Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 73 (1982)

Heft: 1

Artikel: Dimensionnement d'une installation de filtrage-compensation pour des charges déformantes de grande puissance

Autor: Savin, G. / Rosman, H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904907

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Dimensionnement d'une installation de filtrage-compensation pour des charges déformantes de grande puissance

G. Savin et H. Rosman

621.372.54;

L'article décrit une méthode de calcul des dimensions de l'installation de filtrage-compensation utilisée dans le cas de récepteurs déformants de grande puissance. De type hybride, cette installation se compose de filtres accordés et d'une batterie de condensateurs. Le dimensionnement est effectué, autant que possible, pour des valeurs minima des capacités des condensateurs. Le procédé proposé tient compte de la possibilité de l'apparition de résonances de type parallèle et du désaccord éventuel des filtres.

Es wird ein Berechnungsverfahren von Filter-Kompensationsanlagen für den Fall von Verbrauchern hoher deformierender Leistung vorgeschlagen. Die Anlagen umfassen sowohl abgestimmte Filter als auch Kondensatorbatterien. Die Berechnung der Filter erfolgt, soweit möglich, unter Anwendung von minimalen Kapazitätswerten der Kondensatoren. Das vorgeschlagene Verfahren berücksichtigt auch Parallelresonanzen sowie eine eventuelle Verstimmung der Filter.

1. Introduction

On connaît bien le fait que les charges déformantes principales, à savoir les convertisseurs, fonctionnant en redresseurs ou en inverseurs, absorbent une certaine puissance réactive à fournir par le réseau d'alimentation. Il faut alors prévoir une installation de filtrage-compensation (IFC) capable d'accomplir le double rôle d'éliminer les harmoniques qui existent dans le réseau et, en même temps, d'améliorer le facteur de puissance de celui-ci. L'article présente une méthode efficace qui permet de calculer les dimensions d'une telle IFC pour le cas où des convertisseurs alimentent des charges dont le régime de fonctionnement est pratiquement invariable. Cette situation se rencontre fréquemment dans un grand nombre de branches de l'industrie, dans la traction électrique et dans le transport de l'énergie électrique en courant continu.

Dans l'étude qui suit, on admet que les connexions des transformateurs d'alimentation sont branchés de telle façon que les spectres des courants de ligne ne contiennent pas les harmoniques de rang 3 et multiples de 3 (étoile-triangle ou étoile-étoile sans conducteur neutre). En tant que modèle d'étude, on utilisera un redresseur en pont triphasé à six pulsations, les harmoniques des courants de ligne ayant donc les rangs 5, 7, 11, 13 etc.

2. Evaluation de la puissance réactive consommée

Le schéma équivalent du système envisagé est représenté dans la figure 1. Ce système est constitué par les barres haute tension (tension de ligne U, puissance de court-circuit triphasée S_{cc} et réactance de court-circuit X_{cc}), le transformateur (nombre de spires N_1 et N_2), réactance de court-circuit secondaire X_{Tcc}, le pont redresseur PR et l'installation de filtrage-compensation IFC. Les tensions secondaires valent respectivement $\underline{E}_A = E\,e^{j\gamma_e}$, $\underline{E}_B = a^2\,\underline{E}_A$ et $\underline{E}_C = a\,\underline{E}_A$, avec $a = \exp j\,2\pi/3$. La réactance de court-circuit est définie par

$$X_{ecc} = X_{Tcc} + (N_2/N_1)^2\,X_{cc} \tag{1}$$

Les puissances active et réactive consommées par le PR en charge sont

$$P = 3\,EI_1\cos\varphi_1,\quad Q = 3\,EI_1\sin\varphi_1 \tag{2}$$

où I_1 représente l'onde fondamentale du courant qui traverse le PR et φ_1 le déphasage entre la tension induite E et la fondamentale du courant. La forme du courant qui alimente le PR est donnée dans la figure 2 où α représente l'angle de commande et γ l'angle de commutation. Cette figure est valable quelle que soit la connexion du transformateur. L'angle γ est fonction de X_{ecc}, α et I_d. L'analyse harmonique du courant représenté dans la figure 2 permet de déterminer les composantes de la valeur efficace de la fondamentale de ce courant:

$$\begin{aligned} I_1\cos\varphi_1 &= \frac{3\sqrt{2}\,E_{max}}{4\pi X_{ecc}}\sin(2\alpha+\gamma)\sin\gamma,\\ I_1\sin\varphi_1 &= \frac{3\sqrt{2}\,E_{max}}{4\pi X_{ecc}}\,[\gamma-\cos(2\alpha+\gamma)\sin\gamma]. \end{aligned} \tag{3}$$

Compte tenu de ces relations, les puissances (2) deviennent:

$$\begin{aligned} P &= \frac{9\,E_{max}^2}{4\pi X_{ecc}}\sin(2\alpha+\gamma)\sin\gamma,\\ Q &= \frac{9\,E_{max}^2}{4\pi X_{ecc}}\,[\gamma-\cos(2\alpha+\gamma)\sin\gamma] \end{aligned} \tag{4}$$

On a ainsi obtenu, par calcul, la valeur de la puissance réactive consommée par le PR.

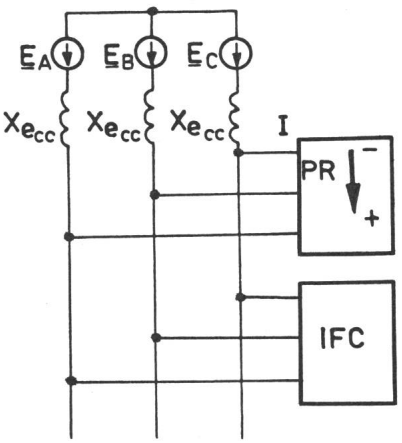

Fig. 1 Schéma de principe de l'alimentation d'une charge déformante PR équipée d'une installation de filtrage-compensation IFC

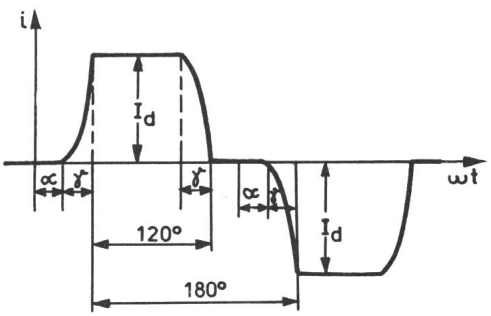

Fig. 2 Le courant de ligne dans les schémas ordinaires de redressement à six pulsations

Si l'on cherche à compenser la puissance réactive de sorte que le déphasage entre la tension aux barres et la fondamentale du courant diminue de φ_1 à φ_1' il est nécessaire que la IFC fournisse aux barres la puissance réactive:

$$Q' = P(\mathrm{tg}\varphi_1 - \mathrm{tg}\varphi_1'), \tag{5}$$

où $\cos\varphi_1'$ représente, d'habitude, le facteur de puissance neutre.

3. Solutions pour l'installation de filtrage-compensation

Pour réaliser la IFC, on peut utiliser divers procédés. Fréquemment on emploie des filtres accordés sur les premières harmoniques canoniques auxquels on ajoute un filtre passe-haut pour éliminer les harmoniques d'ordre plus élevé. Cette solution présente le désavantage de pertes assez élevées dans la résistance du filtre passe-haut.

Une autre solution, plus avantageuse, adoptée dans l'étude qui suit, est basée sur l'utilisation simultanée de filtres accordés sur les premières harmoniques canoniques et d'une batterie de condensateurs connectée aux barres, en parallèle aux filtres. Cette batterie de condensateurs, dont le régime de fonctionnement est moins sévère, assure un certain degré de filtrage des harmoniques de rang élevé et fournit en même temps de la puissance réactive aux barres en contribuant à la compensation de la puissance réactive, à la fréquence fondamentale. Etant donné que les condensateurs des filtres sont soumis à des tensions qui dépassent celle des barres d'alimentation, il s'avère nécessaire de limiter leur puissance réactive au minimum, le reste de la puissance réactive qui doit être compensée étant fournie par la batterie de condensateurs connectée directement aux barres.

Les normes internationales limitent la surcharge des condensateurs en régime permanent aux valeurs suivantes:

$$U \leqq (1...1{,}1)\, U_n,\quad I \leqq (1{,}3...1{,}8)\, I_n,\quad Q \leqq (1...1{,}35)\, Q_n \tag{6}$$

où U_n, I_n, Q_n représentent les valeurs nominales.

4. Critères de répartition des condensateurs

Il existe différents critères qui peuvent être utilisés pour répartir les condensateurs de la IFC par rapport à chaque filtre utilisé. Dans ce paragraphe on les passe en revue d'une façon critique et on en choisit celui optimum du point de vue technico-économique.

4.1 Répartition pour obtenir l'égalité des tensions aux bornes des condensateurs des filtres

Si l'on considère les filtres accordés aux harmoniques de rang k et l, les tensions aux bornes des condensateurs de ces filtres sont données par les relations:

$$\begin{aligned} U_{ck} &= \sqrt{a_k^2 U_1^2 + \frac{1}{k^2} X_{ck}^2 I_k^2}\,, \\ U_{cl} &= \sqrt{a_l^2 U_1^2 + \frac{1}{l^2} X_{cl}^2 I_l^2} \end{aligned} \tag{7}$$

avec $\alpha_k = k^2/(k^2-1),\ a_l = l^2/(l^2-1)$ (8)

où X_{ck}, X_{cl} représentent les réactances des condensateurs des filtres à la fréquence fondamentale, U_1 la fondamentale de la tension de phase et I_k, I_l les harmoniques de courant de rang k et l. Etant donné que pour les fréquences canoniques $a_k \approx a_l$, l'égalité des tensions U_{ck}, U_{cl} est assurée si

$$C_k/C_l = l I_k / k I_l \tag{9}$$

Dans le cas idéalisé où la forme des courants de ligne est rectangulaire

$$I_k = I_1/k,\ I_l = I_1/l \tag{10}$$

on obtient

$$C_k/C_l = l^2/k^2 \tag{11}$$

Les relations d'accord

$$k^2 L_k C_k \omega^2 = l^2 L_l C_l \omega^2 = 1 \tag{12}$$

permettent de voir que la condition (11) implique l'égalité des inductivités des filtres ($L_k = L_l$).

4.2 Répartition pour obtenir l'égalité des pertes spécifiques

Si ce critère est satisfait, la durée de vie des condensateurs de tous les filtres est la même. Les pertes par unité de capacité des condensateurs (pertes spécifiques) peuvent être déterminées à l'aide des relations:

$$\begin{aligned} P_{\delta k} &= \omega\, \mathrm{tg}\delta\, (a_k^2 U_1^2 + k U_k^2), \\ P_{\delta l} &= \omega\, \mathrm{tg}\delta\, (\alpha_l^2 U_1^2 + l U_l^2) \end{aligned} \tag{13}$$

où U_k, U_l représentent les harmoniques de la tension de phase et où on a admis que l'angle de perte $\mathrm{tg}\delta$ a la même valeur pour les harmoniques canoniques jusqu'au rang 13 inclu. Pour $P_{\delta k} = P_{\delta l}$ et $\alpha_k \approx \alpha_l$, il résulte

$$U_k/U_l = \sqrt{l/k} \tag{14}$$

Dans le cas des courants de ligne de forme rectangulaire cette relation devient

$$C_k/C_l = (l/k)^{3/2} \tag{15}$$

4.3 Répartition en vue de la valeur minimum de la capacité de chaque filtre

La puissance réactive fournie par le condensateur dont est équipé chaque filtre représente la somme des puissances réactives à la fréquence fondamentale et à la fréquence de l'harmonique d'accord correspondante:

$$\begin{aligned} Q_{ck} &= \frac{a_k^2 U_1^2}{X_{ck}} + \frac{1}{k} X_{ck} I_k^2, \\ Q_{cl} &= \frac{a_l^2 U_1^2}{X_{cl}} + \frac{1}{l} X_{cl} I_l^2. \end{aligned} \tag{16}$$

Si l'on annule les dérivées, par rapport à X_{ck} et X_{cl}, on obtient les valeurs minimum

$$C_k = \frac{I_k}{\sqrt{k}\, \alpha_k\, \omega\, U_1},\quad C_l = \frac{I_l}{\sqrt{l}\, a_l\, \omega\, U_1} \tag{17}$$

et par conséquent

$$C_k/C_l = \sqrt{l/k} \cdot I_k/I_l \tag{18}$$

En comparant les relations (15) et (18), on constate que les critères 4.2 et 4.3 sont équivalents. D'autre part la condition (15) est pratiquement satisfaite dans le cas où l'on cherche à obtenir des filtres à prix de revient minimum [1]. Par conséquent, du point de vue technico-économique le mode le plus raisonnable de répartition des condensateurs par rapport aux filtres est celui basé sur l'égalité des pertes spécifiques, critère que l'on adopte dans ce qui suit.

5. Dimensions de l'installation de filtrage-compensation

Le condensateur du filtre accordé sur l'harmonique de rang k est soumis à la tension selon formule (7) tandis que les condensateurs connectés directement aux barres supportent la tension du réseau. Etant donné que les condensateurs utilisés dans le schéma de la IFC appartiennent, d'habitude, à une même série, il résulte que ceux montés dans les filtres seront plus sollicités. C'est pour cette raison que les valeurs des capacités des filtres doivent être aussi petites que possible. Le modèle de calcul suivant est proposé:

5.1 Modèle de calcul proposé

On calcule d'abord les dimensions du filtre accordé pour l'harmonique de rang 5; la capacité du filtre est déterminée à l'aide de la relation (17) et l'inductivité de la bobine de celui-ci en tenant compte de la relation d'accord (12), soit

$$L_k = \frac{1}{\omega} \cdot \frac{\sqrt{k}}{k^2 - 1} \cdot \frac{U_1}{I_k} \tag{19}$$

Ensuite il est nécessaire de vérifier le condensateur par rapport aux surtensions et aux surintensités, en régime permanent. La tension est déterminée à l'aide de la relation (7) en introduisant la valeur minimum de C_k dans la réactance X_{ck}. Tous calculs effectués on obtient:

$$U_{ck} = a_k \sqrt{(k+1)/k}\, U_1 \tag{20}$$

qui pour $k = 5$ conduit à $U_{c5} = 1{,}14\, U_1$. On constate donc que la tension aux bornes du condensateur du filtre accordé sur l'harmonique de rang 5 dépasse de 3,7 % les limites des normes. Si la tension nominale du condensateur utilisé dans ce filtre est supérieure à la tension du réseau, on peut garder la valeur minimum de la capacité. Dans le cas contraire il est indiqué d'augmenter la capacité d'environ 30 % de sorte que la tension aux bornes ne dépasse pas 1,1 U_n. Par cette augmentation une puissance réactive supplémentaire devient disponible à la fréquence fondamentale.

Elle est donnée par $Q_{1k} = U_1 I_{k1}$. Or

$$I_{k1} = \frac{U_1}{1/\omega C_k - \omega L_k} = \frac{a_k U_1}{X_{ck}}, \tag{21}$$

où l'on a tenu compte de la relation d'accord (12), de sorte que

$$Q_{1k} = a_k U_1^2 / X_{ck} \tag{22}$$

On peut déterminer la puissance réactive absorbée par la bobine en effectuant la différence $Q_{bk} = Q_{ck} - Q_{1k}$. Compte tenu des relations (16) et (22), on obtient

$$Q_{bk} = \frac{a_k^2 U_1^2}{k^2 X_{ck}} + \frac{1}{k} X_{ck} I_k^2 \tag{23}$$

Si l'on considère la capacité C_k du condensateur comme variable indépendante, les expressions (16) et (23) deviennent

$$Q_{ck} = A\, C_k + \frac{B}{C_k}, \quad Q_{bk} = \frac{A}{k^2} C_k + \frac{B}{C_k}, \tag{24}$$

où

$$A = \omega a_k^2 U_1^2, \quad D = I_k^2 / k\omega$$

Les courbes Q_{ck}, Q_{bk} et Q_{1k} sont représentées dans la figure 3. On constate que pour des valeurs de capacité qui dépassent le minimum $C_{k\,min}$, la puissance réactive absorbée par la bobine Q_{bk} reste pratiquement constante. Par conséquent, le gain de puissance réactive est, dans ce cas, cédé presqu'en totalité aux barres.

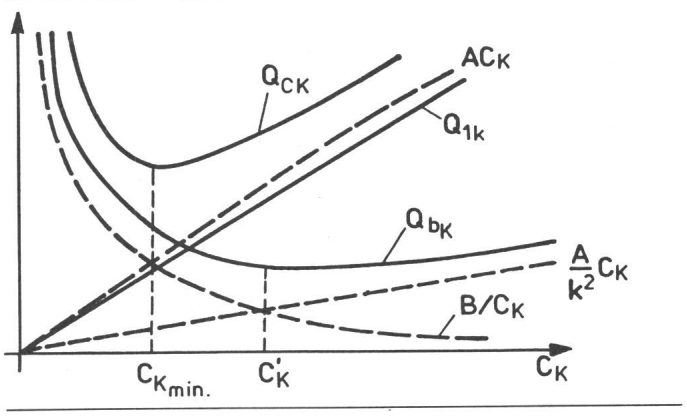

Fig. 3 Les puissances réactives Q_{ck}, Q_{bk} et Q_{1k} en fonction de C_k

Le courant qui circule par le condensateur du filtre peut être déterminé à l'aide de la relation

$$I_{ck} = \sqrt{\frac{a_k^2 U_1^2}{X_{ck}^2} + I_k^2}\,. \tag{25}$$

Si l'on introduit $C_{k\,min}$ dans X_{ck} on obtient

$$I_{ck} = \sqrt{(k+1)/k}\, I_k, \tag{26}$$

qui, pour $k = 5$, conduit à $I_{ck} = 1{,}1\, I_k$.

La puissance réactive fournie par le condensateur du filtre accordé pour l'harmonique de rang k peut être évaluée à l'aide de la relation (16), qui dans le cas où la capacité du condensateur est minimum devient

$$Q_{ck} = 2 \frac{a_k}{\sqrt{k}} U_1 I_k. \tag{27}$$

On constate donc que tant le courant que la puissance réactive fournie par le condensateur satisfont les normes.

5.2 La batterie de condensateurs connectée directement

Si Q' représente la puissance réactive totale qui doit être compensée, la batterie de condensateurs connectée aux barres est donnée par $Q_{bc} = Q' - Q_{1k}$, soit

$$C_b = Q_{bc} / \omega U_1^2 \tag{28}$$

On peut estimer la possibilité de l'apparition de surtensions et de surintensités dans la batterie de condensateurs connectée aux barres si l'on connaît la valeur du coefficient de distorsion aux barres, ce qui représente l'étape suivante de calcul. Pour calculer la valeur de ce coefficient, on se base sur le schéma représenté dans la figure 4 où l'on a négligé les résistances ohmiques des bobines des filtres. L_{ecc} représente l'inductivité équivalente de court-circuit aux barres. On ne considère d'abord que le filtre accordé pour l'harmonique 5 (K_5 fermé). Dans ce cas le spectre de la tension aux barres contient les harmoniques U_7, U_{11} et U_{13} que l'on peut déterminer à l'aide des relations:

$$U_7 = I_7 / B_{7t}, \quad U_{11} = I_{11} / B_{11t}, \quad U_{13} = I_{13} / B_{13t} \tag{29}$$

avec

$$B_{nt} = -B_{5n} - \frac{1}{n X_{ecc}} + \frac{n}{X_{cb}}, \quad (n = 7, 11, 13), \tag{30}$$

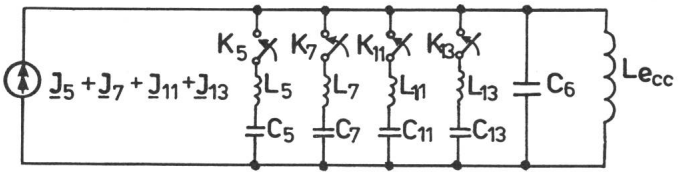

Fig. 4 Schéma idéalisé du générateur d'harmoniques

où B_{5n} est la susceptance du filtre accordé pour l'harmonique de rang 5, $X_{ecc} = \omega L_{ecc}$ la réactance de court-circuit équivalente et $X_{cb} = 1/\omega C_b$ la réactance de la batterie de condensateurs, toutes les deux déterminées à la fréquence fondamentale. Tous calculs effectués, il résulte

$$B_{kn} = \frac{k^2 n}{n^2 - k^2} \cdot \frac{1}{X_{ck}}, \quad (k = 5;\ n = 7, 11, 13). \tag{31}$$

Dans ce qui suit on admet que le coefficient de distorsion de la tension aux barres est acceptable seulement si chacune des harmoniques U_7, U_{11} et U_{13} ne dépasse pas 1% de la tension fondamentale, selon les recommandations de certaines normes internationales. Dans ces conditions il n'y a aucun danger quant à l'apparition, en régime permanent, d'une surtension aux bornes de la batterie C_b. D'autre part, tous calculs effectués, on aboutit à la conclusion que la valeur efficace du courant qui circule par la batterie ne peut pas dépasser la valeur

$$I_b = \sqrt{I_1^2 + I_7^2 + I_{11}^2 + I_{13}^2} \leqq 1{,}02\, I_1 \tag{32}$$

ce qui prouve que la surintensité du courant qui circule par la batterie de condensateurs se trouve dans les limites imposées par les normes.

5.3 Harmoniques du type parallèle

Dans le circuit de la figure 4, il peut y avoir à côté des harmoniques canoniques d'autres harmoniques, considérées comme anormales, générées soit par d'autres charges déformantes (par ex. des fours à arc), soit par l'asymétrie du réseau où des charges. Dans ce cas, des résonances de type parallèle peuvent avoir lieu, accompagnées par des surtensions. Ces régimes apparaissent chaque fois que la susceptance totale du circuit est nulle. Cette susceptance totale à une fréquence $n\omega$ est déterminée à l'aide de la relation (30), où

$$B_{5n} = \frac{25\, n}{n^2 - 25}\, \omega C_5, \quad X_{ecc} = \omega L_{ecc}, \quad X_{cb} = \frac{1}{\omega C_b}, \tag{33}$$

c'est-à-dire

$$B_n = -\frac{25\, n}{n^2 - 25}\, \omega C_5 - \frac{1}{n\, \omega L_{ecc}} + n\, \omega C_b. \tag{34}$$

Si l'on effectue les calculs on obtient

$$B_n = \frac{\omega^2 C_b L_{ecc} n^4 - [25\, \omega^2 L_{ecc} (C_5 + C_b) + 1]\, n^2 + 25}{n\, \omega L_{ecc} (n^2 - 25)} \tag{35}$$

Il y aura une résonance de courant si

$$\omega^2 C_b L_{ecc} n^4 - [25\, \omega^2 L_{ecc} (C_5 + C_b) + 1]\, n^2 + 25 = 0 \tag{36}$$

et, évidemment, une résonance de tensions pour $n = 5$.

Par rapport au cas plus simple d'une batterie de condensateurs connectée seule aux barres, sans filtres, analysé par *Bornitz* [2] et *Hoffmann* [3], on arrive à des conclusions tout à fait différentes.

Des deux résonances de courant possibles l'une a lieu à une fréquence en dessous de 250 Hz et l'autre à une fréquence plus élevée. Si la première est suffisamment proche de 200 Hz et parmi les charges déformantes se trouvent des fours à arc qui produisent une harmonique de rang 4 importante, il est indiqué soit d'aplatir la courbe de résonance du filtre accordé à l'harmonique de rang 5 en connectant une résistance d'amortissement en parallèle avec la bobine du filtre [4], soit d'utiliser, en plus, un filtre accordé à l'harmonique de rang 4. La résonance de courant à la fréquence supérieure à 250 Hz posera des problèmes seulement si cette fréquence est assez proche de l'une des fréquences des harmoniques canoniques.

Si en plus du filtre accordé pour l'harmonique 5 on utilise celui accordé pour l'harmonique 7, il résulte de l'analyse de la caractéristique de fréquence du circuit représenté dans la figure 4 qu'une résonance de courant se produit à une fréquence située entre 250 et 350 Hz. L'harmonique de rang 6 étant insignifiante, des surtensions ne peuvent pas apparaître. On aboutit à des conclusions semblables dans le cas des filtres accordés aux harmoniques 11 et 13. Il résulte, en définitif, que parmi les résonances de type parallèle possibles c'est celle proche de 200 Hz qui est la plus dangereuse.

Si au moins l'une des harmoniques de la tension aux barres (U_7, U_{11}, U_{13}) dépasse le niveau de 1% de la tension fondamentale il est nécessaire de connecter des filtres accordés d'une façon adéquate dans l'ordre suivant. On introduit d'abord le filtre accordé à l'harmonique de rang 7 et on détermine les niveaux des harmoniques de tension U_{11}, U_{13}. Si elles sont plus petites que 1% de la tension fondamentale, il n'est pas nécessaire d'utiliser des filtres supplémentaires; dans le cas contraire on introduit un filtre accordé pour l'harmonique 11 et, éventuellement, un autre filtre accordé pour l'harmonique 13.

Pour les filtres accordés aux harmoniques de rang 7, 11 et 13 on détermine les valeurs minima des capacités en utilisant la relation (17). Les tensions aux bornes de ces condensateurs sont, selon la relation (20):

$$U_{c7} = 1{,}09\, U_1, \quad U_{c11} = 1{,}05\, U_1, \quad U_{c13} = 1{,}04\, U_1, \tag{37}$$

situées au-dessous des niveaux limites acceptés par les normes.

5.4 Filtres désaccordés

Un dernier aspect qui doit être pris en considération pour l'appréciation correcte du fonctionnement de la IFC est celui des effets du désaccord des filtres, situation pratiquement inévitable. Les facteurs qui contribuent au désaccord des filtres sont les suivants: des écarts d'exécution des bobines et des condensateurs par rapport aux valeurs nominales de l'accord; les variations de la fréquence du réseau; la variation de la capacité en fonction de la température. Pour ces raisons chaque filtre possède, à sa fréquence d'accord nominale, une réactance non-nulle.

Si l'on transforme les écarts de l'inductivité et de la capacité en écarts équivalents de fréquence [1], on peut montrer à l'aide de l'équation (36) que lorsque seulement le filtre accordé sur l'harmonique de rang 5 est connecté aux barres, chaque écart positif de la fréquence mène à une diminution des fréquences de résonance de type parallèle tandis qu'un écart négatif les augmente. Un écart de 2% de la fréquence du réseau con-

duit, approximativement, à une variation de 1,25 % des fréquences de résonance parallèle. Une analyse semblable peut être effectuée pour le cas où d'autres filtres de fréquence sont connectés au réseau.

Le désaccord des filtres a des répercussions sur le niveau des harmoniques de tension. Ainsi, si le filtre accordé à l'harmonique 5 est le seul connecté au réseau, il existera aussi une harmonique de tension de rang 5 de sorte que la distorsion de la tension risque de devenir inacceptable. Dans de telles situations il s'avère avantageux d'utiliser des filtres à accord automatique [2].

Bibliographie

[1] *E. W. Kimbark:* Direct current transmission. London/Sydney/Toronto, Wiley-Interscience, 1971.

[2] *E. Bornitz:* Starkstromkondensatoren und umlaufende Phasenschieber. München/Berlin, Verlag R. Oldenbourg, 1942.

[3] *M. Hoffmann:* Siebkreise zur Verbesserung des Leistungsfaktors bei Stromrichteranlagen. Siemens Z. 31(1957)4, S. 202...206.

[4] *D. E. Steeper* and *R. P. Stratford:* Reactive compensation and harmonic suppression for industrial power systems using thyristor converters. IEEE Trans. IA 12(1976)3, p. 232...254.

Adresse des auteurs

Dr ing. *Gheorghe Savin* et Dr ing. *Hugo Rosman,* professeurs à l'Institut Polytechnique, Calea 23, August nr. 11, R-Jassy 6600.