

# دراسة المدروجات في الشبكات الكهربائية الصناعية وتصميم المرشحات اللازمة للحد منها باستخدام الحاسوب

الدكتور مظفر شعبان

الدكتور عبد الرحمن الحسن

أستاذ في قسم نظم القدرة الكهربائية

مدرس في قسم نظم القدرة الكهربائية

كلية الهندسة الكهربائية والإلكترونية -

كلية الهندسة الكهربائية والإلكترونية -

جامعة حلب

جامعة حلب

المهندس خالد الشعبي

طالب ماجستير في قسم نظم القدرة الكهربائية

كلية الهندسة الكهربائية والإلكترونية-جامعة حلب

## الملخص

إن وجود المدروجات (التوافقيات) في الشبكة الكهربائية يؤدي عادة إلى زيادة ضياعات النقل في الشبكة الكهربائية، وارتفاع درجات حرارة الآلات الكهربائية، وكذلك ظهور اهتزازات ميكانيكية فيها، وتشويه عمل وسلوك الدارات الإلكترونية ونظم الاتصالات، وقد يؤدي هذا إلى انهيار عناصر من الشبكة الكهربائية قد تكون هامة ذات تكاليف عالية إضافة إلى آثار أخرى. ولذلك يجب تخفيض نسبة المدروجات والحد من آثارها باستخدام المرشحات، التي تصمم لتخفيض تيارات المدروجات، وتقوم بتحسين عامل الاستطاعة من خلال تعويض الاستطاعة الردية.

## مقدمة:

من أجل تحقيق الغاية من البحث والتوصل إلى استنتاجات مفيدة عمدنا إلى دراسة المدروجات وتحليلها في شبكة صناعية واقعية هي الشبكة الكهربائية المغذية لمعمل الورق بدير الزور، مع العلم أن كل شبكة تحتاج إلى حل خاص بها كما يشير المرجع (ABB Capacitors AB, 2000) ولأن الشبكة تعاني من مشاكل المدروجات الناتجة من المبدلات الثايرستورية المغذية لآلات التيار المستمر هناك، كانهيار جزء من مكثفات تحسين عامل الاستطاعة وفصل ما تبقى منها من الخدمة (كما حدث في معمل الورق بدير الزور عام 1978). ومن آثاره السلبية ترك المعمل بدون تعويض للاستطاعة الردية مما أدى إلى انخفاض عامل الاستطاعة بشكل واضح، الأمر الذي انعكس على قيمة فواتير الكهرباء المستهلكة. ويتم في هذا البحث تصميم المرشحات اللازمة لتخفيض المدروجات باستخدام الحاسوب.

## الهدف من البحث:

إن نظام القدرة الكهربائية يعمل بشكل سليم عندما يكون شكل موجتي الجهد والتيار جيبيين تماماً، لذلك يهتم المهندسون والباحثون العاملون في جامعات ومراكز البحوث وشركات توليد القدرة الكهربائية ونقلها وتوزيعها بالبحث في تحسين شكل موجات التوتر والتيار، كما هو الحال في المعايير والنورمات العالمية:

EN60146-1-x, EN50160, EN61000-3-x, EN61000-4-x, IEC1000-3-x, IEC1000-4-x, IEEE 519-1992

وكما هو معلوم فإن شكل موجة الجهد يتحدد من المنبع، ولهذا السبب فإن الاهتمام في هذا البحث يتركز على دراسة تشوهات موجة التيار عند وجود أحمال غير خطية ومعالجتها مثل:

- مقومات التيار والقابلات والمبدلات الترددية.
- أفران القوس الكهربائي والأفران التحريضية وأجهزة اللحام الكهربائي.
- تجهيزات عدم انقطاع التغذية الكهربائية.

- وحدات تغذية الأجهزة الإلكترونية (كالحاسب وأجهزة التلفاز والفيديو والفاكس والطابعات والمصايح الموفرة للطاقة ذات الإقلاع الإلكتروني).
- المحولات والملفات ذات القلوب الحديدية.

### تصميم المرشحات باستخدام برنامج حاسوب:

لقد أصبح الحاسوب مع برمجياته أداة ضرورية للوصول إلى الحلول السليمة والمثلى للشبكات الكهربائية، وتستند طريقة تصميم المرشحات إلى خوارزمية متكاملة أنشئت خصيصاً لهذا الغرض، وقد كتب البرنامج بلغة البرمجة Visual Basic، ويمكن تلخيص مضمون خوارزمية البرنامج بالمراحل التالية:

- تجميع معطيات الشبكة الكهربائية وتحديد عناصرها الخطية وغير الخطية.
- حساب تيار المدروج الأساسي وتيارات المدروجات الأعلى.
- تحديد القيم الحدية لتشوه موجة التيار بالمدروجات ومراتب المدروجات المشوهة لشكل الموجة الجيبية ومطال كل منها قبل إضافة المرشحات.
- تحديد نقاط الطنين لكل مرشح يتم وصله مع الشبكة الصناعية.
- تحديد قيمة الاستطاعة الردية الكلية الواجب تعويضها والاستطاعة الردية المغذاة من قبل كل مرشح.
- حساب القيم التصميمية لعناصر المرشح.
- الكشف عن مقادير تشوه الموجة الجيبية بالمدروجات بعد إضافة المرشحات، والتحقق من أنها ضمن الحدود المسموح بها عالمياً.

باعتبار أن تيار المدروج الأساسي  $I_1$  و تيار المدروجات ذوات المرتبة  $h$  وكذلك  $I_L$  تيار الحمل عند نقطة اتصال الشبكة الصناعية مع الشبكة العامة يمكن حسب (LIN et al., 2001) التعبير عن تشوه التيار بالمعادلة:

$$D_h = \frac{I_{Net(h)}}{I_L} * 100\% \dots \dots \dots (1)$$

أما تشوه التيار الكلي بتيارات المدروجات فيعبر عنه عادة بالمعادلة التالية:

$$THD_I = \sqrt{\frac{\sum_{h=2}^{50} I_h^2}{I_1^2}} = \sqrt{\sum_{h=2}^{50} D_h^2} \dots \dots \dots (2)$$

وتتأثر قيمة تشوه التيار بالمدروجات بالعوامل التالية:

آ- **تعويض الاستطاعة الردية:** يكون اختيار المرشحات مثالياً عندما يكون مجموع الاستطاعات الردية التي تقدمها المرشحات مساوياً للاستطاعة الردية المستهلكة في الشبكة حسب و (CHOU et al., 2000) و (LIN et al., 2001):

$$\Delta Q_C = Q_{F5} + Q_{F7} + Q_{F11} + Q_{F13} + \dots + Q_{F-HP} \dots \dots \dots (3)$$

ويكون توزيع الاستطاعة الردية  $Q_{Fh}$  التي تقدمها مرشحات المدروجات ذوات المرتبة h أفضل ما يمكن عندما يوافق العلاقة التالية:

$$Q_{Fh} = \frac{I_h}{k \sum_{h=2} I_h} \cdot Q_C \dots \dots \dots (4)$$

باعتبار k عدد دارات الترشيح و  $Q_C$  الاستطاعة الردية الواجب تعويضها و  $I_h$  تيار المدروجات ذوات المرتبة h.

ب- **مجالات تغير مؤشرات النظام الكهربائي:** إن مجال تغير التردد هو  $\pm 1\%$  من التردد الأساسي، وهناك عاملان رئيسيان يساهمان في تغيير مواصفات المرشح هما: اختلاف درجات الحرارة ونوعية عناصر المرشح. حيث يوجد ارتياب في قيم المكثفات يعود إلى تغير درجات الحرارة في المجال  $\pm 2\%$ ، واختلافات تتعلق بصناعة العنصر مقدارها  $10\% + \dots - 5\%$ ، لذلك فإن التغيرات الناتجة في المكثف حسب (LIN et al., 2001) تحدد من المعادلة التالية:

$$-7\% \leq (\Delta C / C) \leq +12\%$$

أما الملفات المستخدمة في المرشحات بشكل عملي العملية فهي ذات فجوة هوائية، وبالتالي لا تتأثر مفاعلاتها التحريضية باختلافات الحرارة، ولكن هنالك اختلافات تتعلق بصناعة العنصر مقدارها  $\pm 3\%$  من القيمة التصميمية أي أن:

$$-3\% \leq (\Delta L / L) \leq +3$$

ج- مجال التصميم الآمن لنقطة الطنين: يمكن تحديد نقطة الطنين المصممة للمرشحات البسيطة حسب (MEDORA et al., 2000) و (LIN et al., 2001) انطلاقاً من المعادلة التالية:

$$n_h = \frac{1}{2\pi f \sqrt{LC}}$$

التي تبين أن نقطة الطنين الموافقة للقيمة  $n_h$  هي تابع للتردد وسعة المكثف وذاتية المرشح.

ويلاحظ أن أي تغير في هذه المؤشرات يمكن أن يحرف نقطة الطنين عن قيمتها التصميمية، ويمكن الحصول على مقدار الانحراف بتعويض معادلات تغير مؤشرات النظام بالعلاقة الأخيرة فينتج أن الطنين يقع ضمن المجال:

$$0.92h \leq n_h \leq 1.06h \dots \dots \dots (5)$$

وهذا يعني أنه لتصميم مرشح للمدروج ذي المرتبة  $h$  (بحيث لا يثار الطنين التسلسلي عند تلك القيمة) يجب أن يكون تردد الطنين أقل من القيمة الحدية لحدوث الطنين ويفضل أن يكون:  $n_h \leq 0.92h$ .

د- نسبة تيار القصر إلى تيار الحمل: إن التشوه بالمدروجات يجب أن يقع ضمن الحدود المسموح بها في النظم والمعايير العالمية (كالمعيار IEEE-519 المعمول به حالياً) كما هو موضح بالجدول التالي:

نسبة تيار القصر إلى تيار الحمل $I_{SC}/I_L$	القيم الحدية المسموح بها للتشوه بالمدروجات كنسبة مئوية					
	H<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	h≥35	THD <sub>1</sub> %
<20	4	2	1.5	0	0.3	5
<b>20-50</b>	<b>7</b>	<b>3.5</b>	<b>2.5</b>	<b>1</b>	<b>0.5</b>	<b>8</b>
50-100	10	4.5	4	1.5	0.7	12
100-1000	12	5.5	5	2	1	15
>1000	15	7	6	2.5	1.4	20

إن استطاعة القصر عند مستوى التوتر 66 kV للشبكة المدروسة تبلغ 600 MVA، وبالتالي فإن نسبة تيار القصر إلى تيار الحمل للشبكة المدروسة:

$$\frac{I_{SC}}{I_L} = \frac{600 \times 10^6 / \sqrt{3} \times 66 \times 10^3}{20 \times 10^6 / \sqrt{3} \times 66 \times 10^3} = 30$$

ولهذا السبب فإن القيم المسموحة لتشوه التيار:

$$0 \leq D_5\% < 7, 0 \leq D_7 < 7, 0 \leq D_{11} < 3.5, 0 \leq D_{13} < 3.5, 0 \leq THD\% < 8$$

### وصف معمل الورق وشبكته الكهربائية:

يعتبر هذا المعمل أهم منشأة لإنتاج الورق في سوريا حتى الآن (تأسس عام 1978)، ويتكون من خطي إنتاج بطاقة إنتاجية تصل إلى 60 ألف طن من الورق سنوياً، كل خط إنتاج يتكون من خمس مراحل هي: مرحلة الشبكة ثم مرحلة الضغط فالتجفيف فالصقل ثم لف الورق. وتقاد جميع محركات التيار المستمر في مراحل الإنتاج عن طريق مبدلة ثايرستورية سداسية النبضات.

ويبين الشكل (1) الشبكة الكهربائية المغذية لمعمل الورق بشكل مبسط. في حالة العمل الطبيعي تكون الشبكة الصناعية متصلة مع الشبكة العامة عن طريق قاطع في مستويات التوتر 66 kV و 20 kV، ويقوم القاطع بالفصل عند انخفاض التردد عن حد معين، وهناك توصيلات وقواطع في مستوى التوتر 6 kV لضمان استمرار التغذية الكهربائية في حالات الأعطال، وللفصل والمناورة في فترات الصيانة الدورية.

تبلغ الاستطاعة الاسمية العظمى للمعمل حوالي 18 MW وتوتر التغذية من الشبكة العامة هو 20kV وللحصول على موثوقية تزويد عالية وتقليل فترات انقطاع التغذية ومعدل تكراره فقد تم تزويد الشبكة بالقدرة الكهربائية من مصدري تغذية مختلفين، أما توتر التوزيع ضمن المعمل فهو التوتر المتوسط 6 kV الملائم لمحركات التوتر المتوسط ذات الاستطاعة العالية، وقد جزئت الشبكة الصناعية إلى 14 فرعاً ضمن قسمين رئيسيين:

- **القسم الأول:** يتكون من 6 دارات موصولة مع العنفة المحلية الأولى ذات الاستطاعة 25 MW ومع الشبكة العامة، ويتضمن هذا القسم الجزء الأكبر من استهلاك المعمل بما في ذلك أحمال التيار المستمر التي تشكل مصدر نشوء المدروجات.

- **القسم الثاني:** يتكون من 8 دارات موصولة مع مجموعة التوليد المحلية الثانية ذات الاستطاعة 1.9 MW إضافة إلى الاتصال مع الشبكة العامة.

إن حمولة خط الإنتاج المدروس تبلغ حوالي 1300 kW، والتيار المستمر الذي يستجره الحمل هو حوالي 2960 A، وعامل الاستطاعة للتيار المتناوب المار في الخط حوالي 0.68. وتعمل المبدلات عند جهد خط مقداره 400 V ويتم تغذيتها بواسطة محولة 6 kV / 0.4 kV موصلة بشكل نجمي مثلثي، وبالتالي فإن معادلة التيار المتناوب للمبدلات سداسية النبضات تعطى حسب (يوسف محمد، 2001) و(SCHLABBACH et al., 1999) بالعلاقة:

$$i_a = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} I_d [\cos \omega t - \frac{1}{5} \cos 5\omega t + \frac{1}{7} \cos 7\omega t - \frac{1}{11} \cos 11\omega t + \frac{1}{13} \cos 13\omega t - \dots] \dots \dots \dots (6)$$

والقيمة المنتجة للتيار المتناوب هي:

$$I = \frac{2\sqrt{3}}{\sqrt{2}\pi} \times I_d = \frac{\sqrt{6}}{\pi} \times I_d \dots \dots \dots (7)$$

أما قيمة تيارات المدروجات في أسوأ الحالات فهي:

$$I_h = \frac{I}{h} \dots \dots \dots (8)$$

وفيما يلي جدول للتيار الأساسي وتيارات المدروجات محسوبة عند طرف

التوتر 0.4 KV:

درجة المدروج h	تيار المدروج A	درجة المدروج h	تيار المدروج A	درجة المدروج h	تيار المدروج A
1	2310.00	5	462.00	7	330.00
11	210.00	13	177.71	17	135.88
19	121.58	23	100.43	25	92.40
29	79.66	31	74.52	35	66.00
37	62.43	41	56.34	43	53.72
47	49.15	49	47.14	*	*

ولكي يمكن تحديد مدى تأثير تيار المدروجات في الشبكة يجب حساب عوامل التشوه الجزئي % Dh والكلية للتيار % THDi، والتي يمكن ترتيبها في الجدول التالي:

	h<11		11≤h<17		17≤h<23		23≤h<35	
درجة المدروج h	5	7	11	13	17	19	23	25
النسبة المئوية لتيار المدروج على تيار الأساس $(\frac{I_h}{I_1} \cdot 100)\%$	20.0	14.3	9.09	7.69	5.88	5.26	4.35	4.00
التشوه المسموح % Dh	7	7	3.5	3.5	2.5	2.5	1	1
	23≤h<35		h≥35					
درجة المدروج h	29	31	35	37	41	43	47	49
النسبة المئوية لتيار المدروج على تيار الأساس $(\frac{I_h}{I_1} \cdot 100)\%$	3.45	3.23	2.86	2.70	2.44	2.33	2.13	2.04
التشوه المسموح % Dh	1	1	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
التشوه الكلية المسموح % THDi	8							



وبلاحظ من الجدول أن القيم الحسابية لمدرجات التيار أعلى من القيم المسموح بها بشكل إفرادي، وأن عامل التشوه الكلي أعلى من عامل التشوه الكلي المسموح به، وقد تم إجراء القياسات الميدانية أثناء تشغيل المعمل بطاقته الكاملة وذلك عند طرف الجهد المنخفض لقضيب التجميع الرئيسي لخط الإنتاج عند الطرف الثانوي للمحولة باستخدام جهاز قياس رقمي نوع (comar condensatori FFT01) ويوضح الجدول التالي قيم القراءات التي تم قياسها لعوامل التشوه الجزئية % Dh والكلية % THDi لتيارات المدروجات:

	h<11		11≤h<17		17≤h<23		23≤h<35	
درجة المدرج h	5	7	11	13	17	19	23	25
النسبة المئوية لتيار المدرج على تيار الأساس $(\frac{I_h}{I_1} \cdot 100)\%$	28%	9.7%	9.3%	5.7%	6.3%	3.3%	3.5%	1.0%
التشوه المسموح % Dh	7	7	3.5	3.5	2.5	2.5	1	1
التشوه الكلي % THDi	32.6%							

تبين القياسات الميدانية التي أجريت للمعمل أن قيم مدرجات التيار المقاسة أعلى من القيم المسموح بها بشكل إفرادي، وأن عامل التشوه الكلي أعلى من عامل التشوه الكلي المسموح به، ومن خلال مقارنة القيم الحسابية والقيم المقاسة نجد أنه متقاربة نسبياً كما هو موضح في الشكل (2).

وبالتالي فإن الحل الأنسب لتخفيض المدرجات والتشوه في الوضع الحالي للشبكة الكهربائية هو استخدام مرشحات تفرعية فردية التوليف للمدرجات الخامس والسابع والحادي عشر والثالث عشر (كما في الشكل 3-أ) لأنها أبسط من حيث التصميم وأقل كلفة وأكثر سهولة عند التنفيذ، أما من أجل معالجة المدرجات العالية (17 و 50) فيفضل استخدام مرشح تمرير ترددات عالية من المرتبة الثانية (شكل 3-أ) وذلك بسبب انخفاض ممانعته عند الترددات العالية مما يؤدي للتخلص من نسب كبيرة من المدرجات عالية التردد.

ويستفاد من المرشحات البسيطة فردية التوليف في رفع عامل الاستطاعة في الشبكة من 0.68 إلى 0.96، ويفترض بمرشح الترددات العالية أن يقدم استطاعة ردية تقارب 250 kVAr ليصبح عامل الاستطاعة قريباً من الواحد، مع العلم أن الاستطاعة الردية اللازمة لرفع عامل الاستطاعة من 0.68 إلى 0.96 هي:

$$Q = P \times (\tan \phi_1 - \tan \phi_2) = 1021.27 \text{ kVAr}$$

وعليه يتم تقسيم الاستطاعة الردية التي يقدمها كل مرشح للمدروجات 5و7 و11 و13 وفق علاقة توزيع الاستطاعات الردية بين المرشحات.

عندئذ تكون الاستطاعة الردية التي يقدمها مرشح المدرج الخامس هي:

$$Q_{F5} = \frac{462}{462 + 330 + 210 + 177.7} \times 1021.27 \approx 400 \text{ kVAr}$$

وبشكل مماثل تكون الاستطاعة الردية التي ينبغي أن يقدمها مرشح المدرج السابع هي 300 kVAr، ومرشح المدرج الحادي عشر 175 kVAr، ومرشح المدرج الثالث عشر 150 kVAr.

### تصميم المرشحات:

أولاً: تصميم المرشحات البسيطة فردية التوليف:

- تصميم مرشح المدرج الخامس عند التوتر 0.4 kV:

على اعتبار أن تردد التوليف الذي سوف يحدث عنده الطنين هو  $n_5 = 4.6$  وأن المرشحات موصلة مثلثياً (كما في الشكل 3 ب)، وحسب خوارزمية الحل والمراجع (يوسف محمد، 2001) و (LIN et al., 2001) تكون الاستطاعة الردية التي يقدمها كل من المكثف والملف على الشكل الآتي:

$$Q_C = Q_{F5} \times \frac{n_5^2}{n_5^2 - 1} = 400 \times \frac{(4.6)^2}{(4.6)^2 - 1} = 419.84 \text{ KVAr}$$

$$Q_L = Q_{F5} \times \frac{1}{n_5^2 - 1} = 400 \times \frac{1}{(4.6)^2 - 1} = 19.84 \text{ KVAr}$$

أما الجهد على طرفي كل من المكثف والملف عند التردد الأساسي فهو:

$$V_C = V \times \frac{n_5^2}{n_5^2 - 1} = 400 \times \frac{(4.6)^2}{(4.6)^2 - 1} = 419.84V$$

$$Q_C = Q_{F7} \times \frac{n_7^2}{n_7^2 - 1} = 300 \times \frac{(6.44)^2}{(6.44)^2 - 1} = 307.41KVAr$$

وممانعة المكثف والملف عند التردد الأساسي هي:

$$X_C = 3 \times \frac{(V_C)^2}{Q_C} = 3 \times \frac{(419.84)^2}{419.84 \times 10^3} = 1.26\Omega$$

$$X_L = 3 \times \frac{(V_L)^2}{Q_L} = 3 \times \frac{(19.84)^2}{19.84 \times 10^3} = 0.059\Omega$$

وتكون سعة المكثف:

$$C = \frac{1}{2\pi \times f \times X_C} = \frac{1}{2\pi \times 50 \times 1.26} = 2527 \times 10^{-6} F = 2527 \mu F$$

أما ذاتية الملف فهي:

$$L = \frac{X_L}{2\pi \times f} = \frac{0.059}{100\pi} = 0.18mH$$

وبالتالي فإن التيار المار في المرشح عند التردد الأساسي هو:

$$I_{F5} = \frac{V}{X_C - X_L} = \frac{400}{1.26 - 0.059} = 333.33A$$

والجهد على طرفي كل من المكثف والملف عند تردد التوليف للمدروج

الخامس يكون:

$$V_{C5} = V_{L5} = I_{F5} \times \frac{X_C}{n_5} = I_{F5} \times X_L \times n_5 = 333.33 \times 0.059 \times 4.6 = 90.39V$$

والجهد التصميمي للمكثف والملف:

$$V_{C\ design} = V_{L\ design} = \sqrt{\sum_{h=1}^{50} \left(\frac{IF \times XC}{n_h}\right)^2} \times 110\%$$

$$= \sqrt{(419.84)^2 + (90.39)^2} \times 1.1 = 472.4V$$

ويكون التيار التصميمي لكل من الملف والمكثف على الشكل الآتي:

$$I_{F\ design} = I_F \times 1.3 = 333.33 \times 1.3 = 433A$$

ويمكن ترتيب نتائج الحساب لمرشح المدرج الخامس كما في الجدول الآتي:

	الجهد عند التردد الأساسي	الاستطاعة الردية	القيمة	جهد التصميم
المكثف	419.84 V	419.84KVAr	2529.55μF	472.6 V
الملف	19.84 V	19.84KVAr	0.189mH	
	الجهد عند المدرج الخامس	استطاعة المرشح	التيار المار	تيار التصميم
المكثف	91.27 V	400 KVAr	333.47 A	433.5 A
الملف				

وبنفس الطريقة وباستخدام برنامج الحاسوب يمكن حساب مؤشرات تصميم

المرشحات (السابع والحادي عشر والثالث عشر) وترتب كما يلي:

- مؤشرات تصميم مرشح المدرج السابع:

	الجهد عند التردد الأساسي	الاستطاعة الردية	القيمة	جهد التصميم
المكثف	409.88 V	307.41 KVAr	1941.89 μF	456.39 V
الملف	9.88 V	7.41 KVAr	0.127 mH	
	الجهد عند المدرج السابع	استطاعة المرشح	التيار المار	تيار التصميم
المكثف	64.4 V	300 KVAr	250 A	325 A
الملف				

- مؤشرات تصميم مرشح المدرج الحادي عشر:

	الجهد عند التردد الأساسي	الاستطاعة الردية	القيمة	جهد التصميم
المكثف	403.94 V	176.725 KVAr	1149.7 μF	446.4V

الملف	3.94V	1.725 KVAr	0.086 mH	
	الجهد عند المدروج الحادي عشر	استطاعة المرشح	التيار المار	تيار التصميم
المكثف	39.84 V	175 KVAr	145.82 A	189.56 A
الملف				

- مؤشرات تصميم مرشح المدروج الثالث عشر:

جهد التصميم	القيمة	الاستطاعة الردية	الجهد عند التردد الأساسي	
444.5 V	989 $\mu$ F	151.05 KVAr	402.77 V	المكثف
	0.07 mH	1.05 KVAr	2.77 V	الملف
	التيار المار	استطاعة المرشح	الجهد عند المدروج الثالث عشر	تيار التصميم
162.5 A	125 A	150 KVAr	33.4 V	المكثف
				الملف

ثانيا: تصميم مرشح الترددات العالية من الدرجة الثانية عند التوتر 0.4 KV:

إن الاستطاعة الردية التي يقدمها المرشح عند المدروجات ذات الترددات

العالية 250 KVAr، وتردد الطنين  $n_{17} = 0.92 \times 17 = 15.64$ .

عندئذ تكون الاستطاعة الردية التي يقدمها المكثف هي:

$$Q_C = Q_{F_{HP}} \times \frac{n_{17}^2}{n_{17}^2 - 1}$$

$$= 250 \times \frac{(15.64)^2}{(15.64)^2 - 1} = 250 \times 1.0041 = 251.025 \text{ KVAr}$$

والجهد على طرفي المكثف عند التردد الأساسي هو:

$$V_C = V \times \frac{n_{17}^2}{n_{17}^2 - 1} = 400 \times \frac{(15.64)^2}{(15.64)^2 - 1} = 400 \times 1.0041 = 401.6 \text{ V}$$

أما ممانعة المكثف عند التردد الأساسي فتكون:

$$X_C = 3 \times \frac{(V_C)^2}{Q_C} = 3 \times \frac{(401.6)^2}{251.02 \times 10^3} = 1.927 \Omega$$

وتكون سعة المكثف:

$$C = \frac{1}{2\pi \times f \times X_C} = \frac{1}{2\pi \times 50 \times 1.927} = 1652.22 \times 10^{-6} F = 1652.22 \mu F$$

وتحسب ذاتية الملف وقيمة المقاومة حسب (يوسف محمد، 2001) وفق

العلاقات التالية:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \times C \times R}$$

حيث تمثل  $f_0$  قيمة تردد التوليف لمرشح الترددات العالية.

$$f_0 = n_{17} \times 50 = 0.92 \times 17 \times 50 = 782 \text{ HZ}$$

$$R = \frac{1}{2\pi \times f_0 \times C} = \frac{1}{2\pi \times 782 \times 1320 \times 10^{-6}} = 0.154 \Omega$$

$$m = \frac{L}{R^2 \times C}$$

حيث يمثل العامل  $m$  نسبة بين العناصر المكونة لمرشح الترددات العالية

$R, L, C$  وتتراوح قيمته النموذجية من 0.5 إلى 2 وتغير هذا العامل له دور في

تغيير قيمة سماحية المرشح  $y$  والذي بدوره يغير مدى التردد الذي يغطيه المرشح

وبافتراض قيمة وسطية لهذا العامل مقدارها  $m = 1$  فإن:

$$L = R^2 \times C \times m = (0.154)^2 \times 1320 \times 10^{-6} \times 1 = 0.031 \text{ mH}$$

والجدول التالي تلخيص لنتائج حساب مرشح تمرير الترددات العالية:

	المكثف	الملف	المقاومة
الجهد عند التردد الأساسي	401.6V	1.6 V	-
الجهد عند تردد المدرج السابع عشر	25.67 V		-

الاستطاعة الردية	251.02KVA <sub>r</sub>	1.02KVA <sub>r</sub>	-
استطاعة المرشح	250 KVA <sub>r</sub>		-
التيار المار	208.4A	195.89A	12.51 A
القيمة	1652.22μF	0.025mH	0.123Ω
جهد التصميم	442.6 V		-
تيار التصميم	270.92 A		-

ويمكن تلخيص نتائج الحسابات السابقة جميعها كما يلي:

$h$	$Q_{Fh}$ [kVA <sub>r</sub> ]	$I_{Filter}$ [A]	$I_{design}$ [A]	$U_{design}$ [V]	$C_F$ [μF]	$L$ [mH]	$R$ [Ω]
5	400	333.4	433.5	472.6	2529.5	0.189	-
7	300	250	325	456.4	1941.8	0.127	-
11	175	145.8	189.5	446.4	1149.7	0.086	-
13	150	125	162.5	444.5	989	0.07	-
HP	250	208.4	270.92	442.6	1652	0.025	0.12

### مواقع تركيب المرشحات في الشبكة المدروسة:

يمثل معمل الورق شبكة كهربائية ممتدة نسبياً حيث يتغذى معمل الورق (كما هو واضح في الشبكة المدروسة) عن طريق ست عشرة محولة توزيع، مما يجعل التحكم الآلي الموضوعي في المرشحات عند كل محطة توزيع أقل كلفة وأفضل تشغيل من التحكم عن طريق تركيب المرشحات على المغذيات الرئيسية للمصنع في مستويات التوتر المتوسط، وإن تركيب المرشحات على قضبان تجميع الجهد المنخفض حيث مستوى تغذية الأحمال يؤدي إلى تحسين معامل القدرة للأحمال المتصلة إلى قضيب تجميع الجهد المنخفض وبالتالي يقل تحميل كابلات التغذية ومحولات القدرة ويقل الفقد في الشبكة الكهربائية، ولتقليل الكلفة قدر الإمكان فإنه يفضل استخدام المرشحات في طرف الجهد المنخفض من الشبكة حيث أن أسعار المرشحات في طرف التوتر المنخفض أرخص منها في طرف التوتر المتوسط وتكون

تكاليف المتممات الكهربائية للمرشحات في حالة الجهد المنخفض أقل بالمقارنة مع أسعارها في طرف التوتر المتوسط، وبالتالي فإن تركيب المرشحات على قضيب تجميع الجهد المنخفض أفضل من الناحية الفنية والاقتصادية.

### حساب الوفر المالي في الشبكة المدروسة:

تقوم شركة كهرباء دير الزور بحساب كلفة الاستمرار عن طريق قياس القدرة الكهربائية الفعلية المستهلكة مع أخذ عامل الاستطاعة الوسطي بعين الاعتبار، فإذا كان عامل الاستطاعة أقل من (0.9) يترتب على مالك معمل الورق دفع غرامة مالية وفق عامل الاستطاعة الوسطي لديه كنسبة مئوية من الاستطاعة الفعلية وذلك حسب الجدول التالي لشركة الكهرباء:

عامل الاستطاعة	0.900	0.895	0.890	0.885	0.880	0.875	0.870	0.865
نسبة الغرامة	0.0000	0.0056	0.0112	0.0169	0.0227	0.0286	0.0345	0.0405
عامل الاستطاعة	0.860	0.855	0.850	0.845	0.840	0.835	0.830	0.825
نسبة الغرامة	0.0465	0.0526	0.0588	0.0651	0.0714	0.0778	0.0843	0.0909
عامل الاستطاعة	0.820	0.815	0.810	0.805	0.800	0.795	0.790	0.785
نسبة الغرامة	0.0976	0.1043	0.1111	0.1180	0.1250	0.1321	0.1392	0.1465
عامل الاستطاعة	0.780	0.775	0.770	0.765	0.760	0.755	0.750	0.745
نسبة الغرامة	0.1538	0.1613	0.1688	0.1765	0.1843	0.1921	0.2000	0.2081
عامل الاستطاعة	0.740	0.735	0.730	0.725	0.720	0.715	0.710	0.705
نسبة الغرامة	0.2162	0.2245	0.2329	0.2414	0.2500	0.2587	0.2676	0.2766
عامل الاستطاعة	0.700	0.695	0.690	0.685	0.680	0.675	0.670	0.665
نسبة الغرامة	0.2857	0.2950	0.3043	0.3139	0.3235	0.3333	0.3433	0.3534

أما إذا كان عامل الاستطاعة للمعمل أكبر من (0.93) فإن شركة الكهرباء تقوم بإجراء تخفيض حسب عامل الاستطاعة الوسطي، والذي يحسب كنسبة مئوية من الاستطاعة الفعلية حسب الجدول التالي:

عامل الاستطاعة	0.930	0.935	0.940	0.945	0.950	0.955	0.960	0.965
نسبة الحسم	0.0000	0.0054	0.0108	0.0161	0.0215	0.0269	0.0323	0.0376
عامل الاستطاعة	0.970	0.975	0.980	0.985	0.990	0.995	1.000	-
نسبة الحسم	0.0430	0.0484	0.0538	0.0591	0.0645	0.0699	0.0753	-



**- حساب كلفة الكيلوواط ساعي قبل تركيب المرشحات:**

إن كلفة الكيلوواط ساعي 1.80 ل.س عندما يكون عامل الاستطاعة 0.9، ولما كان عامل الاستطاعة للمعمل 0.68 فإن المعمل يدفع غرامة مقدارها 35.32% من كلفة الكيلوواط ساعي والتي تساوي 0.58 ل.س، وبالتالي فإن ما يدفعه مالك المعمل لقاء استجراره الفعلي والردي قبل تركيب المرشحات هو 2.38 ل.س لكل كيلوواط ساعي.

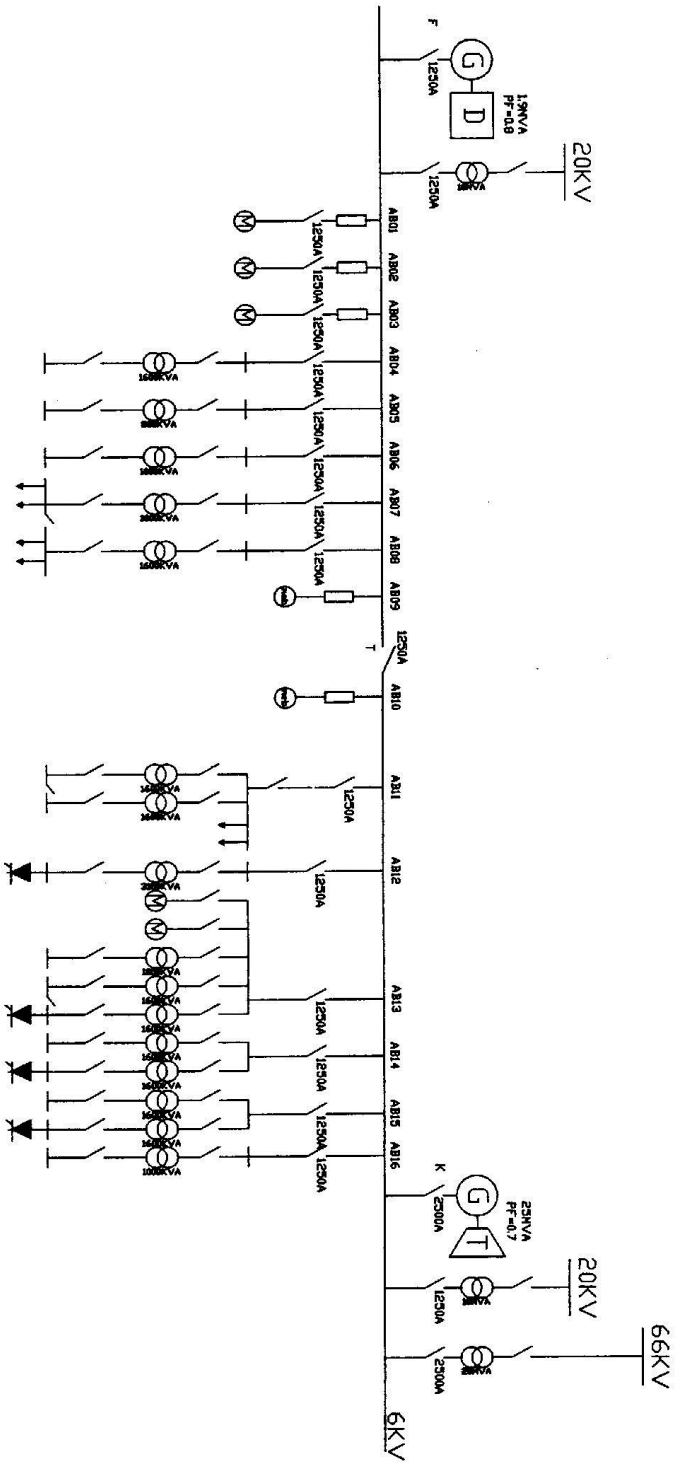
**- بحساب كلفة لكل كيلو واط ساعي بعد تركيب المرشحات:**

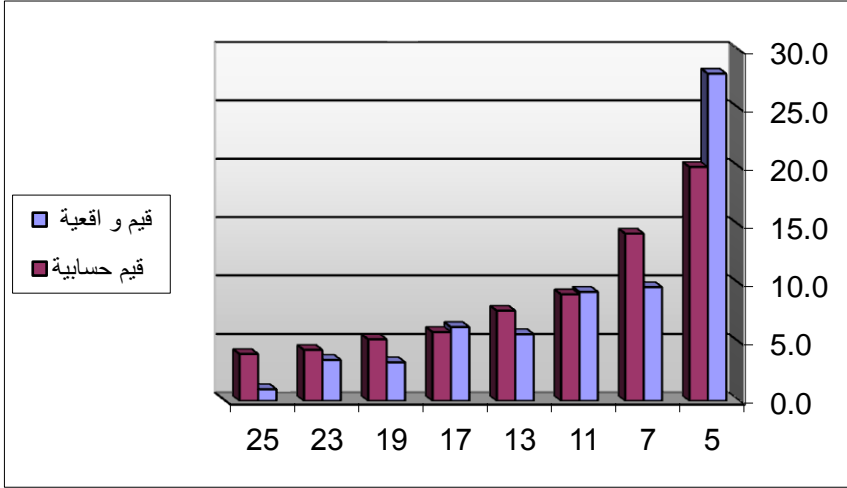
عند تركيب المرشحات يرتفع عامل الاستطاعة الى 0.995، وبالتالي تسقط الغرامة وبحسب الربح نتيجة رفع عامل الاستطاعة عن 0.93، ويكون مقدار الحسم 6.99% لكل كيلو واط ساعي من الاستهلاك بما يعادل 0.125 ل.س، وبالتالي فإن ما يدفعه المالك لقاء استجراره الفعلي والردي هو 1.67 ل.س لكل كيلوواط ساعي. وبالتالي فإن مقدار ما يوفره المعمل لكل كيلوواط ساعي بعد تركيب المرشحات يقارب 0.71 ل.س وهو يشكل نسبة مقدارها 30% من كلفة الكيلوواط الساعي قبل تركيب المرشحات.

## استنتاجات ومقترحات:

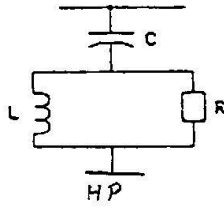
- آ- إن تركيب المرشحات يؤدي إلى تحقيق المزايا التالية:
- حصر المدروجات ضمن القيم المسموح بها وإلغاء آثارها الضارة على الشبكة الكهربائية والأحمال والعناصر الأخرى.
  - الإعفاء من دفع غرامة انخفاض عامل الاستطاعة وفقاً لأنظمة شركة الكهرباء.
  - تخفيض الفقد في الكابلات والخطوط وترشيد استهلاك الطاقة.
  - زيادة قدرة الخط على النقل عند الفقد نفسه، وزيادة القدرة المتاحة في المحولات المغذية للشبكة.
  - تحسين جهد الشبكة.
- ب- لقد تم اختيار معمل صناعة الورق بدير الزور لتطبيق الحل المقترح بعد تحديد الأحمال غير الخطية والمدروجات فيه، وقد أظهرت النتائج أن برنامج حساب القيم التصميمية للمرشحات وقيمة تشوه موجة التيار يقدم حلاً دقيقاً للنتائج وينقص زمن تصميم المرشحات وتكلفتها، وهذا يساعد في التقليل من مطالات المدروجات لتصبح ضمن الحدود المسموحة لها كما يبين الشكل (3)، ويؤدي أيضاً إلى رفع عامل الاستطاعة في الشبكات الصناعية وتحسين أدائها.

الشكل (1) : الشبكه الكهرتانيه للمعمل الورق

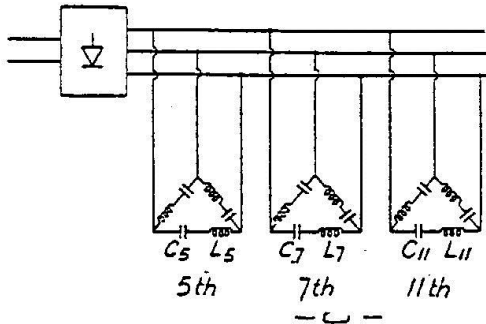
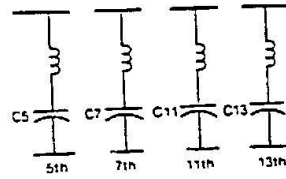




الشكل (2) مقارنة بين القيم الحسابية والقيم الواقعية.

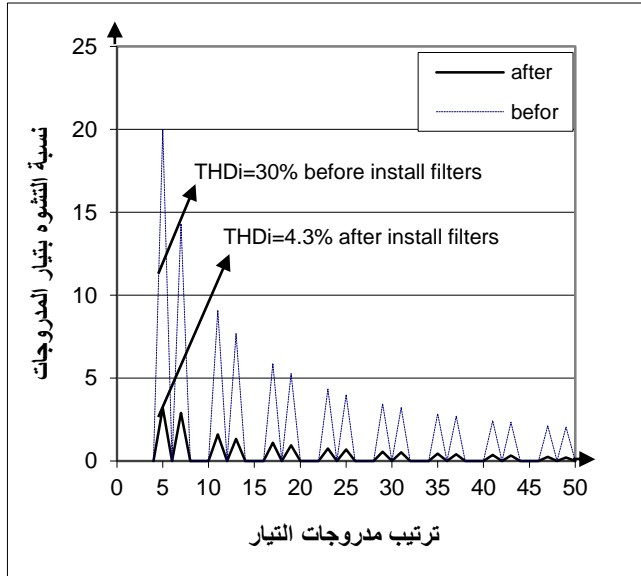


(٢)



الشكل (3): أ- المرشحات البسيطة أحادية التوليف ومرشحات الترددات العالية.

ب- التوصيل المثلي للمرشحات



الشكل (4) تشوه التيار بالمدروجات قبل تركيب المرشحات وبعدها.

## المراجع العربية والأجنبية

- 1- يوسف محمد كاميليا، 2001 - التوافقيات في الشبكات الكهربائية. شركة توزيع كهرباء الإسكندرية، مصر، /325/ صفحة.
- 2- ABB Capacitors AB, 2000 – **Power Factor Correction with Harmonic Filters**, SECAP AO3.en, Edition 2, 2000-5, pp: 1-8, [www.abb.com/powersystems](http://www.abb.com/powersystems)
- 3- CHOU C. J.; LIU C. W.; LEE J. Y.; LEE K. D., 2000 – **Optimal Planning of Large Passive-Harmonic-Filters Set at High Voltage Level**, IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 15, No. 1, pp: 433-441.
- 4- GONZALES D.A.; McCALL J. C., 1987 - **Design of filters to reduce harmonic distortion in industrial power systems**, IEEE Trans. on Industrial Applications, Vol. IA-23, No. 3, pp: 504-511.
- 5- LIN K.-P.; LIN M.-H.; LIN T.-P., 2001 - **An Advanced Computer Code for Single-Tuned Harmonic Filter Design**, IEEE Trans. on Industrial Applications, Vol. 34, No. 4, pp: 640-648.
- 6- MEDORA N. K.; KUSKO A., 2000 – **Computer-Aided Design and Analysis of Electric-Harmonic Filter**, IEEE Trans. on Industrial Applications, Vol. 36, No. 2, pp: 604-613.
- 7- SCHLABBACH J.; BLUME D.; STEPHANBLOME TH., 1999 – **Spannungs-qualität in Elektrischen Netzen**, Ursachen, Messungen, Bewertung Von Netzrück-wirkungen und Verbesserung der Elektroenergiequalität, VDE-Verlag, Berlin & Offenbach, 265 pages.

## **Study of Harmonics in Industrial Electrical Networks and the Design of the Necessary Filters in Order to Curb Them by Using Computer**

**Prof. Dr. M. SHABAN**

Department of Electrical Power  
Systems

Faculty of Electrical & Electronic  
Engineering

University of Aleppo

**Dr. A. R. AL HASAN**

Department of Electrical Power  
Systems

Faculty of Electrical & Electronic  
Engineering

University of Aleppo

**Eng. KH. SHEEBI**

Postgraduate Student (MSc)

Department of Electrical Power Systems

Faculty of Electrical & Electronic Engineering

University of Aleppo

### **Abstract**

The presence of harmonics in an electrical power network results in technical problems which affect the technical and economic behaviors of the net work and the associated equipment. in order to reduce these negative aspects filters must be used.

In this work harmonics are studied and analyzed in a factual industrial network: the electrical supply network of paper factory in DER EZZOR suffers from technical and economic hardships due to harmonics, among which are the explosion of capacitors and temperature rise in the reactive power compensators.

In this work different filters are designed in order to curb the effects of harmonics.

Received //2003, Accepted //2004