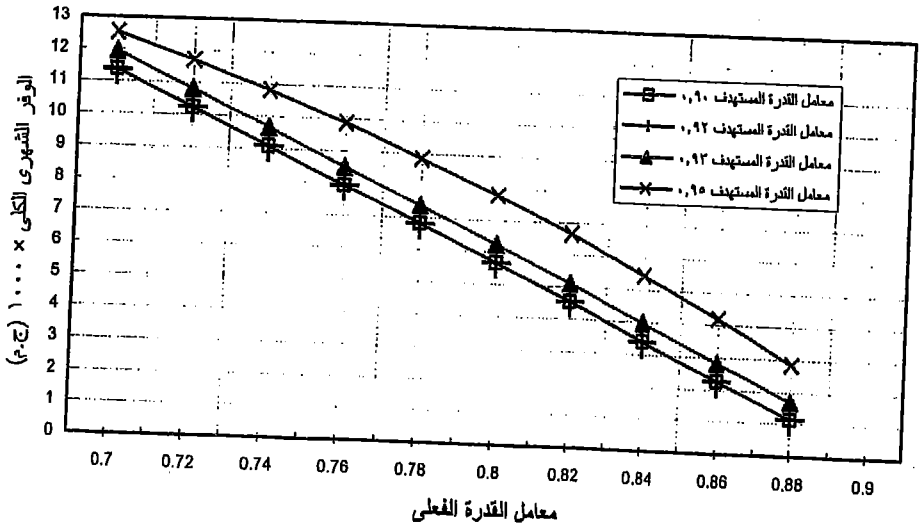
Total annual cost = 378 L.E

مثال (٥):

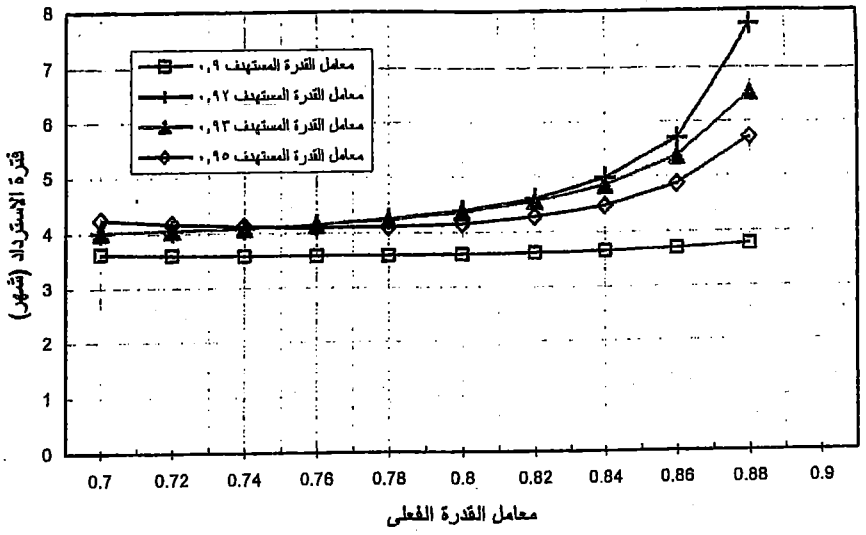
احسب فترة الاسترداد نتيجة لتحسين معامل قدرة من ٠,٧ إلى معامل قدرة مستهدف ٠,٩٥ لحمل كهربى قدرته ٧٠٠ ك. وات.



شكل (م٢/٢): تكلفة بنك المكثفات لتحسين معامل القدرة لحمل ٧٠٠ كيلو وات



شكل (م٢/٣): الوفر الشهرى الكلى نتيجة تحسين معامل القدرة لحمل ٧٠٠ كيلو وات



شكل (م٢/٤): فترة الاسترداد لبنك المكثفات لتحسين معامل القدرة لحمل ٧٠٠ كيلو وات

ملحق (م٣): أعطال لوحة المكثفات والمصاهر

أعطال المكثفات

العطل	السبب	العلاج
كسر أو انهيار العزل	جهد زائد	مراجعة جهد الشبكة الكهربية
	الجهود المفاجئة الناتجة من عمليات الفصل والتوصيل	دراسة إضافة نبائط وقاية
	أن يكون المكثف من الأنواع التى لا تستخدم فى التيار المتردد	مراجعة التطبيقات
	الرطوبة- الصدأ- ارتفاع درجة الحرارة	استخدام وحدات خاصة- الحفاظ على الصيانة الدورية
	انهيار ميكانيكى	تغيير المكثف

أعطال المصاهر

العطل	السبب	العلاج
انصهار سريع	حد تيار المصهر صغير جدا	استخدام المصهر المناسب
	حدوث سخونة على أطراف غطاء المصهر أو صدأ أو أكسدة عند الغطاء أو الماسك	نظافة الغطاء والماسك بصفة مستمرة مع تغيير الماسك المخمر
	عدم وجود الضغط المناسب على نقط التلامس	زيادة ضغط التلامس بحيث يصبح كافيا
انصهار بطئ	تيار المصهر غير مناسب	استخدام القيمة المناسبة