مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (25) العدد (14)2003
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research- Engineering Sciences Series Vol (25) No (14) 2003

أثر التوافقيات على مكثفات تعويض الاستطاعة الردية

الدكتور عبدالله سعيد *
الدكتور علي أحمد محمود**
رغدة بركات***

(قبل للنشر في 2003/9/7)

□ الملخّص □

تحتوي الشبكة الكهربائية في المنشآت الصناعية على توافقيات عليا وذلك نتيجة لتشوه موجة الجهد والتيار لشبكات التغذية الكهربائية وانحراف شكلها عن الشكل الجيبي، إن هذا التشوه يسبب العديد من المشاكل وينتج الكثير من الآثار الضارة على الشبكة نفسها وعلى التجهيزات المستثمرة للطاقة الكهربائية، تم في هذا البحث دراسة الآثار الناجمة عن التوافقيات على مكثفات تعويض الاستطاعة الردية حيث تم تحديد أسلوب لدراسة هذا الأثر وكذلك البحث عن طريقة يتم فيها تفادي حدوث حالات التحميل الزائد لهذه المكثفات وتفادي حدوث حالات الطنين التي تؤدي إلى تخريب هذه المكثفات.

* أستاذ في قسم هندسة الطاقة الكهربائية ، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية ، جامعة تشرين ، اللاذقية – سوريا
** أستاذ مساعد في قسم هندسة الطاقة الكهربائية ، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية ، جامعة تشرين ، اللاذقية – سوريا
*** طالبة ماجستير ، في قسم هندسة الطاقة الكهربائية ، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية ، جامعة تشرين ، اللاذقية – سوريا

مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (25) العدد (14)2003
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research- Engineering Sciences Series Vol (25) No (14) 2003

The Effect of Harmonics on the Reactive Power Compensation Capacitors

Dr. Abdalla said*
Dr. Ali Mahmoud**
Raghda Barakat***

(Accepted 7/9/2003)

□ ABSTRACT □

The electrical net work in industrial institutions includes high harmonics due to distortion of the electrical supply wave and change of its form from the thin form. This distortion causes many problems and has many harmful effects on the network itself ,and on the sets working on the electrical power. This research studies the effects caused by the harmonics on the electrical capacitors of reactive power compensation. the study identifies a style to exp;ain the effect and a method to avoid capacitors' overload as well as the cases of resonance that lead to the destruction of these capacitors.

*** Professor - Electrical Power Engineering Department, Faculty Of Mechanical And Electrical Engineering, Tishreen Univrsity ,Latakia, Syria.**
**** Associate Professor Electrical Power Engineering Department ,Faculty Of Mechanical And Electrical Engineering, Tishreen Univrsity ,Latakia, Syria.**
***** Postgraduate Student - Electrical Power Engineering Department, Faculty Of Mechanical And Electrical Engineering, Tishreen Univrsity ,Latakia, Syria.**

مقدمة:

تتميز التجهيزات الصناعية الكهربائية الحديثة والتي تنتشر بكثرة وباستطاعات كبيرة بأنها تمتلك مميزات جهد أو جهد – أمبير لا خطية [1]. تسمى عادة مثل هذه الأحمال بالأحمال اللاخطية. تنتمي بشكل أساسي إلى هذه المجموعة من الأحمال المنظمات الالكترونية وفي مقدمتها المنظمات المصنعة من الثايرستورات وكذلك تجهيزات اللحام القوسية والتلامسية ، أفران صهر المعادن بالقوس الكهربائي(Arc furnaces) والمصابيح الغازية الكهربائية والآلات والمحولات الكهربائية [4]. هذه الأحمال تستجر من الشبكة الكهربائية تيارات غير جيبية وفي كثير من الأحيان غير دورية ، بالنتيجة تؤدي مثل هذه الأحمال إلى تشوه موجة الجهد في شبكة التغذية الكهربائية أو بكلمات أخرى تنحرف موجة الجهد في الشبكة الكهربائية عن الشكل الجيبي[3].

إن الشكل اللاجيبي لموجة الجهد الكهربائية في شبكة التغذية الكهربائية يؤثر بشكل سلبي على تجهيزات القوى الكهربائية مثل: أنظمة الحماية الكهربائية التي تستخدم الريليهات، تجهيزات التحكم والأتمتة، نظم الاتصالات كما ينشأ عنها خسائر اقتصادية كبيرة بسبب تدني درجة الجودة وانخفاض درجة الوثوقية لنظام الطاقة وتؤدي أيضاً إلى انخفاض عمر التجهيزات الكهربائية. في كثير من الحالات تسبب موجة الجهد المشوهة تدني جودة الكثير من المنتجات وتدني كمية الإنتاج للعديد من المنتجات. من هنا تأتي الأهمية الكبيرة من وجهة النظر التقنية والاقتصادية لدراسة التوافقيات وأسباب نشوءها ومحاولة الحد منها ومن آثارها[5].

إن معالجة هذه المشكلة يتطلب العديد من المراحل في الدراسة: في البداية لا بد من حصر الأحمال والتجهيزات التي تشكل مصدراً للتوافقيات ومن ثم دراسة الآثار السلبية لها على التجهيزات الأخرى، ومن أجل ذلك لا بد من التقييم الفعلي لقيم التوافقيات ومستواها في الشبكة يلي ذلك البحث عن وسائل تخفيض هذه القيم ووسائل الحد من أثار ذلك.

لقد بينت الدراسات العديدة في مجال التوافقيات أن شبكات المؤسسات الصناعية هي الأكثر إنتاجاً للتوافقيات وذلك بسبب استخدام الصناعة للكثير من التجهيزات الكهربائية ذات المميزات غير الخطية بنفس الوقت تميزت هذه التجهيزات بعامل استطاعة(Power factor)منخفض مما تطلب لاحقاً التفكير بتحسين عامل الاستطاعة واستخدمت لذلك مجموعات المكثفات (Capacitance bank) [7].وبنتيجة استخدام هذه المكثفات بدأت تظهر مشكلات من نوع آخر حيث لوحظ في العديد من المنشآت الصناعية أن هذه المكثفات تبدأ بالانتفاخ وبعد فترة قصيرة من الاستخدام كانت تخرج من العمل بسبب انفجارها أو تخربها وفي غالب الحالات كانت تخرج من العمل قبل انقضاء العمر التصميمي للاستخدام بفترات متفاوتة[8].

هدف البحث :

تهدف هذه الدراسة إلى البحث عن آثار الموجات اللاجيبية على مكثفات تعويض الاستطاعة الردية في المؤسسات الصناعية والبحث عن طريقة لتفادي الآثار الضارة للتوافقيات على هذه المكثفات.

لتحقيق هذا الهدف تم إجراء استقصاء وقياس لمستوى التوافقيات في إحدى المؤسسات الصناعية الضخمة وذلك على أحد الأحمال والذي هو عبارة عن مبدلات ثايريستورية متعددة الأطوار بمجموع استطاعة قدره 3.2 MW بعامل استطاعة 0.5 تقريباً ، تم أيضاً إجراء الدراسة التحليلية للنموذج من خلال وضع الدارة المكافئة لهذا النظام وإجراء قياسات على النظام الواقعي في المنشأة وذلك خلال يوم عمل نظامي لمدة 24 ساعة كما تمَّ دراسة

التحميل الزائد الذي يمكن أن ينشأ على مكثفات تعويض الاستطاعة الردية في حال تركيبها ومن ثم تمَّ اقتراح سبل الحد من هذه الآثار.

الدارة المكافئة للشبكة الكهربائية الحاوية على توافقيات

يبين الشكل (1-a) المخطط الرمزي لمحطة تغذية صناعية فرعية ذات مصدر للتوافقيات (Source of Harmonic) كما يبين الشكل (1-b) ، الدارة المكافئة لهذه المحطة من أجل التوافقيات (دون الأخذ بالاعتبار المقاومة الفعلية)، ويفترض هنا أن عناصر الدارة المكافئة متناظرة.

رموز الدارة :

L_1: حمولة المحولة T_1؛ C_L: مكثفات تعويض الاستطاعة الردية من جهة التوتر المنخفض؛ X_{T1V}: مفاعلة المحولة T_1 ؛ X_{CLV}: مفاعلة مكثفات تعويض الاستطاعة الردية من جهة التوتر المنخفض؛ X_{L1V}: مفاعلة الحمولة على التوتر المنخفض.

L_2: حمولة المحولة T_2 مفاعلتهما X_{T2V} ؛ X_{MV}: مفاعلة المحرك، X_{CHV}: مفاعلة مكثفات تعويض الاستطاعة الردية من جهة التوتر العالي؛ X_{SV}: مفاعلة الشبكة ؛ X_{RV}: مفاعلة المفاعل.

يمكن أن يتولد في الدارة المبينة سابقاً طنين للجهد وللتيار، وإن الحالة الأخطر في الشبكات الصناعية هو طنين التيار لأنه يحدث عند ترددات ليست عالية نسبياً [6] .(.. 13 ; 11 ; 7 ; 5 = v)

عند اختيار مجموعة مكثفات لتعويض الاستطاعة الردية(Reactive power) في الشبكات الفرعية ذات الشكل المشوه للجهد فإنه لا بد من التأكد حسابياً من أنه لن يتم تحميل زائد(Over load) لهذه المكثفات بسبب التوافقيات.

إذا كان هناك احتمال لنشوء طنين(Resonance) ضمن أية حالة من حالات العمل أو احتمال العمل قرب حالة الطنين عند تردد واحد من التوافقيات، فمن الممكن أن يحدث تحميل زائد غير مسموح به لهذه المكثفات.

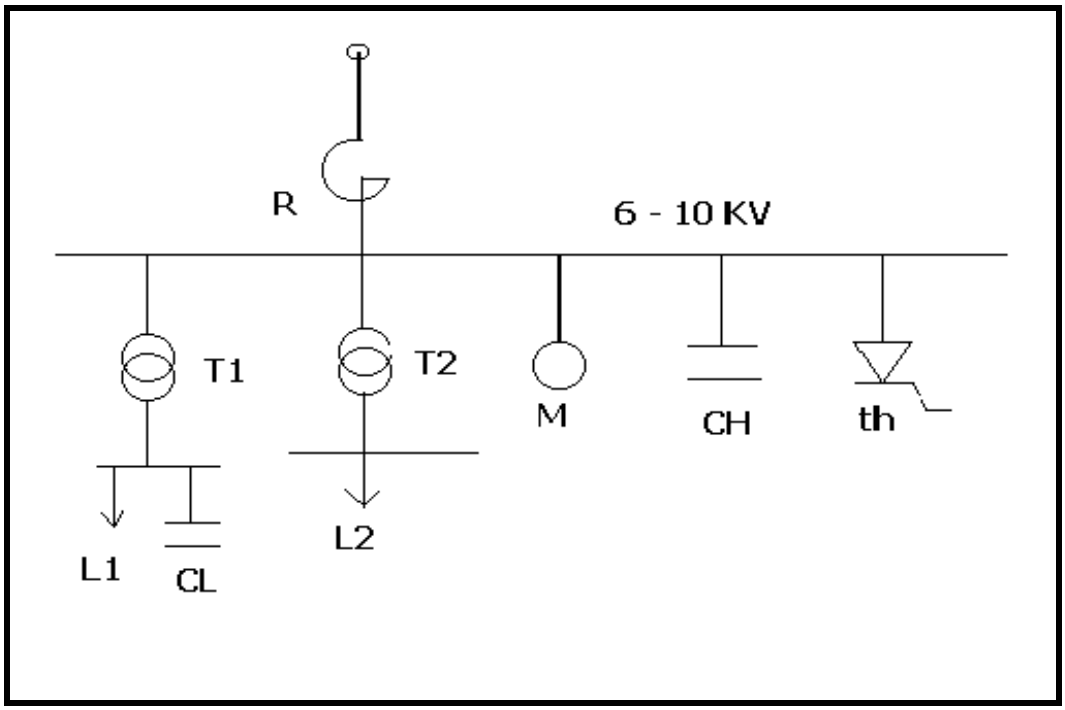
تتحدد تيارات التوافقيات v في المكثفات I_{CHV} ، I_{CLV} من العلاقة :

$$I_{CHV} = K_{HV}. I_V ; \quad I_{CLV} = K_{LV}. I_V \qquad (1)$$

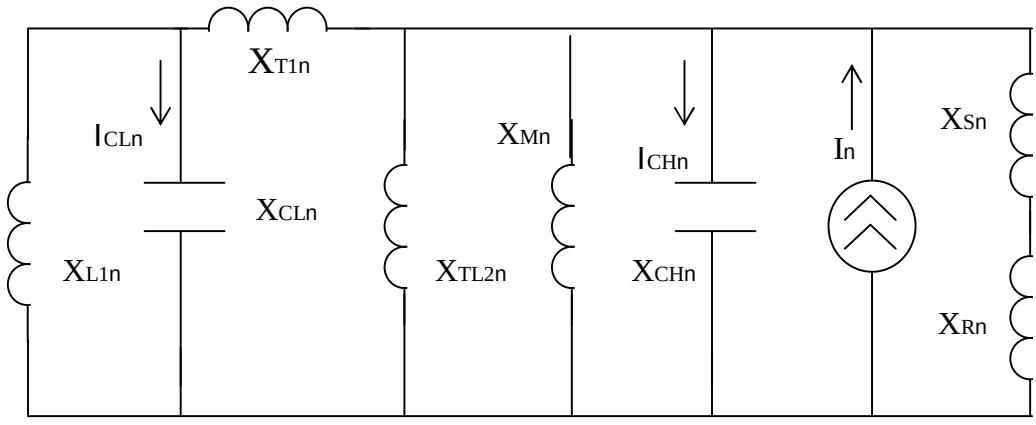
حيث K_{LV} ، K_{HV} (عامل تضاعف التيار للتوافقية v).

عندما لا يشكل تيار التوافقيات تحميلاً زائداً للمكثفات فإن القيمة الفعالة للجهد عليها لن تختلف عن الجهد الاسمي.

إن عمل المكثفات على جهد أعلى من الجهد الاسمي نتيجة وجود التوافقيات يؤدي إلى تخريب سريع لعازليتها. لذا فإنه عند وضع مكثفات في الشبكات الكهربائية ذات موجة الجهد المشوهة يجب السعي قدر الإمكان لمنع ظهور نظام العمل الذي يرفع جهد المكثفات إلى قيمة أعلى من الجهد الاسمي لها



(1-a) شكل المخطط الرمزي لشبكة صناعية



شكل (1-b) الدارة المكافئة لشبكة صناعية

ستتم دراسة وضع المكثفات في شبكات كهربائية تحوي توافقيات وذلك عند حالات وصل مختلفة لهذه المكثفات:

1- المكثفات موصولة على مرابط التوتر العالي :

إن هذه الحالة مستخدمة في شبكات التغذية للمنشآت الصناعية ذات الاستطاعة الكبيرة، وفي هذه الحالة يكون عامل التضاعف وشرط حدوث طنين التيارات هي:

$$K_{HV} = \frac{X_{eqn}}{X_{eqn} + X_{CHn}} \quad ; \quad X_{CHn} = X_{eqn} \qquad (2)$$

X_{eqn} : المفاعلة المكافئة لجميع فروع الشبكة باستثناء المكثفات من أجل التوافقية n ، وقد بينت الدراسة أن العلاقة التقريبية لتيار التوافقية n في مجموعة المكثفات عند طنين التيار هي :

$$I_{CHn} = I_n \times \frac{X^2_{eqn}}{R_{eqn} + X_{CHn}} \qquad (3)$$

R_{eqn} : المقاومة الفعلية المكافئة للشبكة عند التردد n .

أما الممانعة المكافئة للشبكة ومجموعة المكثفات عند الطنين تحدد بواسطة العلاقة:

$$Z_{eqs} = X^2_{eqn} \Big/ R_{eqn} \qquad (4)$$

إذا كان مصدر التوافقيات عبارة عن مبدلات (Converters) ثايرستورية فإن $X_{eqn} = nX_{eq}$

وعند إهمال زاوية التبديل نحصل على علاقة مبسطة لتحديد تيار التوافقيات المارة في المكثفات:

$$I_{CHn} = I_{nC} \times \frac{S_R}{\sqrt{n}.Q_{nC}.K_R} \qquad (5)$$

I_{nC} : التيار الاسمي لمجموعة المكثفات.

S_R : الاستطاعة المركبة للمنظم.

Q_{nC} : الاستطاعة المركبة لمجموعة المكثفات.

$$K_R = R_{eq} / X_{eq} \qquad (5)$$

$K_R = 0.1 \, , \, 0.3$ وهذا من مواصفات الشبكات الصناعية [3].

2 – مجموعة المكثفات موصولة إلى جهة التوتر المنخفض:

في هذه الحالة يتم استخدام الدارة المكافئة المبينة في الشكل (1-b) وتصبح علاقة تضاعف التيار التالية :

$$X_{LV} = \frac{X_{eq\text{å}} \, X_{L1n}}{(X_{eq\text{å}} + X_{T1n})(X_{L1n} - X_{CLn}) - (X_{L1n} X_{CLn})}$$

$$X_{CLV} = \frac{X_{L1n}\,(X_{eq\,å} + X_{T1n})}{X_{Ln} + X_{eq\,å} + X_{T1n}}$$

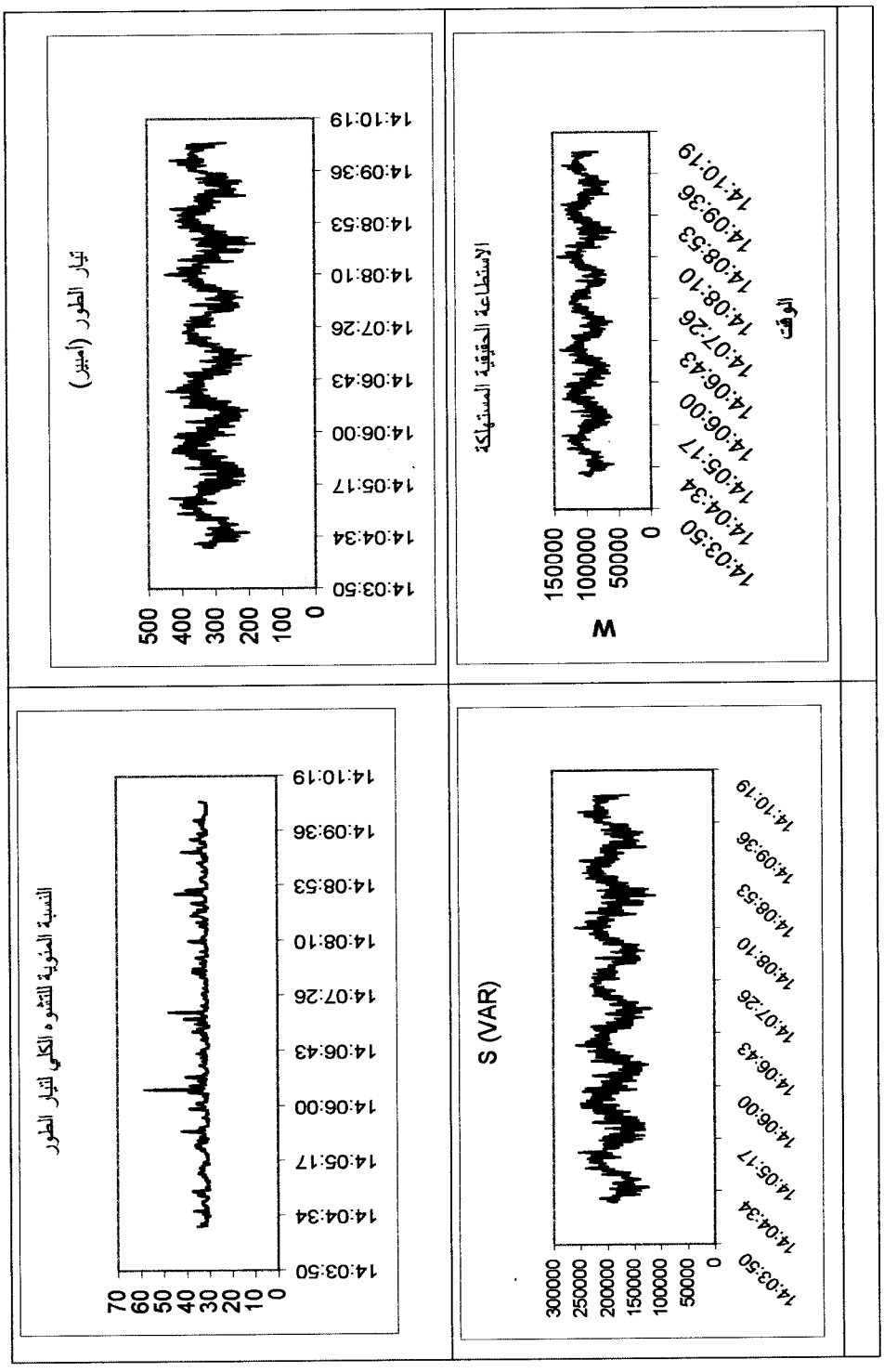
$$X_{eq\,å} = X_{eqn} \,//\, X_{MTLn} \quad ; \quad X_{eqn} = X_{Sn} + X_{Rn} \quad ; \quad X_{MTLn} = X_{Mn} \,//\, X_{LT2}$$

بمساعدة العلاقات السابقة يمكن تحديد استطاعة مكثفات تعويض الاستطاعة الردية الممكن استخدامها دون حدوث تيارات مضاعفة أو طنينية في مجموعات مكثفات التعويض [3] .

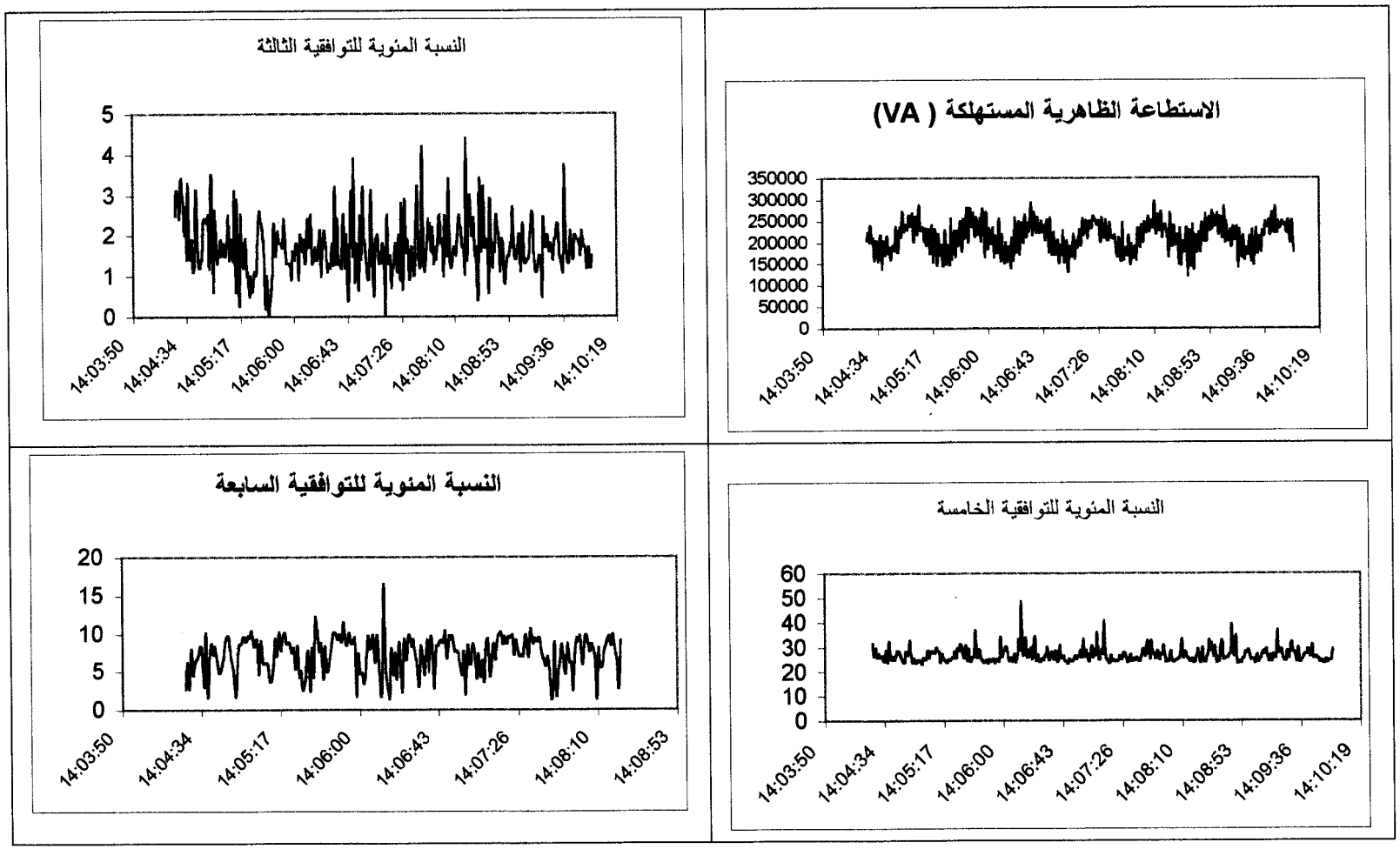
دراسة حالة :

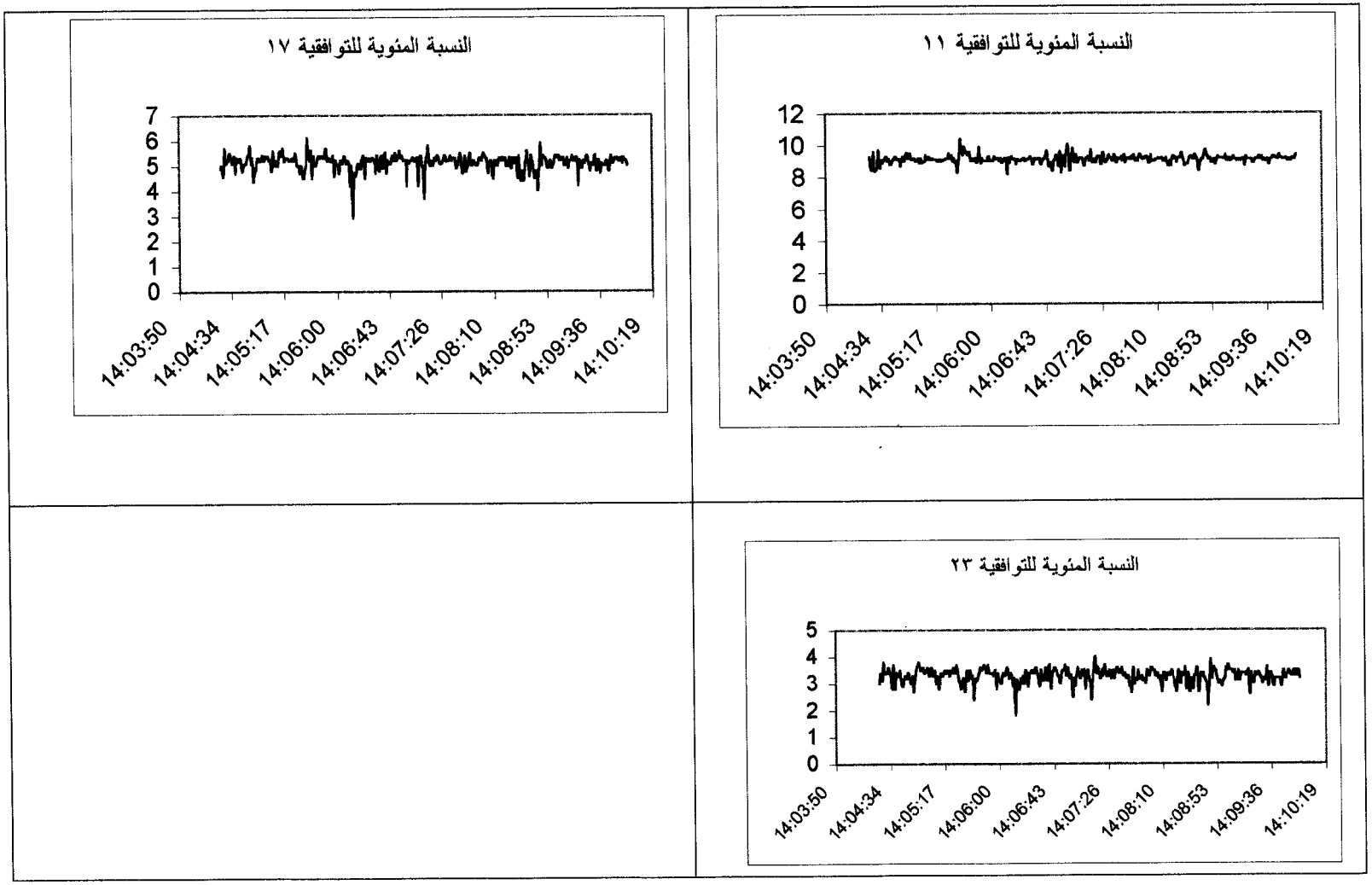
لقد تم اختيار إحدى المؤسسات الصناعية التي تحوي أحمالاً مولدة للتوافقيات وهي عبارة عن مقومات جهد ثايرستورية وظهرت فيها مشاكل جدية في معوضات الاستطاعة الردية حيث تم مراقبة مستوى التوافقيات خلال يوم عمل كامل وذلك باستخدام محلل طاقي تسجيلي ربط إلى دخل المقوم الثايرستوري وقد تم رسم منحنيات الحمولة الحقيقية والردية والمركبة وكذلك منحنيات التيار وعامل الاستطاعة وقيم التوافقيات وهي مبينة في الأشكال (2).
من هذه الأشكال نقرأ القيم التالية:

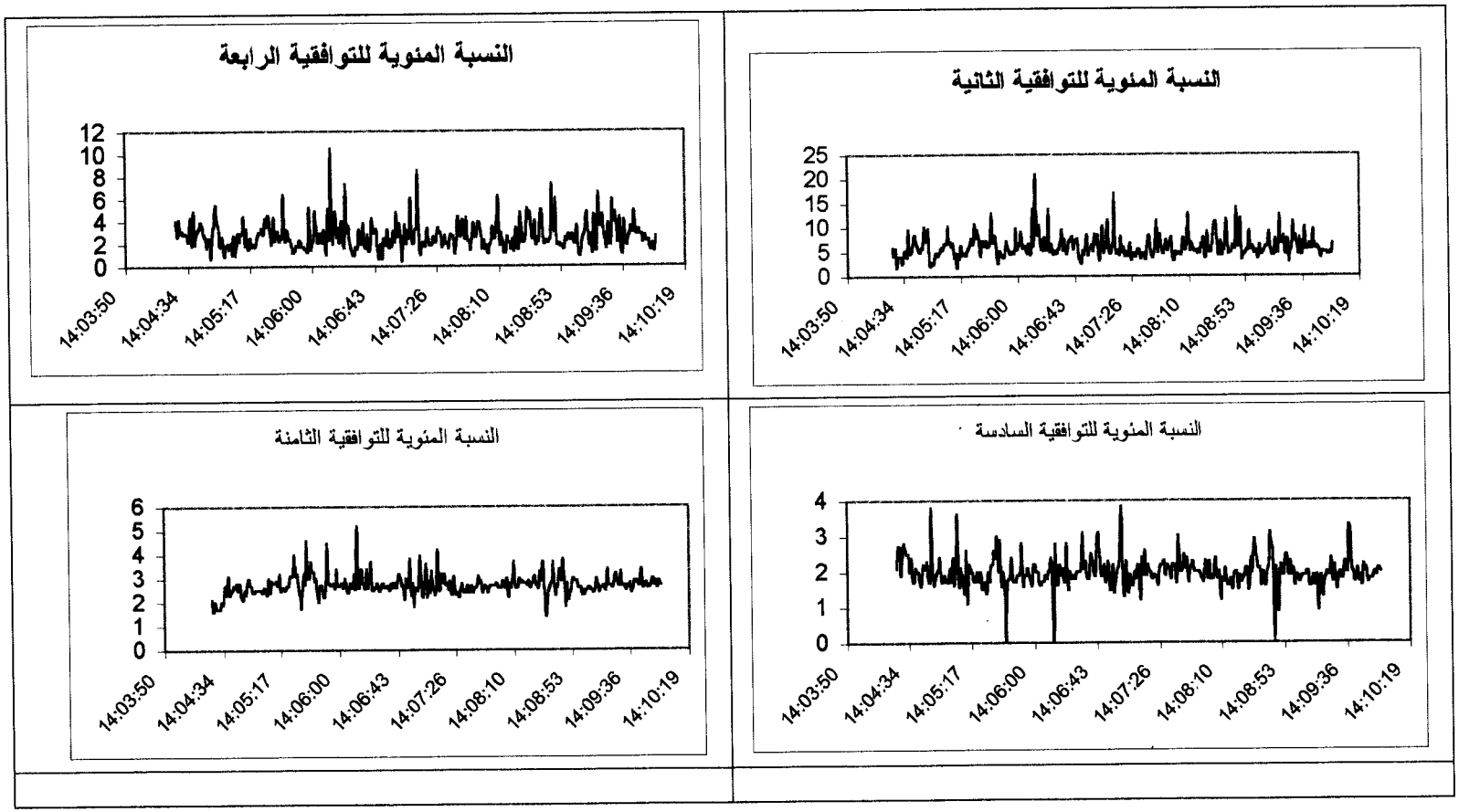
المقدار	القيمة المتوسطة
الاستطاعة الحقيقية للطور الواحد	99.5 KW
الاستطاعة الردية للطور الواحد	190.16 KVAR
الاستطاعة الظاهرية للطور الواحد	214.6 KVA
عامل الاستطاعة	0.5
التوافقية 2	6.5 %
التوافقية 3	1.7 %
التوافقية 4	2.7 %
التوافقية 5	26.7 %
التوافقية 6	1.98 %
التوافقية 7	7.15 %
التوافقية 8	2.7 %
التوافقية 11	9.12 %
التوافقية 17	5.13 %
التوافقية 23	3.3 %


تيار الطور (أمبير)
الاستطاعة الحقيقية المستهلكة
W
الوقت
S (VAR)
النسبة المئوية للتشوه الكلي لتيار الطور

أشكال (2)


النسبة المئوية للتوافقية الثالثة
5
4
3
2
1
0
14:03:50
14:04:34
14:05:17
14:06:00
14:06:43
14:07:26
14:08:10
14:08:53
14:09:36
14:10:19
الاستطاعة الظاهرية المستهلكة (VA)
350000
300000
250000
200000
150000
100000
50000
0
14:03:50
14:04:34
14:05:17
14:06:00
14:06:43
14:07:26
14:08:10
14:08:53
14:09:36
14:10:19
النسبة المئوية للتوافقية السابعة
20
15
10
5
0
14:03:50
14:04:34
14:05:17
14:06:00
14:06:43
14:07:26
14:08:10
14:08:53
النسبة المئوية للتوافقية الخامسة
60
50
40
30
20
10
0
14:03:50
14:04:34
14:05:17
14:06:00
14:06:43
14:07:26
14:08:10
14:08:53
14:09:36
14:10:19


النسبة المئوية للتوافقية ١١
12
10
8
6
4
2
0
14:03:50
14:04:34
14:05:17
14:06:00
14:06:43
14:07:26
14:08:10
14:08:53
14:09:36
14:10:19
النسبة المئوية للتوافقية ١٧
7
6
5
4
3
2
1
0
14:03:50
14:04:34
14:05:17
14:06:00
14:06:43
14:07:26
14:08:10
14:08:53
14:09:36
14:10:19
النسبة المئوية للتوافقية ٢٣
5
4
3
2
1
0
14:03:50
14:04:34
14:05:17
14:06:00
14:06:43
14:07:26
14:08:10
14:08:53
14:09:36
14:10:19


النسبة المئوية للتوافقية الرابعة
12
10
8
6
4
2
0
14:03:50
14:04:34
14:05:17
14:06:00
14:06:43
14:07:26
14:08:10
14:08:53
14:09:36
14:10:19
النسبة المئوية للتوافقية الثانية
25
20
15
10
5
0
14:03:50
14:04:34
14:05:17
14:06:00
14:06:43
14:07:26
14:08:10
14:08:53
14:09:36
14:10:19
النسبة المئوية للتوافقية الثامنة
6
5
4
3
2
1
0
14:03:50
14:04:34
14:05:17
14:06:00
14:06:43
14:07:26
14:08:10
14:08:53
14:09:36
14:10:19
النسبة المئوية للتوافقية السادسة
4
3
2
1
0
14:03:50
14:04:34
14:05:17
14:06:00
14:06:43
14:07:26
14:08:10
14:08:53
14:09:36
14:10:19

الاستطاعة الاسمية الظاهرية للمحول Sn =1000 KVAK ، Usc% = 11.5%. جهد المبدلة U2 = 400 V، تيار المبدلة 750A. تم حساب مفاعلة المحول من العلاقة: $X_t = \frac{U_{SC}\%.U_2^2}{100.S_n}$. تم حساب مفاعلة المنظم من العلاقة: $X_r = \frac{U_2^2}{Q_C}$. تم حساب الجهد الناجم عن التوافقيات على مرابط مكثفات التعويض من العلاقة التقريبية: $U_n = I_n . \frac{1}{\frac{1}{nX_t} - \frac{n}{X_r}}$ ، تم حساب تيار المكثف الناجم عن التوافقيات من العلاقة [2]:

$$I_{Cn} = \frac{U_n . n}{X_r}$$

المكثفات للوصول إلى عامل استطاعة قريب من الواحد وذلك لتحديد قيمة المكثفات التي يحصل عندها زيادة في الحمولة أو حدوث طنين للتيار وذلك عند كل توافقية من التوافقيات التي تظهر في منحنيات التيار. ونبين هذه المنحنيات في الأشكال (3) .

نتيجة :

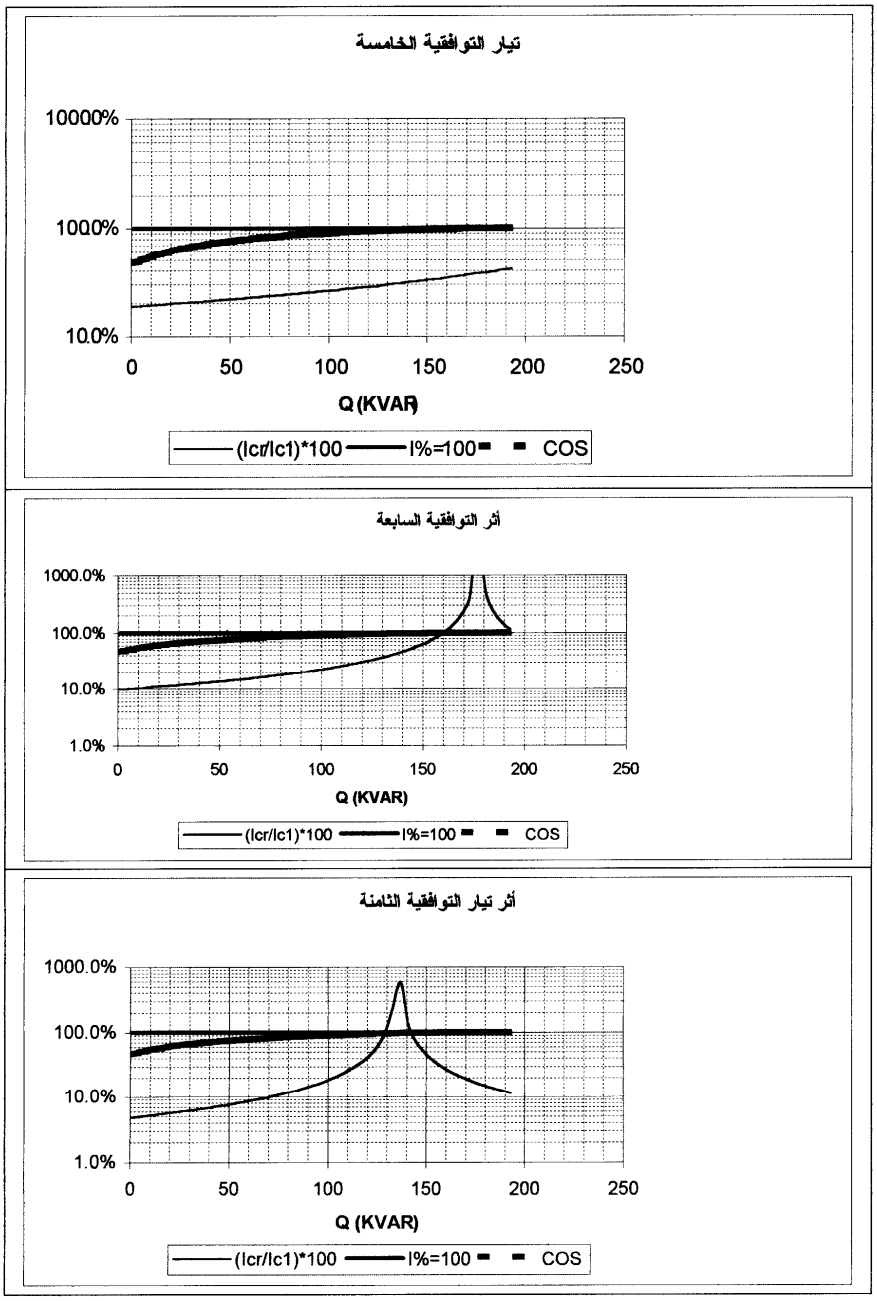
من قراءة المنحنيات السابقة يمكن استخلاص النتائج التالية وذلك:

رقم التوافقية	نسبة (قيمة)تيار التوافقية	مجال المكثفات الذي يحصل عنده تحميل زائد (KVAR)	مجال تغير عامل الاستطاعة
7	17.15% (25 A)	> 160	0.99 - 1
8	2.7% (9.45 A)	142 – 130	0.96 - 0.97
11	9.12% (32 A)	93 – 50	0.75 - 0.89
17	5.13% (17.9 A)	42 – 18	0.59 - 0.72
23	3.3% (11.5 A)	25 – 9	0.54 - 0.64

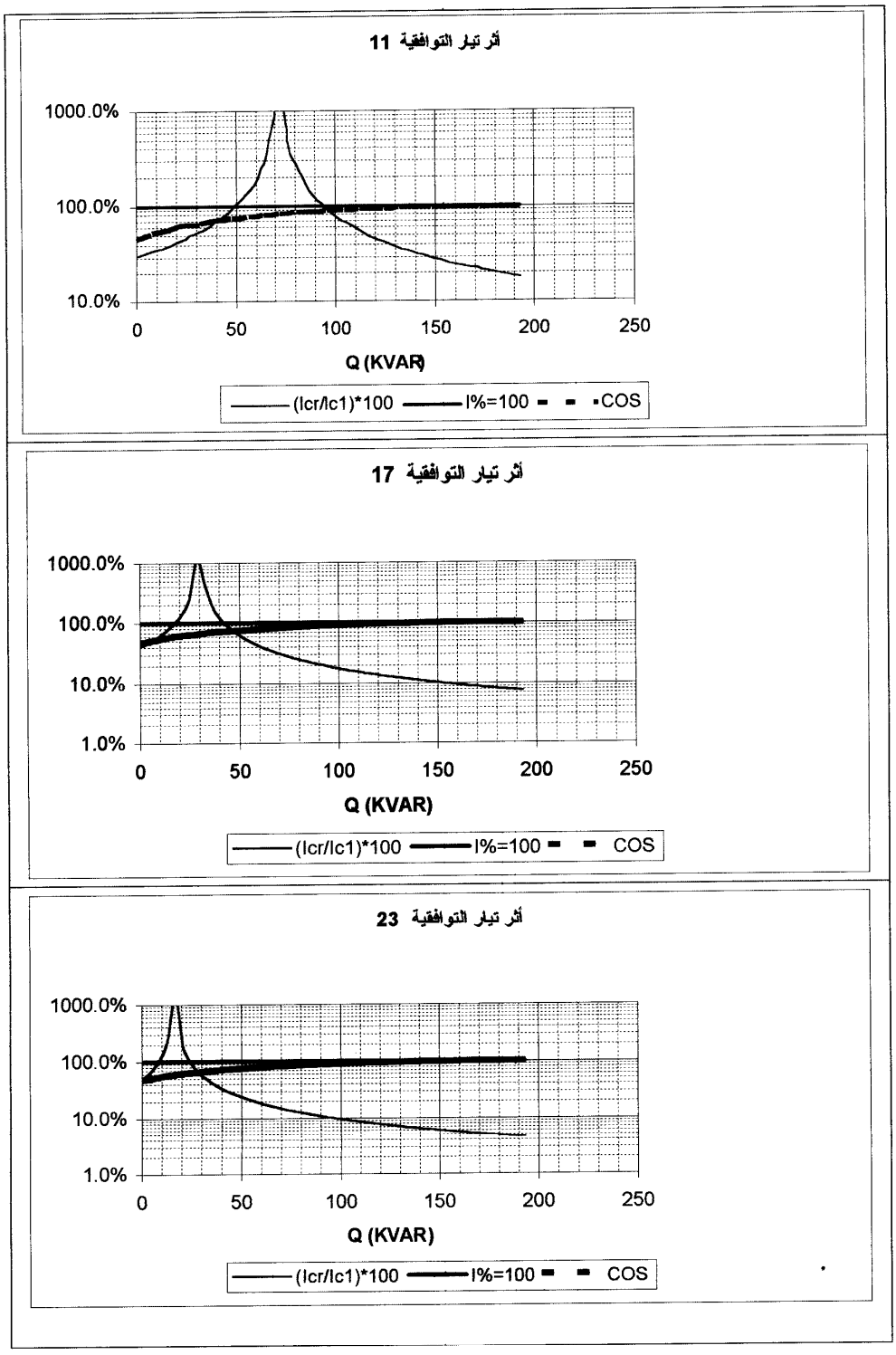
تبين من خلال الدراسة أن القيمة المطلوبة من المكثفات لتحسين عامل الاستطاعة وبحيث نحصل على عامل استطاعة أكبر من 0.9 هي بين 95 KVAR و194 KVAR .

ويتضح من الجدول أنه عند إضافة هذه القيمة بين KVAR (142-130) يحصل زيادة في تحميل المكثفات وقد يحصل طنين على التوافقية الثامنة كما هو واضح في الجدول .

لذا فإنه ولتحاشي حدوث حالات الطنين والتحميل الزائد يجب اختيار مجموعات المكثفات ودارة التحكم بحيث تمنع وصل مجموعات مكثفات بالقيم في المجالات المبينة في الجدول عند إدخال أخراج المجموعات وفي مثل هذه الحالة يقترح تركيب مخمد للتوافقية الثامنة ومجموعة مكثفات واحدة بـ 150 KVAR وبذلك نحصل على عامل استطاعة Cos(j)=0.98 ونتحاشى حالات الطنين والتحميل الزائد.


تيار التوافقية الخامسة
10000%
1000%
100.0%
10.0%
0
50
100
150
200
250
Q (KVAR)
(Icr/Ic1)*100
I%=100
COS
أثر التوافقية السابعة
1000.0%
100.0%
10.0%
1.0%
0
50
100
150
200
250
Q (KVAR)
(Icr/Ic1)*100
I%=100
COS
أثر تيار التوافقية الثامنة
1000.0%
100.0%
10.0%
1.0%
0
50
100
150
200
250
Q (KVAR)
(Icr/Ic1)*100
I%=100
COS

أشكال(3)


أثر تيار التوافقية 11
1000.0%
100.0%
10.0%
0
50
100
150
200
250
Q (KVAR)
(Icr/Ic1)*100
I%=100
COS
أثر تيار التوافقية 17
1000.0%
100.0%
10.0%
1.0%
0
50
100
150
200
250
Q (KVAR)
(Icr/Ic1)*100
I%=100
COS
أثر تيار التوافقية 23
1000.0%
100.0%
10.0%
1.0%
0
50
100
150
200
250
Q (KVAR)
(Icr/Ic1)*100
I%=100
COS

خلاصة:

1 – إن الأحمال اللاخطية تشكل نسبة كبيرة من أحمال المؤسسات الصناعية.

2 – إن الأحمال التي تستخدم المبدلات الثايرستورية ذات عامل استطاعة منخفض.

3 – إن المبدلات الثايرستورية موضوع الدراسة تحوي توافقيات عليا يمكن أن تشكل خطورة كبيرة على مجموعات مكثفات تعويض الاستطاعة الردية.

4 – إن التوافقيات ذات الدرجة الكبيرة تشكل خطورة كبيرة رغم صغر نسبة التيار لها.

5 – لا بد من إجراء دراسة خاصة لكل حمل يراد تحسين عامل استطاعته وذلك من وجهة نظر التوافقيات وأثرها على تحميل المكثفات بناءً على ما ورد في البحث .

5 – يجب تركيب مخمدات للتوافقيات ذات الأثر الكبير في التحميل الزائد للمكثفات.

6 – لا بد من الانتباه عند تصميم دارة التحكم في وصل وفصل مجموعة المكثفات بحيث نمنع حالة وصل القيم التي يحصل عندها حالات طنينية.

المراجع:

.....

1- Jos, Arrillaga, 1997 - Power System harmonic analysis - University of Canterbury, copyright by John Wiley & Sons Ltd.

2 – O. P. Ilen, V.I. Panasok, Y. N. Petrenko Mh., 1978- Structori system opravlenia automation electroprivod. "Nayka", 368 c.

3 –, fedrov A.A., Restkhen I. M. otshebnek dla fozof. – M.: enrgia, 1981 Elecrosnabgenia promeshlenikh predpriatie.-360c.,il.

4 – Glenterhic C. R. Nayka, 1970 - Electromagnitnie protses e regeme moshnikh stsiteshsikh preobrazafatlie.

5 – metodica rachota doplnetelnekh poter ot vishekh garmonic. Semechveskie P.D., Promeshlenaia energetica, 1987, No 12, c, 29-31.

6 – ورقوزق ، هاشم & الجازي، علي 2001 – *التوافقيات وأنظمة الكترونيات القدرة الكهربائية*، مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية، مجلد 17 العدد الثاني 2001.

7 – محمود ، علي – *حساب الضياعات في المحركات التحريضية المقادة بواسطة معرجات ثايرستورية والناجمة عن التوافقيات العليا* ، مجلة جامعة تشرين للعلوم الهندسية 1993.

8 – محمد ، كاميليا يوسف. 1994 *التوافقيات في الشبكات الكهربائية*، شركة كهرباء الاسكندرية.