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: 76 (1985)

Heft: 7

Artikel: Source de courant sinusoïdal à excitation par impulsions

Autor: Marinescu, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904591

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: 09.12.2025

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

Source de courant sinusoïdal à excitation par impulsions

A. Marinescu

A basse fréquence, des difficultés considérables interviennent lors de l'alimentation en courant sinusoïdal de certaines charges inductives-résistives non linéaires. L'article présente un nouveau principe constructif qui utilise l'excitation périodique par impulsions de circuits de résonance RLC séries ou parallèles. Le résidu déformant est déterminé et les résultats sont vérifiés expérimentalement.

Niederfrequente Stromquellen mittlerer Leistung, die nicht-lineare ohmisch induktive Lasten mit sinusförmigem Strom speisen sollen, sind schwierig zu realisieren. In diesem Aufsatz wird eine Schaltung vorgestellt, bei der ein RLC-Serie- oder Parallelresonanzkreis periodisch mit Impulsen erregt wird. Die Restwelligkeit wird berechnet; die Resultate wurden experimentell überprüft.

Adresse de l'auteur

Dr Ing. *A. Marinescu*, Centre de Recherche Electroputere, Calea Bucuresti 144, 1100 Craiova, Roumanie.

1. Introduction

En courant alternatif à basse fréquence, on rencontre souvent le problème de l'excitation de certains dispositifs magnétiques en courant sinusoïdal constant de l'ordre de quelques ampères et avec des puissances de quelques centaines de volt-ampères.

Tel est par exemple le cas lors de l'excitation des transducteurs du type magnétoélastique dont les performances sont déterminées dans une grande mesure par la stabilité du courant et la fréquence d'excitation [1]. Les difficultés qui apparaissent alors sont liées principalement à la production d'un courant alternatif sinusoïdal sur une charge inductive-résistive qui fonctionne en régime de saturation. La tension aux bornes de la charge est non sinusoïdale avec des pointes positives et négatives accentuées, comme on le voit dans la figure 1, ce qui exige une source à puissance installée beaucoup plus grande que la puissance moyenne demandée par la charge.

On connaît actuellement différents types de sources de courant sinusoïdal constant: le type électromécanique, le type électromagnétique à base de ferrorésonance ou avec amplificateurs magnétiques et le type électronique qui utilise des convertisseurs tension-courant (amplificateurs de transconductance) [2; 3]. Parmi leurs désavantages on peut citer:

- l'existence de pièces en mouvement,
- la forme plus ou moins sinusoïdale du courant (selon la source, la forme de la tension d'alimentation et les paramètres de la charge),
- la nécessité de filtres d'harmoniques, donc un rendement réduit et une consommation de puissance réactive élevée (pour les charges inductives),
- le réglage du courant constant par un régulateur de tension constante, ce qui ne permet pas d'obtenir des performances élevées en particulier dans le cas des charges non linéaires,
- la stabilité du courant dépendant de la fréquence,
- le domaine limité de stabilisation du courant, etc.

L'article présente un autre principe constructif pour la réalisation de sources à courant sinusoïdal qui réside dans l'excitation périodique à impulsions des circuits de résonance.

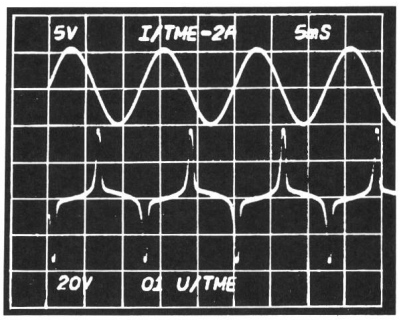

Fig. 1 L'oscillogramme du courant (en haut) et de la tension (en bas) aux bornes d'un transducteur de force du type magnétoélastique alimenté d'une source de courant sinusoïdal constant à fréquence de 80 Hz

$U = 37$ V; $U_m = 7{,}7$ V; $I = 2$ A

2. Le circuit de résonance RLC à excitation par impulsions

La figure 2 présente deux circuits de résonance *RLC*, dont un est parallèle

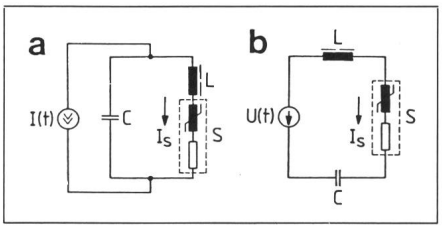

Fig. 2 Circuits de résonance *RLC* avec excitation périodique à impulsions

a circuit de résonance parallèle
b circuit à résonance série
S charge
$I(t)$ source d'impulsions de courant
$U(t)$ source d'impulsions de tension

et l'autre série, alimentés par des trains d'impulsions de courant et de tension, respectivement, de formes aléatoires. La charge est dans les deux cas un dipôle non linéaire R-L, symbolisé par S. On admet que l'inductivité de la charge est plus petite que l'inductivité de l'inducteur linéaire L et que la résistance de charge et la résistance équivalente de pertes en fer de l'inducteur L déterminent le facteur de qualité du circuit de résonance.

L'idée fondamentale à la base de ces sources de courant sinusoïdal consiste à utiliser le comportement comme filtre passe-bas des circuits de résonance mentionnés. La caractéristique amplitude-fréquence du courant par la branche inductive du circuit parallèle (fig. 2a) a la forme [4]

$$A_L(n) = \frac{I_s}{I} = \frac{Q}{\sqrt{Q^2(n^2-1)+n^2}} \qquad (1)$$

pour n'importe quel $n = \omega/\omega_r$ où ω_r est la fréquence de résonance du circuit de résonance. Pour un facteur de qualité $Q > 10$ la relation (1) peut être simplifiée:

$$A_L(n) \approx \frac{1}{n^2-1} \qquad n \neq 1 \qquad (2)$$

Rapporté à la fréquence de résonance on obtient alors

$$\frac{I_s(n)}{I_s(1)} \approx \frac{1}{Q(n^2-1)} \approx \frac{1}{Q\,n^2} \qquad (3)$$

Une relation semblable peut être obtenue pour le courant qui passe par le circuit de résonance série (fig. 2b)

$$\frac{I_s(n)}{I_s(1)} \approx \frac{n}{Q(n^2-1)} \approx \frac{1}{Q\,n} \qquad (4)$$

Les deux circuits de résonance amplifient donc la fréquence fondamentale avec un facteur Q. L'amortissement des harmoniques supérieurs de courant est n fois plus grand pour le circuit parallèle que pour le circuit série.

Pour déterminer le résidu déformant (r) du courant issu du circuit de résonance parallèle (r^d) ou série (r^s), on détermine l'amortissement de chaque harmonique impair $n = 2\,k + 1$ où $k = 1,2,...,m$ par rapport à l'harmonique r'_n respectif dans l'impulsion d'excitation. Il en résulte le résidu déformant cherché:

$$r^d = \sqrt{\sum_{k=1}^{m} (r^d_{2k+1})^2} = \frac{1}{Q}\sqrt{\sum_{k=1}^{m}\left[\frac{r'_{2k+1}}{(2k+1)^2}\right]^2} \qquad (5)$$

$$r^s = \sqrt{\sum_{k=1}^{m} (r^s_{2k+1})^2} = \frac{1}{Q}\sqrt{\sum_{k=1}^{m}\left[\frac{r'_{2k+1}}{2k+1}\right]^2} \qquad (6)$$

Voici ce que signifient ces relations dans deux cas concrets d'excitation périodique à impulsions:

Le premier exemple concerne l'alimentation du circuit de résonance par un variateur de tension à triac dans le cas le plus désavantageux du point de vue des harmoniques soit pour un angle d'ouverture d'environ 90° [5] où $r'_3 = 36\%$ et $r'_5 = 10\%$. Le second exemple est l'alimentation des mêmes circuits par un inverseur de tension qui produit des impulsions quasi-rectangulaires avec les harmoniques typiques $r'_3 = 33\%$ et $r'_5 = 20\%$. Pour $Q = 30$ on obtient pour les deux exemples un résidu déformant dans le courant de sortie $r^d \leqq 0{,}15\%$ et $r^s \leqq 0{,}5\%$. Sans aucune restriction concernant la forme des impulsions d'excitation on peut donc obtenir des sources de courant sinusoïdal à l'aide du principe énoncé.

La stabilité de la fréquence du courant sinusoïdal dépend d'une part de la stabilité de la fréquence d'excitation périodique et d'autre part de la stabilité des paramètres du circuit de résonance qui détermine le rendement de la source. D'autres avantages importants de ce principe de fonctionnement sont l'insensibilité aux perturbations électromagnétiques et la puissance réduite de l'excitation.

3. Réalisations constructives

3.1 Alimentation par le réseau

Le bloc-diagramme de la source est présenté dans la figure 3. Il représente la variante à circuit de résonance parallèle. Ce circuit formé par la capacité C_1, l'inductivité linéaire L_1 et la charge non linéaire inductive-résistive S accordés à la fréquence du réseau, reçoit une excitation périodique par le transformateur d'adaptation T_r, la capacité C_2 et le triac T.

Par suite de la résonance, la branche inductive avec la charge S est traversée par un courant Q fois plus grand que le courant secondaire du transformateur T_r. Le courant du réseau couvre les pertes actives dans les éléments du circuit oscillant et dans la résistance R_1 qui doit simuler l'excitation par impulsions de courant. L'inductivité linéaire L_1 a un ou plusieurs enroulements supplémentaires utilisés soit pour transmettre l'information sur la valeur du courant de la charge au bloc de commande R pour le réglage de la largeur des impulsions de courant qui passent par le triac T, de telle manière que le courant de charge soit constant, soit pour la mesure du courant à l'aide d'un instrument de mesure A. Le condensateur C_2 a, d'une côté, le rôle de retenir la composante continue du courant primaire qui peut conduire à la saturation du circuit magnétique du transformateur T_r et de l'autre côté d'assurer la protection du triac contre les surcharges qui pourraient se produire à la suite d'un débranchement accidentel de la charge S. L'angle d'ouverture nominal du triac T est d'habitude choisi environ 60°, valeur qui assure un compromis entre le contenu harmonique dans le courant de sortie et le domaine de réglage automatique du courant.

Une telle source qui a été réalisée pour maintenir un courant constant de 2 A à tensions jusqu'a 200 V a un résidu déformant (en charge) plus bas que 0,3% et un facteur de stabilité du courant meilleur que 0,2%. Le point critique du circuit décrit est la stabilité de la fréquence du réseau.

3.2 Source de courant sinusoïdal constant à quartz

Le bloc-diagramme de la source est présenté dans la figure 4. Il représente

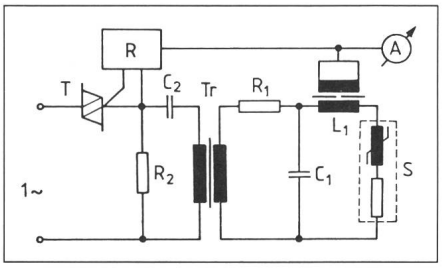

Fig. 3 Source de courant constant sinusoïdal à circuit de résonance parallèle alimenté du réseau

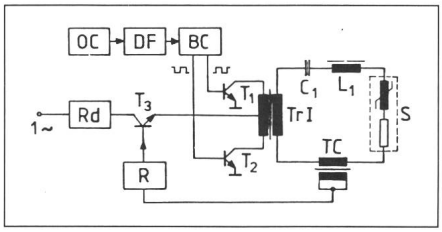

Fig. 4 Source de courant constant sinusoïdal à circuit de résonance série piloté par quartz

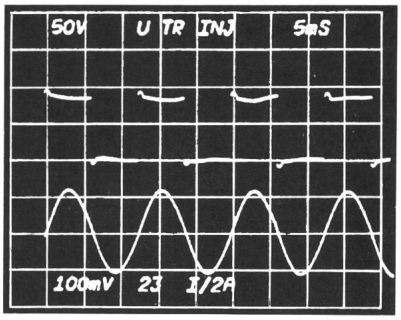

Fig. 5 Oscillogrammes de la tension injectée par le transformateur T_{rI} (en haut) et du courant de charge (en bas) dans le cas de la source de courant de la figure 4

Fréquence f = 80 Hz

la variante à circuit de résonance série excité périodiquement par une source à impulsions rectangulaires.

Dans ce cas le circuit de résonance formé par L_1, C_1 et S reçoit une excitation périodique par un transformateur d'injection T_{rI} d'une source d'impulsions rectangulaires créées par les transistors de puissance T_1 et T_2 qui fonctionnent en régime de commutation, étant commandés alternativement par le bloc de commande BC. Celui-ci est synchronisé par l'oscillateur à quartz OC et le diviseur de fréquence DF. La constante du courant de charge est obtenue par le circuit de réglage avec le régulateur R agissant par T_3 sur la tension redressée qui fournit l'énergie d'excitation du circuit de résonance.

La figure 5 présente l'oscillogramme de la tension injectée dans le circuit de résonance et du courant de sortie pour une source de courant constant de 80 Hz.

Pour les mêmes valeurs de courant et de tension que dans le circuit de la figure 3 on a obtenu ici un résidu déformant de 0,7%, un facteur de stabilité du courant de 0,05% et une stabilité de la fréquence meilleure que 0,01%. De telles sources ont été réalisées et vérifiées pour des fréquences de travail entre 50 et 1000 Hz avec des performances semblables.

Un avantage important de la source à circuit de résonance série en comparaison à celle à circuit parallèle réside dans le fait que le débranchement ou l'interruption accidentelle de la charge ne demande pas de circuits de protection, le courant décroissant jusqu'à une valeur insignifiante. Un autre avantage est le meilleur rendement par suite de l'absence d'éléments de dissipation tels que R_1 et R_2 dans la figure 3. Par contre le résidu déformant de la source à circuit résonant série est plus grand. On peut le réduire par filtration des impulsions d'excitation du circuit de résonance sans renoncer au fonctionnement en régime de commutation des transistors T_1 et T_2 dans la figure 4. La méthode consiste à connecter en cascade deux circuits série, accordés tous les deux à la fréquence fondamentale.

La figure 6 montre deux variantes de construction. Dans la figure 6a, le transformateur d'injection T_{rI} est suivi d'un circuit de résonance auxiliaire de faible puissance $L'C'$ à la sortie duquel on obtient une tension filtrée pour l'alimentation du circuit principal L_1C_1. L'inductivité L' peut être obtenue également par un transformateur d'injection T_{rI} à dispersion augmentée. Dans la figure 6b, un circuit de résonance auxiliaire $L'C'$ est formé et accouplé au circuit principal L_1C_1 pour y injecter la tension d'excitation filtrée.

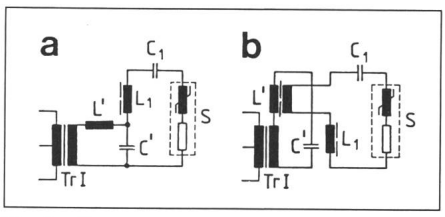

Fig. 6 Connexion en cascade de deux circuits oscillants pour la réduction du résidu déformant

L_1C_1 circuit de résonance principal
$L'C'$ circuit de résonance auxiliaire
a) la tension filtrée est obtenue par C'
b) la tension filtrée est obtenue par L', par exemple aux bornes d'un enroulement supplémentaire

Les schémas de la figure 6 permettent la réalisation d'un résidu déformant < 0,05% et donc la réalisation du calibrateur de courant alternatif.

Bibliographie

[1] *E. Marinescu, A. Marinescu* et *S. Stamate:* Realizări şi perspective în aplicarea industrială a tensometriei magnetoelastice. Electrotehnica (Bucuresti) 30(1982)7, p. 321...325.

[2] *B.L. Hart:* A precision low-frequency current-amplifier circuit technique. Proc. IEEE 66(1978)12, p. 1664...1666.

[3] *J. Graeme:* Designing with operational amplifiers. New York, MacGraw-Hill, 1977.

[4] *A. Marinescu* e.a.: Utilizarea instalaţiilor de încercare cu circuit resonant serie în tehnica tensiunilor înalte. Electrotehnica (Bucuresti) 30(1982)6, p. 245...250.

[5] *N.A. Gauper, J.D. Harnden* and *A.M. McQuarrie:* Power supply aspects of semiconductor equipment. IEEE Spectrum 8(1971)10, p. 32...43.