مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية – سلسلة العلوم الهندسية المجلد (18) العدد (4) 1996
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research –Engineering Science Series Vol. (18) No (4) 1996

أهمية تناظر الأحمال في محولات التوتر وكيفية تحقيق ذلك

الدكتور جورج اسبر*

(قبل للنشر في 1996/12/3)

☐ الملخّص ☐

يؤدي تناظر الأحمال في محولات التوتر إلى خفض الضياعات الكهربائية ومنه يمكن الاستغناء عن تركيب محولات توتر إضافة لأنه يمكن استغلال استطاعة محولات التوتر المركبة بالكامل بالإضافة إلى ذلك تقلل من خطأ القياسات وبالتالي يحسن شروط عمل الأجهزة الكهربائية والحمايات المربوطة مع محولات التوتر.

لقد تم في هذا البحث شرح الطريقة المقترحة رياضياً مدعمة ببعض الأمثلة التي تساعد في فهم هذه الطريقة.

* أستاذ مساعد في قسم الطاقة الكهربائية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.

مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية - سلسلة العلوم الهندسية المجلد (18) العدد (4) 1996
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research –Engineering Science Series Vol. (18) No (4) 1996

THE SYMMETRY IMPORTANCE OF LOAD IN THE VOLTAGE TRANSFORMERS AND THE WAY OF VERIFYING THAT

Dr. George ISBER*

(Accepted 3/12/1996)

❐ ABSTRACT ❐

The load symmetry of voltage transformers, leads to the electric power loss reduction. Therefore, we can not use additional voltage transformers, because we can use the complete compound power voltage transformers. This is because it leads to the measurements error reduction and rise the working condition of the electrical equipments and the connected protection with those voltage transformers. In this report we explain the suggested mathematical method supported with some examples that help in understanding it.

* Associate Professor at Electrical Energy Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

1- مقدمة:

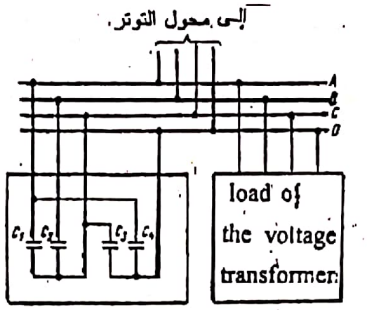
تُحدَّد دقة محولات التوتر من الطور الأكثر تحميلاً، لذلك فإن تناظر الأحمال في الأطوار يقلل من خطأ القياسات وبالتالي يحسن شروط عمل الأجهزة الكهربائية والحمايات المربوطة مع محولات التوتر.

يؤدي تناظر الأحمال في أطوار محولات التوتر إلى خفض الضياعات الكهربائية، وبالتالي نستغني عن تركيب محولات توتر إضافية لأنه يمكن استغلال استطاعة محولات التوتر المركبة بالكامل.

يظهر عدم التناظر بشكل كبير في محولات التوتر 6-20 ك.ف، حيث القسم الأعظم من الأحمال هي ملفات أجهزة قياس الطاقة الفعلية المربوطة طورياً بين U_{BC}, U_{AB}، ولأجل تناظر الأحمال في محول التوتر فإننا نقسمه إلى ثلاثة قطاعات متساوية تربط إلى كل قطاع أجهزة قياس مختلفة لكي تكون محصلة الأحمال متناظرة ولكن هذه الطريقة صعبة الاستثمار وغير مناسبة.

ينتج عدم تناظر تيارات الأحمال في محولات التوتر عن وجود مركبات التناظر لتيار التتابع الصفري والعكسي. تُربط أحمال محولات التوتر 6-20 ك.ف بشكل عام على التوتر الخطي، وفي أكثر الأحيان يربط مقياس فولت واحد لمراقبة العازلية على التوتر الطوري. إن عدم تناظر تيارات الحمل يتحدد من مركبة تيارات التتابع العكسي، وحسب القياسات التي تمت لتيارات الأحمال في ستة محولات توتراتها 6 ك.ف تبين أن تيارات التتابع العكسي للأحمال تشكل من 14-56% من القيم الطورية للتيارات[1].

يمكن ملاحظة تيارات التتابع الصفري في محولات التوتر 110 ك.ف وأحياناً في محولات التوتر (20-35) ك.ف وهذا ناتج من استخدام أجهزة حماية. أظهرت نتائج القياسات في مجموعة من محطات التحويل أن التيار في الناقل الصفري لمحول توتر 110-220 ك.ف يمكن أن يصل إلى 10-15% من التيارات الطورية للأحمال وبالتالي يؤثر هذا على عدم التناظر في التيارات، لذلك سوف تقوم بتحليل حالة عامة لحمل غير متناظر في محول التوتر[2].



شكل (1): دارة التناظر المربوطة مع محول التوتر.

يبين الشكل رقم (1) دارة متناظرة مؤلفة من أربع مكثفات اثنتان مربوطتان على توتر طوري واثنتان على توتر خطي.

2- إيجاد الدارة المكافئة:

تقوم المكثفات المربوطة على توتر طوري بتعويض تيارات التتابعات الصفرية والعكسية، يوضح الشكل رقم (2) المخطط الشعاعي اللازم لاختيار التيارات التعويضية للتتابعات الصفرية (a) والعكسية (b). أما المكثفات المربوطة على توتر خطي فتقوم بتعويض تيار التتابع العكسي للحمل.

تختار سعات المكثفتين الأوليتين بشكل يكون فيهما تيار التتابع الصفري مساوياً لتيار التتابع الصفري للحمل. وكذلك تختار سعات المكثفتين التاليتين بشكل يكون فيهما تيار التتابع العكسي مساوياً لتيار التتابع العكسي للحمل.

من المفضل اختيار وتحديد أطوار ربط المكثفات التعويضية بشكل بياني تحليلي، حيث في البداية نحسب سعة المكثفات لأجل تعويض مركبة التتابع الصفري، لهذا نرسم المخطط الشعاعي شكل (2-a)، حيث يوضح عليه اتجاهات تيارات التتابع الصفري I_0^C, I_0^B, I_0^A الناتجين عن ربط المكثفات التعويضية المطابقة للتوترات الطورية U_C, U_B, U_A حيث واضح من الشكل (2-a) كيف تقسم الدائرة المشكلة إلى ثلاثة قطاعات I،II،III ثم نرسم على المخطط الشعاعي تيار التتابع الصفري للحمل I_0^H. إن تعويض التيار I_0^A يقع في القطاع الأول ويتم بوساطة المكثفات المربوطة على التوتر U_C, U_B. لأجل القطاع II تربط المكثفات على التوتر U_B, U_A. بعد ذلك توجد قيمة التيار المعوض للمكثفات، وكما واضح من الشكل رقم (2) فإن شعاع تيار التتابع الصفري للحمل I_0^H ينقسم إلى شعاعين I_0^C, I_0^A، فعند وصل المكثفات على التوتر الطوري فإن تيار مركبة التتابع الصفري يُحسب كما يلي:

$$I_0 = \frac{U.\omega.C}{3\sqrt{}},$$

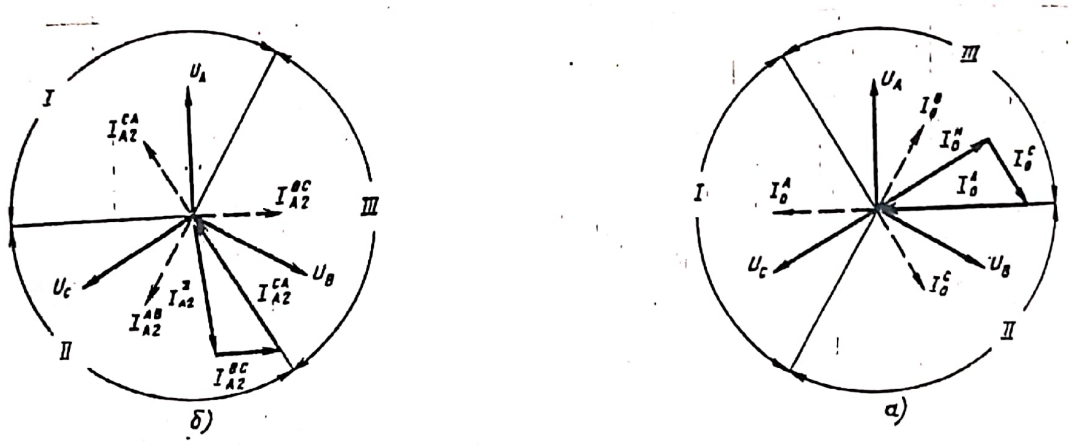
حيث:

U: التوتر الخطي للشبكة (فولت)،

ω: السرعة الزاوية.

من هنا نحسب السعة التعويضية:

$$C_A = \frac{3\sqrt{3}I_0^A}{U.\omega},\ C_c = \frac{3\sqrt{3}I_0^c}{U.\omega}$$



شكل (2): المخطط الشعاعي لاختيار معوضات المركبة (a) الصفرية (B) العكسية.

وبشكل مشابه وبمساعدة المخطط الشعاعي الشكل رقم (B-2)، نجري اختيار المكثفات لأجل تعويض تيارات التتابع العكسي، نرسم على هذا المخطط أشعة منقطة تُعبر عن اتجاهات تيارات التتابع العكسي للطور A: $I_{A2}^{CA}, I_{A2}^{BC}, I_{A2}^{AB}$ الناشئة من ربط مكثفات مُعوضة على التوترات الخطية $U_{A2}^{CA}, U_{A2}^{BC}, U_{A2}^{AB}$ بعد ذلك ولأجل الطور A نحسب المحصلة الهندسية لتيارات التتابع العكسي للحمل. وكذلك تيارات التتابع العكسي لمكثفات التعويض المربوطة على التوتر الطوري ثم نوجد شعاع I_{A2}^{Σ} وكما واضح يقع هذا الشعاع في القطاع الأول، ولأجل تعويضه من الضروري ربط مكثفات على التوتر U_{BC}, U_{AB} أما لأجل القطاع II تربط المكثفات التعويضية على التوتر. U_{CA}, U_{BC} وللقطاع III تربط المكثفات على التوتر U_{AC}, U_{AB}. وفي مثالنا يكون التيار I_{A2}^{Σ} متوضعاً في القطاع الثاني II ولأجل تعويضه فإن المكثفات يجب أن تربط على التوتر U_{CA}, U_{BC}.

إذا مر تيار I بالمكثف المربوط على التوتر الخطي، فإن التيار الطوري للتتابع العكسي يكون $I_2 = I/\sqrt{3}$ ومنه فإن:

$$C_{BC} = \frac{\sqrt{3}I_{A2}^{BC}}{U.\omega};\ C_{CA} = \frac{\sqrt{3}I_{A2}^{CA}}{U.\omega}$$

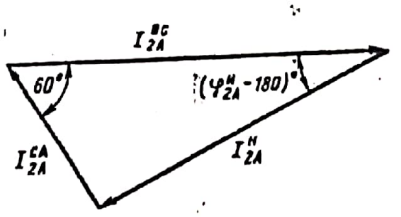
مثال 1: المطلوب اختيار الحمل في أطوار محول التوتر من نوع HTMN-6، الذي يعمل في مجال الدقة (1)، الأحمال هي مقاييس استطاعة: الحمل الخطي 60% والردي 40%، لأجل تفريغ محول التوتر من التيار الردي، واستثماره بشكل كامل على التوتر الخطي، من الضروري ربط مكثفات لتعويض تياره الردي بالكامل، بعد ذلك نحسب تيار الحمل الكامل كما يلي (امبير):

$$i_A = 0.591e^{j104^\circ} = -0.142 + j0.574;$$
$$i_B = 0.820e^{-j30^\circ} = 0.710 - j0.410;$$
$$i_C = 0.591e^{j196^\circ} = -0.568 + j0.164.$$

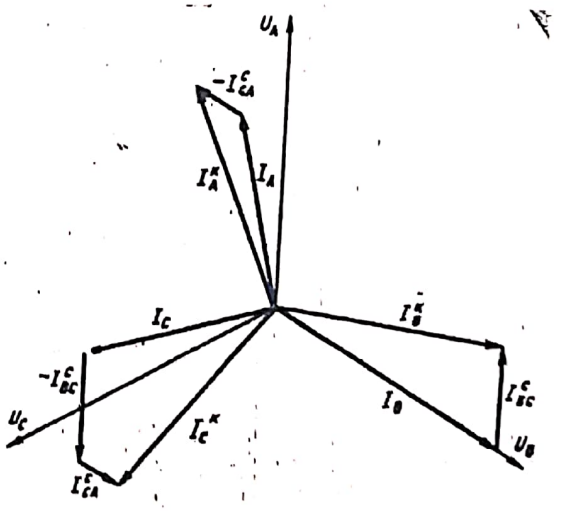
تيار التابع الصفري للحمل يساوي إلى الصفر، أما تيار التابع العكسي للحمل فهو:

$$I_{2A}^H = \frac{1}{3}\left(\dot{I}_A + \dot{I}_B e^{j240} + \dot{I}_C e^{j120}\right) =$$
$$= \frac{1}{3}\left(0.591e^{j104} + 0.82e^{-j30}e^{j240} + 0.591e^{h196}e^{j120}\right) = 0.164e^{j210^\circ}$$

تيار الشعاع I_{2A}^H متوضع في قطاع II، حيث يقوم بتعويض التيارات عن طريق سعات المكثفات المربوطة على التوتر U_{CA}, U_{BC} إذ ينقسم شعاع تيار I_{2A}^H إلى الأشعة I_{2A}^{CA}, I_{2A}^{BC} شكل (B-2) ومن مثلث تلك الأشعة شكل رقم (3)، نحسب تيارات التتابعات العكسية لمكثفات التعويض:



شكل (3): المخطط الشعاعي لتعويض تيارات التتابع العكسي



شكل (4): المخطط الشعاعي لتناظر الحمل للمحول TH-6 KV

$$I_{2A}^{BC} = I_{2A}^{H}\left[\cos(210^\circ - 180^\circ) + \sin(\varphi_{2A}^{H} - 180^\circ)ctg\,60^\circ\right] =$$
$$= 0.164\left[\cos(210^\circ - 180^\circ) + \sin(210^\circ - 180^\circ)ctg\,60^\circ\right] = 0.189A;$$
$$I_{2A}^{CA} = I_{2A}^{H}\frac{\sin(\varphi_{2A}^{H} - 180^\circ)}{\sin 60^\circ} = 0.164\frac{\sin(210^\circ - 180^\circ)}{\sin 60^\circ} = 0.0947A.$$

أما سعة المكثفات التعويضية فتساوي:

$$C_{BC} = \frac{\sqrt{3}}{}$$

$$C_{BC} = \frac{\sqrt{3}I_{A2}^{BC}.10^6}{U.\omega} = \frac{\sqrt{3}.0.189.10^6}{100.314} = 10.4MKF;$$
$$C_{CA} = \frac{\sqrt{3}I_{A2}^{CA}.10^6}{U.\omega} = \frac{\sqrt{3}.0.0947.10^6}{100.314} = 5.2MKF.$$

نحسب التيارات الطورية التعويضية لمحول التوتر، عن طريق I_{BC}, I_{CA} والمكثفات: C_{CA}, C_{BC}.

$$\dot{I}_{BC} - \dot{U}_{BC}w.C_{BC}e^{j90}.10^{-6} = 100.314.10.4.e^{j90}.10^{-6} =$$
$$0.327.e^{j90} = j0.327A;$$
$$\dot{I}_{CA} = \dot{U}_{CA}w.C_{CA}e^{j90}.10^{-6} = 100.e^{j240}.314.5.2e^{j90}.10^{-6} =$$
$$0.163.e^{j330} = 0.141 - j0.0815.$$

نحسب التيارات التعويضية لمحول التوتر TH.

$$\dot{I}_{A}^{K} = \dot{I}_{A} - \dot{I}_{CA} = (-0.142 - j0.574) - (0.141 - j0.0815) =$$
$$-0.283 + j0.655 = 0.713e^{j113^\circ};$$
$$\dot{I}_{B}^{K} = \dot{I}_{B} - \dot{I}_{BC} = (0.710 - j0.410) + j0.327 = 0.710 - j0.914e^{-j7^\circ};$$
$$\dot{I}_{C}^{K} = \dot{I}_{C} - \dot{I}_{CA} = (-0.568 - j0.164) + (0.141 - j0.0815) - j0.327 =$$
$$-0.427 - j0.573 = 0.714e^{j233^\circ}.$$

من المثال والمخطط الشعاعي شكل رقم (4) واضح أن الحمل المعوض لمحول التوتر أصبح متزناً وأن الطور الأكثر تحميلاً قد قل بمقدار

$$\frac{0.82 - 0.714}{0.82}.100 = 13\%$$

مثال (2): احسب كمية الطاقة الكهربائية الموفرة بعد إجراء تناظر الأحمال في محلول التوتر حسب المثال الأول؛ الممانعة الطورية لمحول التوتر HTMN-6، منسوب إلى جهة التوتر المنخفض (أوم)

$$Z = 0.83e^{j31.2^\circ} = 0.71 + j0.43$$

قيمة زاوية الحمل عند المستهلك $\varphi = 25.8^\circ$ نحسب هبوط التوتر النسبي الناتج عن ممانعة محول التوتر ومن تيارات المكثفات التعويضية (%):

$$\Delta\dot{U}_A = \frac{Z_{TH}\left(-\dot{I}_{CA}\right)}{\dot{U}_A}.100 = \frac{\sqrt{3}.0.83e^{j31.2^\circ}\left(-0.163e^{j330^\circ}\right)}{100e^{j90^\circ}}.100 =$$

$$= -0.234e^{j271.2^\circ} = -0.021 + j0.234$$

$$\Delta\dot{U}_B = \frac{Z_{TH}\left(-\dot{I}_{BC}\right)}{\dot{U}_B}.100 = \frac{\sqrt{3}.0.83e^{j31.2^\circ}0.327e^{j90^\circ}}{100e^{-j30^\circ}}.100 =$$

$$= -0.412 + j0.226;$$

$$\Delta\dot{U}_C = \frac{Z_{TH}\left(-\dot{I}_{BC}\right)}{\dot{U}_C}.100 = \frac{\sqrt{3}.0.83e^{j31.2^\circ}\left(0.163e^{j330^\circ} - 0.327e^{j90^\circ}\right)}{100e^{j210^\circ}}.100 =$$

$$= 0.621e^{j20.2^\circ} = -0.312 + j0.537$$

إن هبوط التوتر في محول التوتر الناتج من تيارات المكثفات التعويضية، يرفع التوتر على مآخذ العدادات ويقلل الزاوية بين التيار والتوتر.

نحسب التغير في الطاقة:

$$\Delta\ э = \Delta\ э_u + \Delta\ э_\varphi$$

حيث:

$\Delta\ э_u$: التحول في الحساب الناتج من هبوط التوتر الطولاني $\Delta\ э_{np}$،

$\Delta\ э_\varphi$: التحول في الحساب الناتج من هبوط التوتر العرضاني $\Delta\ э_{non}$، والمسبب في تغير الزاوية بين التيار والتوتر على العداد بمقدار $\Delta\varphi$.

في الواحدات النسبية: $\Delta\ э = -\Delta U_{np}$.

نعبر عن $\Delta\ э_\varphi$ بالعلاقة التالية:

$$\Delta\ э = \frac{\cos(\varphi - \Delta\varphi) - \cos\varphi}{\cos\varphi}.100\%$$

$$\Delta\varphi = arctg\frac{\Delta U}{100}$$

حيث بالنسبة لحالتنا فإن:

$$\Delta\varphi_A = arctg\frac{0.234}{100} = 0.134^\circ,$$

$$\Delta\varphi_B = arctg\frac{0.266}{100} = 0.129^\circ;$$

$$\Delta\varphi_C = arctg\frac{0.537}{100} = 0.310^\circ$$

$$\Delta\ э_{\varphi A} = \frac{\cos(25.8^\circ - 0.134^\circ) - \cos 25.8^\circ}{\cos 25.8^\circ}.100\% = 0.112\%;$$

$$\Delta\ э_{\varphi B} = \frac{\cos(25.8^\circ - 0.129^\circ) - \cos 25.8^\circ}{\cos 25.8^\circ}.100\% = 0.109\%;$$

$$\Delta\ э_{\varphi C} = \frac{\cos(25.8^\circ - 0.31^\circ) - \cos 25.8^\circ}{\cos 25.8^\circ}.100\% = 0.26\%.$$

إذا فرضنا أن الحمل على الأطوار متزن فإن التحول في الحساب يجري كما يلي:

$$\Delta \varepsilon = \frac{A\varepsilon_{UA} + \Delta\varepsilon_{UB} + \Delta\varepsilon_{UC}}{3} + \frac{\Delta\varepsilon_{\varphi A} + A\varepsilon_{\varphi B} + \Delta\varepsilon_{\varphi C}}{3} =$$

$$= \frac{0.21 + 0.214 + 0.312}{3} + \frac{0.112 + 0.109 + 0.260}{3} =$$

$$= 0.248 + 0.160 = 0.408\%$$

إن الخطأ السلبي في حساب الطاقة الكهربائية، ناتج من هبوط التوتر في محول التوتر من جراء تيار قبل الموازنة مساوٍ إلى 0.589%–، بعد الموازنة بين أحمال الأطوار يكون الخطأ كبيراً ويصبح مساوياً (18%- = 0.408+0.589-).

من هنا واضح أن الحل الرياضي المقترح يسهل وضع برنامج على الحاسوب تستطيع بوساطة معطيات أشعة تيارات الأحمال لمحول التوتر ويعطينا استطاعة المكثفات التي يمكن ربطها مع الأطوار لتوازن بينهم.

يتغير حمل محول التوتر في خلال فترة استثماره مما يستدعي إعادة النظر في استطاعة مكثفات التعويض لذلك وللتسهيل فقد تم وضع جدول رقم (1) يسهل عملية الحساب مع الأخذ بعين الاعتبار مثل تلك الحالات:

الحمل	نوع الوصل	المكثف	استطاعة	MKF
		AB	BC	CA
مقياس الطاقة الفعلية	AB, BC	1.21	1.66	–
مقياس الفولت	CA	0.402	–	0.201
مقياس الاستطاعة	AB, BC	0.146	–	0.07
ريلي ترددية	CA	0.878	–	0.43
بلوك تغذية ريلي الترددية	CA	2.65	–	0.40
ريلي التوتر (في مجالات 40–80 فولت)	CA	0.450	–	0.225

جدول (1)

إن تصنيع مثل هذه الدارة لأجل توازن (تناظر) الاستطاعة على محول التوتر يؤدي إلى توفير كمية كبيرة من الطاقة تتعلق بنسبة عدم التناظر بين الأطوار.

النتائج:

1- إن دارة تناظر الأحمال، المؤلفة من أربع مكثفات يمكن أن تعوض أي حمل غير متناظر في محول التوتر الثلاثي الأطوار.

2- إن مكثفات تناظر الأحمال في محولات التوتر تقلل الضياعات في الطاقة الكهربائية (الناتجة من القراءات غير الصحيحة والناتجة بدورها من عدم تناظر الأحمال).

3- إن مكثفات تناظر الأحمال تسمح لنا باستخدام كامل استطاعات محولات التوتر.

REFERENCES المراجع

[1]- Instruktsi po praverki (TH) 1 Ikh Ftorichnikh Tsepey M.: Saios inergo. 1979.

[2]- Trub I.I. Obslugivanie induktsonnikn shotchkov I Tsepey Utchota F Elektrs ustanovkh. M.: Lnerga Isdat. 1989.