



(11)

**EP 2 834 820 B1**

(12)

**FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention  
de la délivrance du brevet:  
**18.03.2020 Bulletin 2020/12**

(51) Int Cl.:  
**H01F 30/14** <sup>(2006.01)</sup>

(21) Numéro de dépôt: **13719972.5**

(86) Numéro de dépôt international:  
**PCT/FR2013/050731**

(22) Date de dépôt: **03.04.2013**

(87) Numéro de publication internationale:  
**WO 2013/150240 (10.10.2013 Gazette 2013/41)**

**(54) TRANSFORMATEUR FIXE TRIPHASE-DIPHASE A FLUX LIES FORCES**

FIXER DREIPHASEN-ZU-ZWEIPHASEN-TRANSFORMATOR MIT ZWANGSVERKNÜPFTEM  
FLUSS

FIXED THREE-PHASE TO TWO-PHASE TRANSFORMER WITH FORCED LINKED FLUX

(84) Etats contractants désignés:  
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB  
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO  
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(72) Inventeur: **DUVAL, Cédric**  
**F-77920 Samois Sur Seine (FR)**

(30) Priorité: **06.04.2012 FR 1253183**

(74) Mandataire: **Cabinet Beau de Loménie**  
**158, rue de l'Université**  
**75340 Paris Cedex 07 (FR)**

(43) Date de publication de la demande:  
**11.02.2015 Bulletin 2015/07**

(56) Documents cités:  
**CH-A- 132 421 FR-A1- 2 648 612**

(73) Titulaire: **Safran Electrical & Power**  
**31702 Blagnac Cedex (FR)**

**EP 2 834 820 B1**

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

## Description

Arrière-plan de l'invention

- 5 **[0001]** La présente invention se rapporte au domaine général des transformateurs. En particulier, l'invention concerne un transformateur fixe triphasé-diphasé à flux liés forcés.
- [0002]** Dans certaines situations, il peut s'avérer nécessaire de transférer de façon équilibrée de l'énergie d'une source triphasée vers une source diphasée. Il existe des transformateurs fixes triphasés-diphasés, notamment l'un connu sous le nom de montage Scott et l'autre connu sous le nom de montage Leblanc.
- 10 **[0003]** Le montage Scott utilise deux transformateurs monophasés. Le premier a son primaire de  $n_1$  spires monté entre les bornes A et B du réseau triphasé. Le primaire du second a  $n_1'$  spires et est monté entre la borne C du réseau triphasé et le point milieu M du primaire du premier. Les deux phases secondaires ont le même nombre  $n_2$  de spires. Les tensions primaires sont en quadrature, il en est donc de même des tensions secondaires. Pour que les tensions secondaires aient même valeur et soit en quadrature, il faut que  $n_1' = \sqrt{3} n_1 / 2$ .
- 15 **[0004]** Le montage Scott présente plusieurs inconvénients. Les circuits magnétiques des deux transformateurs monophasés représentent une masse et un encombrement important. De plus, les bobinages des deux transformateurs doivent être différents côté triphasé puisqu'ils n'ont pas le même nombre de spires. Le nombre de spires des phases triphasées étant différent, les sections des conducteurs électriques doivent être différentes afin de garantir l'équilibre des résistances de chaque phase. Le branchement en étoile est imposé et on ne peut donc pas jouer sur le rapport des tensions avec un branchement triangle ou zig-zag. Enfin, on ne bénéficie pas du couplage positif des phases d'un transformateur triphasé à flux liés forcés qui permet de réduire le courant magnétisant nécessaire.
- 20 **[0005]** Le montage Leblanc utilise un circuit magnétique à trois, quatre ou cinq colonnes. Dans le cas d'un circuit magnétique à trois colonnes, il s'agit d'un transformateur à flux liés forcés, ce qui permet de limiter le courant magnétisant.
- [0006]** Le montage Leblanc présente également des inconvénients. Les bobinages des phases côté diphasé doivent être différents car ils n'ont pas le même nombre de spires. Les bobinages du côté diphasé sont répartis sur trois colonnes de façon non symétrique, ce qui entraîne des inductances de fuite différentes. Le nombre de spires de chaque phase côté diphasé étant différent, il faut des sections de conducteur électrique différentes pour équilibrer la résistance de chaque phase. Un transformateur de type triphasé-diphasé tel que déclaré dans le préambule de la première revendication est connu du document FR2648612. Ce transformateur diffère en ce que les bobines diphasées sont arrangées
- 25 en deux groupes de trois bobines, ces trois bobines, entre elles, étant connectées en séries. Par ailleurs, une des trois bobines dans chaque groupe respectif, est enroulée dans le sens inverse aux deux autres bobines.
- 30 **[0007]** Il existe donc également un besoin pour une solution améliorée permettant de transférer de façon équilibrée de l'énergie d'une source triphasée vers une source diphasée.

35 Objet et résumé de l'invention

- [0008]** L'invention propose un transformateur triphasé-diphasé comprenant un circuit magnétique, des bobines triphasées et des bobines diphasées, dans lequel le circuit magnétique comprend une première colonne, une deuxième colonne et une troisième colonne reliées magnétiquement, les bobines triphasées consistent en une première bobine
- 40 de  $n_1$  tours autour de la première colonne, une deuxième bobine de  $n_1$  tours autour de la deuxième colonne et une troisième bobine de  $n_1$  tours autour de la troisième colonne, caractérisé en ce que
- les bobines diphasées consistent en une quatrième bobine de  $n_2$  tours autour de la première colonne, une cinquième bobine de  $n_2'$  tours autour de la première colonne, une sixième bobine de  $n_2$  tours autour de la troisième colonne et une
- 45 septième bobine de  $n_2'$  tours autour de la troisième colonne, la quatrième bobine et la septième bobine étant reliées en série et formant une première phase diphasée, la quatrième bobine et la septième bobine présentant chacune un sens de bobinage correspondant, pour un courant circulant dans la première phase diphasée, à des potentiels magnétiques de même sens,
- la cinquième bobine et la sixième bobine étant reliées en série et formant une deuxième phase diphasée, la cinquième bobine et la sixième bobine présentant chacune un sens de bobinage correspondant, pour un courant circulant dans la
- 50 deuxième phase diphasée, à des potentiels magnétiques de même sens.
- [0009]** Ce transformateur présente, côté triphasé, une structure comparable à celle d'un transformateur de type Leblanc à trois colonnes. Il permet donc, par rapport à l'utilisation de deux transformateurs monophasés, un couplage de flux qui permet de réduire la masse et le volume du circuit magnétique et de limiter le courant magnétisant. De plus, comme
- 55 les deux phases du côté diphasé présentent le même nombre de tours (à savoir  $n_2 + n_2'$ ), il n'est pas nécessaire d'utiliser des conducteurs de section différentes pour assurer l'équilibre des résistances.
- [0010]** Selon un mode de réalisation,  $n_2 = (2 + \sqrt{3}) n_2'$ .
- [0011]** Pour un rapport  $n_2 = (2 + \sqrt{3}) n_2'$ , le transformateur permet d'obtenir des tensions côté diphasé de même valeur

et en quadrature.

**[0012]** Selon un mode de réalisation, la deuxième colonne est une colonne centrale située entre la première colonne et la troisième colonne. Dans ce cas, les bobines triphasées et les bobines diphasées sont réparties de manière symétrique sur les colonnes latérales, ce qui permet d'équilibrer les inductances de fuites.

**[0013]** Selon un autre mode de réalisation, la première colonne est une colonne centrale située entre la deuxième colonne et la troisième colonne.

**[0014]** De préférence, le circuit magnétique présente une symétrie par rapport à un axe de rotation passant dans la colonne centrale et/ou par rapport à un plan de symétrie passant dans ladite colonne centrale.

**[0015]** En raison de la symétrie du circuit magnétique, des bobines triphasées et des bobines diphasées, les résistances et les inductances de phase sont équilibrées.

**[0016]** Selon un mode de réalisation, le transformateur comprend en outre au moins un ensemble supplémentaire de bobines triphasées ou de bobines diphasées.

**[0017]** Le transformateur permet alors d'alimenter de manière équilibrée un nombre de charge quelconque différent de 1.

#### Breve description des dessins

**[0018]** D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention ressortiront de la description faite ci-dessous, en référence aux dessins annexés qui en illustrent des exemples de réalisation dépourvus de tout caractère limitatif. Sur les figures :

- la figure 1 représente un transformateur selon un premier mode de réalisation de l'invention,
- les figures 2 et 3 sont des schémas électriques illustrant le fonctionnement du transformateur de la figure 1,
- la figure 4 est un graphe représentant les courants dans le transformateur de la figure 1,
- la figure 5 représente un transformateur selon un deuxième mode de réalisation de l'invention,
- la figure 6 est un schéma électrique illustrant le fonctionnement du transformateur de la figure 5, et
- les figures 7 et 8 représentent chacune, en perspective, un circuit magnétique à trois colonnes pouvant être utilisé pour réaliser un transformateur conforme à l'invention.

#### Description détaillée de modes de réalisation

**[0019]** La **figure 1** est une vue de face d'un transformateur 1 selon un mode de réalisation de l'invention. Le transformateur 1 est un transformateur fixe triphasé-diphasé, à flux liés forcés.

**[0020]** Le transformateur 1 comprend un circuit magnétique 2, des bobines triphasées et des bobines diphasées. Dans la suite de la description, les bobines triphasées correspondent au primaire du transformateur 1 et les bobines diphasées correspondent au secondaire du transformateur 1. Toutefois, un mode de fonctionnement inverse est bien entendu possible.

**[0021]** Le circuit magnétique 2 comprend trois colonnes reliées magnétiquement : une colonne latérale 3, une colonne centrale 4 et une colonne latérale 5, reliées par des barres 13. Le circuit magnétique 2 est symétrique par rapport à un axe de rotation passant dans la colonne centrale 4 et/ou par rapport à un plan de symétrie passant dans la colonne centrale 4.

**[0022]** Les bobines triphasées comprennent une bobine 6 autour de la colonne latérale 3, une bobine 7 autour de la colonne centrale 4 et une bobine 8 autour de la colonne latérale 5.

**[0023]** Les bobines diphasées comprennent une bobine 9 et une bobine 10 autour de la colonne latérale 3, et une bobine 11 et une bobine 12 autour de la colonne latérale 5.

**[0024]** Sur la figure 1, les bobines 9, 10 et 6 sont représentées les unes à côté des autres le long de la colonne latérale 3, mais tout autre positionnement est possible. Le même commentaire s'applique aux bobines 11, 12 et 8.

**[0025]** La **figure 2** est un schéma électrique du transformateur 1 de la figure 1.

**[0026]** Les bobines 6, 7 et 8 triphasées présentent chacune  $n_1$  tours. Dans le mode de réalisation représenté, elles sont reliées en étoile. Cependant, toute autre configuration est possible : en triangle, en zigzag, ... On note  $I_a$ ,  $I_b$  et  $I_c$  les courants circulant respectivement dans les bobines 6, 7 et 8. Le sens de bobinage des bobines 6, 7 et 8 est symbolisé par un point noir. Il correspond, pour des courants  $I_a$ ,  $I_b$  et  $I_c$  de même sens, à des potentiels magnétiques de même sens dans les colonnes 3, 4 et 5.

**[0027]** Côté diphasé, la bobine 9 présente  $n_2$  tours et est reliée en série avec la bobine 12 qui présente  $n'_2$  tours. Les bobines 9 et 12 correspondent à une première phase diphasée. On note  $I_1$  le courant et  $V_1$  la tension de la première phase diphasée. Le sens de bobinage des bobines 9 et 12 est symbolisé par un point noir. Il correspond, pour un courant  $I_1$  donné, à des potentiels magnétiques  $n_2 I_1$  et  $n'_2 I_1$  de même sens dans les colonnes 3 et 5.

**[0028]** De manière correspondante, la bobine 11 présente  $n_2$  tours et est reliée en série avec la bobine 10 qui présente

$n'_2$  tours. Les bobines 11 et 10 correspondent à une deuxième phase diphasée. On note  $I_2$  le courant et  $V_2$  la tension de la deuxième phase diphasée. Le sens de bobinage des bobines 10 et 11 est également symbolisé par un point noir. Il correspond, pour un courant  $I_2$  donné, à des potentiels magnétiques  $n_2 I_2$  et  $n'_2 I_2$  de même sens dans les colonnes 5 et 3. Ce sens peut être le même que celui des potentiels magnétiques  $n_2 I_1$  et  $n'_2 I_1$  de la première phase diphasée, comme dans le cas de la figure 2, ou le sens opposé, comme dans le cas de la **figure 3** qui représente une variante de réalisation.

**[0029]** Le transformateur 1 présente, côté triphasé, une structure comparable à celle d'un transformateur de type Leblanc à trois colonnes. Il permet donc, par rapport à l'utilisation de deux transformateurs monophasés, un couplage de flux qui permet de réduire la masse et le volume du circuit magnétique et de limiter le courant magnétisant.

**[0030]** De plus, en raison de la symétrie du circuit magnétique, des bobines triphasés et des bobines diphasés, les résistances et les inductances de phase sont équilibrées.

**[0031]** Comme les deux phases du côté diphasé présentent le même nombre de tours (à savoir  $n_2 + n'_2$ ), il n'est pas nécessaire d'utiliser des conducteurs de section différentes pour assurer l'équilibre des résistances.

**[0032]** De plus, pour un rapport  $n_2 = (2 + \sqrt{3}) n'_2$ , le transformateur 1 permet d'obtenir des tensions secondaires  $V_1$  et  $V_2$  de même valeur et en quadrature.

**[0033]** Le rapport des courants est donné par :

$$\frac{I_a}{I_1} = \frac{\sqrt{2}}{3} \frac{n_2 + n'_2}{n_1}$$

**[0034]** Le rapport des tensions est donné par :

$$\frac{V_2}{V_a} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{n'_2 + n_2}{n_1}$$

**[0035]** Ainsi, le transformateur 1 agit sur le déphasage entre le primaire et le secondaire, mais fournit des courants secondaires  $I_1$  et  $I_2$  déphasés de  $\pm \pi/2$  et des tensions secondaires  $V_1$  et  $V_2$  déphasées de  $\pm \pi/2$ .

**[0036]** Ceci peut être formalisé de la manière suivante :

$$\begin{aligned} \overline{V}_1 &= \frac{1}{n_1} (n_2 \overline{V}_a + n'_2 \overline{V}_c) \\ &= \frac{n'_2}{n_1} \left( (2 + \sqrt{3}) \overline{V}_a + \overline{V}_c \right) \\ &= \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{n'_2 + n_2}{n_1} \frac{1}{\sqrt{3}\sqrt{2+\sqrt{3}}} \left( 2 + \sqrt{3} + \left( -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \right) \overline{V}_a \\ &= \overline{V}_a \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{n'_2 + n_2}{n_1} \frac{1}{\sqrt{3}\sqrt{2+\sqrt{3}}} \left( \frac{3}{2} + \sqrt{3} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \\ &= \overline{V}_a \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{n'_2 + n_2}{n_1} \frac{1}{\sqrt{2+\sqrt{3}}} \left( \frac{\sqrt{3}}{2} + 1 + j\frac{1}{2} \right) \\ &= \overline{V}_a \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{n'_2 + n_2}{n_1} \left( \frac{\sqrt{2+\sqrt{3}}}{2} + j\frac{\sqrt{2-\sqrt{3}}}{2} \right) \\ &= \overline{V}_a \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{n'_2 + n_2}{n_1} e^{j\frac{\pi}{12}} \end{aligned}$$

**[0037]** On a donc :

$$\bar{V}_1 = \bar{V}_a \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{n'_2 + n_2}{n_1} e^{j\frac{\pi}{12}}$$

5 **[0038]** Pour  $V_2$  on a :

$$\begin{aligned} \bar{V}_2 &= \frac{1}{n_1} (n_2 \bar{V}_c + n'_2 \bar{V}_a) \\ &= \frac{n'_2}{n_1} \left( (2 + \sqrt{3}) \bar{V}_c + \bar{V}_a \right) \\ &= \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{n'_2 + n_2}{n_1} \frac{1}{\sqrt{3}\sqrt{2+\sqrt{3}}} \left( (2 + \sqrt{3}) * \left( -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) + 1 \right) \bar{V}_a \\ &= \bar{V}_a \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{n'_2 + n_2}{n_1} \frac{1}{\sqrt{3}\sqrt{2+\sqrt{3}}} \left( -\frac{\sqrt{3}}{2} + j\sqrt{3} \left( \frac{2+\sqrt{3}}{2} \right) \right) \\ &= \bar{V}_a \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{n'_2 + n_2}{n_1} \frac{1}{\sqrt{2+\sqrt{3}}} \left( -\frac{1}{2} + j \left( \frac{2+\sqrt{3}}{2} \right) \right) \\ &= \bar{V}_a \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{n'_2 + n_2}{n_1} \left( -\frac{\sqrt{2-\sqrt{3}}}{2} + j \left( \frac{\sqrt{2+\sqrt{3}}}{2} \right) \right) \\ &= \bar{V}_a \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{n'_2 + n_2}{n_1} e^{+j\frac{7\pi}{12}} \end{aligned}$$

**[0039]** On obtient donc :

$$\bar{V}_2 = \bar{V}_a \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{n'_2 + n_2}{n_1} e^{+j\frac{\pi}{12}} e^{+j\frac{\pi}{2}}$$

**[0040]** On a donc bien  $V_2 = jV_1$ , des tensions de même valeur et en quadrature.

40 **[0041]** Si les courants secondaires sont équilibrés ( $I_2 = jI_1$ ), la compensation des ampères-tours sur chaque noyau pour un transformateur à flux liés forcés de type trois colonnes montre que les courants primaires le sont également. En effet :

$$\begin{aligned} (1)n_1 \bar{I}_A - n_1 \frac{1}{2} \bar{I}_B - n_1 \frac{1}{2} \bar{I}_C &= n_2 \bar{I}_1 + n'_2 \bar{I}_2 - \frac{1}{2} (n'_2 \bar{I}_1 + n_2 \bar{I}_2) \\ (1)n_1 \bar{I}_A - n_1 \frac{1}{2} \bar{I}_B - n_1 \frac{1}{2} \bar{I}_C &= (2 + \sqrt{3}) n'_2 \bar{I}_1 + j n'_2 \bar{I}_1 - \frac{1}{2} (n'_2 \bar{I}_1 + j(2 + \sqrt{3}) n'_2 \bar{I}_1) \\ (1)n_1 \bar{I}_A - n_1 \frac{1}{2} \bar{I}_B - n_1 \frac{1}{2} \bar{I}_C &= \left[ (2 + \sqrt{3}) + j - \frac{1}{2} (1 + j(2 + \sqrt{3})) \right] [n'_2 \bar{I}_1] \\ (1)n_1 \bar{I}_A - n_1 \frac{1}{2} \bar{I}_B - n_1 \frac{1}{2} \bar{I}_C &= \left[ 2 + \sqrt{3} + j - \frac{1}{2} - j \frac{2 + \sqrt{3}}{2} \right] [n'_2 \bar{I}_1] \end{aligned}$$

$$(1)n_1\bar{I}_A - n_1\frac{1}{2}\bar{I}_B - n_1\frac{1}{2}\bar{I}_C = \left[\frac{3}{2} + \sqrt{3} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right][n_2'\bar{I}_1]$$

5

$$(1)n_1\bar{I}_A - n_1\frac{1}{2}\bar{I}_B - n_1\frac{1}{2}\bar{I}_C = \sqrt{2+\sqrt{3}}\sqrt{3}\left[\frac{\sqrt{2+\sqrt{3}}}{2} - j\frac{\sqrt{2-\sqrt{3}}}{2}\right][n_2'\bar{I}_1]$$

10

$$(1)n_1\bar{I}_A - n_1\frac{1}{2}\bar{I}_B - n_1\frac{1}{2}\bar{I}_C = \frac{1}{\sqrt{2}}\left[\frac{\sqrt{2+\sqrt{3}}}{2} - j\frac{\sqrt{2-\sqrt{3}}}{2}\right][(n_2' + n_2)\bar{I}_1]$$

15

$$(1)n_1\bar{I}_A - n_1\frac{1}{2}\bar{I}_B - n_1\frac{1}{2}\bar{I}_C = \frac{1}{\sqrt{2}}[(n_2' + n_2)\bar{I}_1]e^{-j\frac{\pi}{12}}$$

20

$$(1)\bar{I}_A - \frac{1}{2}\bar{I}_B - \frac{1}{2}\bar{I}_C = \frac{1}{\sqrt{2}}\left[\frac{(n_2' + n_2)}{n_1}\bar{I}_1\right]e^{-j\frac{\pi}{12}}$$

25

$$(2)n_1\bar{I}_B - n_1\frac{1}{2}\bar{I}_A - n_1\frac{1}{2}\bar{I}_C = -\frac{1}{2}(n_2'\bar{I}_1 + n_2\bar{I}_2) - \frac{1}{2}(n_2\bar{I}_1 + n_2'\bar{I}_2)$$

30

$$(2)n_1\bar{I}_B - n_1\frac{1}{2}\bar{I}_A - n_1\frac{1}{2}\bar{I}_C = -\frac{1}{2}(n_2'\bar{I}_1 + j(2+\sqrt{3})n_2'\bar{I}_1) - \frac{1}{2}((2+\sqrt{3})n_2'\bar{I}_1 + jn_2'\bar{I}_1)$$

35

$$(2)n_1\bar{I}_B - n_1\frac{1}{2}\bar{I}_A - n_1\frac{1}{2}\bar{I}_C = -\frac{1}{2}[(1+j(2+\sqrt{3})) + ((2+\sqrt{3})+j)]n_2'\bar{I}_1$$

40

$$(2)n_1\bar{I}_B - n_1\frac{1}{2}\bar{I}_A - n_1\frac{1}{2}\bar{I}_C = -\frac{1}{2}[3+\sqrt{3}+j(3+\sqrt{3})]n_2'\bar{I}_1$$

45

$$(2)n_1\bar{I}_B - n_1\frac{1}{2}\bar{I}_A - n_1\frac{1}{2}\bar{I}_C = -2\sqrt{2+\sqrt{3}}\sqrt{3}\frac{1}{2}\left[\frac{1+\sqrt{3}}{2\sqrt{2+\sqrt{3}}} + j\frac{1+\sqrt{3}}{2\sqrt{2+\sqrt{3}}}\right][n_2'\bar{I}_1]$$

50

$$(2)n_1\bar{I}_B - n_1\frac{1}{2}\bar{I}_A - n_1\frac{1}{2}\bar{I}_C = -\frac{1}{\sqrt{2}}\left[\frac{1+\sqrt{3}}{2\sqrt{2+\sqrt{3}}} + j\frac{1+\sqrt{3}}{2\sqrt{2+\sqrt{3}}}\right][(n_2' + n_2)\bar{I}_1]$$

55

$$(2)n_1\bar{I}_B - n_1\frac{1}{2}\bar{I}_A - n_1\frac{1}{2}\bar{I}_C = -\frac{1}{\sqrt{2}}\left[\sqrt{\left(\frac{1+\sqrt{3}}{2\sqrt{2}+\sqrt{3}}\right)^2} + j\sqrt{\left(\frac{1+\sqrt{3}}{2\sqrt{2}+\sqrt{3}}\right)^2}\right]\left[(n'_2 + n_2)\bar{I}_1\right]$$

$$(2)n_1\bar{I}_B - n_1\frac{1}{2}\bar{I}_A - n_1\frac{1}{2}\bar{I}_C = -\frac{1}{\sqrt{2}}\left[\frac{1}{\sqrt{2}} + j\frac{1}{\sqrt{2}}\right]\left[(n'_2 + n_2)\bar{I}_1\right]$$

$$(2)n_1\bar{I}_B - n_1\frac{1}{2}\bar{I}_A - n_1\frac{1}{2}\bar{I}_C = \frac{1}{\sqrt{2}}\left[(n'_2 + n_2)\bar{I}_1\right]e^{-j\frac{3\pi}{4}}$$

$$(2)\bar{I}_B - \frac{1}{2}\bar{I}_A - \frac{1}{2}\bar{I}_C = \frac{1}{\sqrt{2}}\left[\left(\frac{n'_2 + n_2}{n_1}\right)\bar{I}_1\right]e^{-j\frac{3\pi}{4}}$$

$$(3)n_1\bar{I}_C - n_1\frac{1}{2}\bar{I}_A - n_1\frac{1}{2}\bar{I}_B = n'_2\bar{I}_1 + n_2\bar{I}_2 - \frac{1}{2}(n_2\bar{I}_1 + n'_2\bar{I}_2)$$

$$(3)n_1\bar{I}_C - n_1\frac{1}{2}\bar{I}_A - n_1\frac{1}{2}\bar{I}_B = n'_2\bar{I}_1 + j(2+\sqrt{3})n'_2\bar{I}_1 - \frac{1}{2}((2+\sqrt{3})n'_2\bar{I}_1 + jn'_2\bar{I}_1)$$

$$(3)n_1\bar{I}_C - n_1\frac{1}{2}\bar{I}_A - n_1\frac{1}{2}\bar{I}_B = \left[1 + j(2+\sqrt{3}) - \frac{1}{2}((2+\sqrt{3}) + j)\right][n'_2\bar{I}_1]$$

$$(3)n_1\bar{I}_C - n_1\frac{1}{2}\bar{I}_A - n_1\frac{1}{2}\bar{I}_B = \left[-\frac{\sqrt{3}}{2} + j\frac{3+2\sqrt{3}}{2}\right][n'_2\bar{I}_1]$$

$$(3)n_1\bar{I}_C - n_1\frac{1}{2}\bar{I}_A - n_1\frac{1}{2}\bar{I}_B = \sqrt{3}\left[-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}+2}{2}\right][n'_2\bar{I}_1]$$

$$(3)n_1\bar{I}_C - n_1\frac{1}{2}\bar{I}_A - n_1\frac{1}{2}\bar{I}_B = \sqrt{3}\sqrt{2+\sqrt{3}}\left[-\frac{\sqrt{2-\sqrt{3}}}{2} + j\frac{\sqrt{2+\sqrt{3}}}{2}\right][n'_2\bar{I}_1]$$

$$(3)n_1\bar{I}_C - n_1\frac{1}{2}\bar{I}_A - n_1\frac{1}{2}\bar{I}_B = \frac{1}{\sqrt{2}}\left[-\frac{\sqrt{2-\sqrt{3}}}{2} + j\frac{\sqrt{2+\sqrt{3}}}{2}\right]\left[(n'_2 + n_2)\bar{I}_1\right]$$

$$(3)n_1\bar{I}_C - n_1\frac{1}{2}\bar{I}_A - n_1\frac{1}{2}\bar{I}_B = \frac{1}{\sqrt{2}}\left[(n'_2 + n_2)\bar{I}_1\right]e^{+j\frac{7\pi}{12}}$$

$$(3)\bar{I}_C - \frac{1}{2}\bar{I}_A - \frac{1}{2}\bar{I}_B = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[ \left( \frac{n'_2 + n_2}{n_1} \right) \bar{I}_1 \right] e^{+j\frac{7\pi}{12}}$$

5

**[0042]** Afin de faciliter les notations, on pose :

10

$$k = \frac{1}{\sqrt{2}} \left( \frac{n'_2 + n_2}{n_1} \right)$$

**[0043]** D'où le système d'équation à trois inconnues  $I_A$ ,  $I_B$  et  $I_C$  :

15

$$(1)\bar{I}_A - \frac{1}{2}\bar{I}_B - \frac{1}{2}\bar{I}_C = k[\bar{I}_1] e^{-j\frac{\pi}{12}}$$

20

$$(2)\bar{I}_B - \frac{1}{2}\bar{I}_A - \frac{1}{2}\bar{I}_C = k[\bar{I}_1] e^{-j\frac{3\pi}{4}}$$

25

$$(3)\bar{I}_C - \frac{1}{2}\bar{I}_A - \frac{1}{2}\bar{I}_B = k[\bar{I}_1] e^{+j\frac{7\pi}{12}}$$

**[0044]** On a (1)+(2)+(3) qui est égal à zéro, le système est donc sous contraint et possède donc une infinité de solutions. Cependant la loi des nœuds (en triangle ou étoile) nous donne :

30

$$\bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C = 0$$

d'où en utilisant l'équation ci-dessus, le système devient :

35

$$(1)\frac{3}{2}\bar{I}_A = k[\bar{I}_1] e^{-j\frac{\pi}{12}}$$

40

$$(2)\frac{3}{2}\bar{I}_B = k[\bar{I}_1] e^{-j\frac{3\pi}{4}}$$

45

$$(3)\frac{3}{2}\bar{I}_C = k[\bar{I}_1] e^{+j\frac{7\pi}{12}}$$

50

$$\bar{I}_A = \frac{\sqrt{2}}{3} \frac{n'_2 + n_2}{n_1} [\bar{I}_1] e^{-j\frac{\pi}{12}}$$

55

$$\bar{I}_B = \frac{\sqrt{2}}{3} \frac{n'_2 + n_2}{n_1} [\bar{I}_1] e^{-j\frac{3\pi}{4}}$$

$$\bar{I}_C = \frac{\sqrt{2}}{3} \frac{n'_2 + n_2}{n_1} [\bar{I}_1] e^{+j\frac{7\pi}{12}}$$

$$\bar{I}_A = \frac{\sqrt{2}}{3} \frac{n'_2 + n_2}{n_1} [\bar{I}_1] e^{-j\frac{\pi}{12}}$$

$$\bar{I}_B = \frac{\sqrt{2}}{3} \frac{n'_2 + n_2}{n_1} [\bar{I}_1] e^{-j\frac{\pi}{12}} e^{-j\frac{2\pi}{3}}$$

$$\bar{I}_C = \frac{\sqrt{2}}{3} \frac{n'_2 + n_2}{n_1} [\bar{I}_1] e^{-j\frac{\pi}{12}} e^{+j\frac{2\pi}{3}}$$

**[0045]** On a bien un système triphasé équilibré déphasé de  $2\pi/3$ , comme le montre la **figure 4**, et l'on retrouve le rapport des courants cité précédemment. La figure 4 est un graphe qui représente dans le repère de Fresnel les courants triphasés et les courants diphasés du transformateur 1 de la figure 1.

**[0046]** De manière connue, un transformateur peut comprendre plusieurs secondaires. Ainsi, selon une variante non représentée, le transformateur 1 comprend, en plus du secondaire formé par les bobines 9 à 12, au moins un autre secondaire triphasé et/ou au moins un autre secondaire diphasé, qui peut être réalisé de la même manière que celui formé par les bobines 9 à 12. Dans cette variante, le transformateur 1 permet d'alimenter de façon équilibrée un nombre de charges quelconque différent de 1. Par exemple, pour onze charges, on peut utiliser un secondaires triphasés sur neufs charges et un secondaire diphasé sur deux charges :  $11 = 3 \times 3 + 2$ .

**[0047]** Les **figures 5 et 6** sont similaires aux figures 1 et 2, respectivement, et représentent un transformateur 20 selon un deuxième mode de réalisation de l'invention. Les éléments identiques ou similaires à des éléments du transformateur 1 de la figure 1 sont désignés par les mêmes références et ne sont plus décrits en détail.

**[0048]** Dans le transformateur 20, les positions des bobines 6, 9 et 10 d'une part et de la bobine 7 d'autre part sont inversées par rapport au transformateur 1 : les bobines 6, 9 et 10 entourent la colonne centrale 4 et la bobine 7 entoure la colonne latérale 3. A part cette différence, le transformateur 20 est sensiblement identique au transformateur 1.

**[0049]** Le transformateur 20 présente les mêmes avantages précités que le transformateur 1. En particulier, le transformateur 20 présente des courants et des tensions en quadrature de phases. Les rapports des courants et des tensions cités précédemment sont conservés. Cependant, le transformateur 20 n'a plus la même symétrie de réalisation côté diphasé, ce qui implique une différence possible au niveau des inductances de fuites des deux phases diphasées.

**[0050]** Dans les transformateurs 10 et 20 des figures 1 et 5, les colonnes 3, 4 et 5 sont situées parallèlement les unes aux autres dans un même plan, ce qui correspond à une topologie de circuit magnétique couramment utilisée pour réaliser un transformateur triphasé équilibré à flux liés forcé à trois noyaux. Cependant, selon une variante de réalisation, un transformateur conforme à l'invention peut comprendre un circuit magnétique à trois colonnes reliées magnétiquement qui présente une autre topologie.

**[0051]** Ainsi, les **figures 7 et 8** représentent chacune, en perspective, un circuit magnétique à trois colonnes pouvant être utilisé pour réaliser un transformateur conforme à l'invention. Sur les figures 7 et 8, on utilise les mêmes références que sur les figures 1 et 5 pour désigner des éléments correspondant, sans risque de confusion.

## Revendications

1. Transformateur (1, 20) triphasé-diphasé comprenant un circuit magnétique (2), des bobines triphasées et des bobines diphasées, dans lequel le circuit magnétique comprend une première colonne (3 ; 4), une deuxième colonne (4 ; 3) et une troisième colonne (5) reliées magnétiquement, les bobines triphasées consistent en une première bobine (6) de  $n_1$  tours autour de la première colonne (3 ; 4), une deuxième bobine (7) de  $n_1$  tours autour de la deuxième colonne (4 ; 3) et une troisième bobine (8) de  $n_1$  tours autour de la troisième colonne (5),  
**caractérisé en ce que**

les bobines diphasées consistent en une quatrième bobine (9) de  $n_2$  tours autour de la première colonne (3 ; 4), une cinquième bobine (10) de  $n'_2$  tours autour de la première colonne (3 ; 4), une sixième bobine (11) de  $n_2$  tours autour de la troisième colonne (5) et une septième bobine (12) de  $n'_2$  tours autour de la troisième colonne (5), la quatrième bobine (9) et la septième bobine (12) étant reliées en série et formant une première phase diphasée, la quatrième bobine (9) et la septième bobine (12) présentant chacune un sens de bobinage correspondant, pour un courant ( $I_1$ ) circulant dans la première phase diphasée, à des potentiels magnétiques ( $n_2 I_1$ ,  $n'_2 I_1$ ) de même sens, la cinquième bobine (10) et la sixième bobine (11) étant reliées en série et formant une deuxième phase diphasée, la cinquième bobine (10) et la sixième bobine (11) présentant chacune un sens de bobinage correspondant, pour un courant ( $I_2$ ) circulant dans la deuxième phase diphasée, à des potentiels magnétiques ( $n_2 I_2$ ,  $n'_2 I_2$ ) de même sens.

2. Transformateur (1, 20) selon la revendication 1, dans lequel  $n_2 = (2 + \sqrt{3}) n'_2$ .
3. Transformateur (1) selon l'une des revendications 1 et 2, dans lequel ladite deuxième colonne (4) est une colonne centrale située entre la première colonne (3) et la troisième colonne (5).
4. Transformateur (20) selon l'une des revendications 1 et 2, dans lequel ladite première colonne (4) est une colonne centrale située entre la deuxième colonne (3) et la troisième colonne (5).
5. Transformateur (1, 20) selon l'une des revendications 3 et 4, dans lequel le circuit magnétique (2) présente une symétrie par rapport à un axe de rotation passant dans la colonne centrale (4) et/ou par rapport à un plan de symétrie passant dans ladite colonne centrale (4).
6. Transformateur (1, 20) selon l'une des revendications 1 à 5, comprenant en outre au moins un ensemble supplémentaire de bobines triphasées ou de bobines diphasées réalisées de la même manière que les bobines diphasées du premier ensemble.

#### Patentansprüche

1. Dreiphasen-Zweiphasen-Transformator (1, 20), umfassend einen Magnetkreis (2), dreiphasige Spulen und zweiphasige Spulen, wobei der Magnetkreis eine erste Säule (3; 4), eine zweite Säule (4; 3) und eine dritte Säule (5), die magnetisch verbunden sind, umfasst, die dreiphasigen Spulen aus einer ersten Spule (6) mit  $n_1$  Windungen um die erste Säule (3; 4), einer zweiten Spule (7) mit  $n_1$  Windungen um die zweite Säule (4; 3) und einer dritten Spule (8) mit  $n_1$  Windungen um die dritte Säule (5) bestehen, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zweiphasigen Spulen aus einer vierten Spule (9) mit  $n_2$  Windungen um die erste Säule (3; 4), einer fünften Spule (10) mit  $n'_2$  Windungen um die erste Säule (3; 4), einer sechsten Spule (11) mit  $n_2$  Windungen um die dritte Säule (5) und einer siebten Spule (12) mit  $n'_2$  Windungen um die dritte Säule (5) bestehen, wobei die vierte Spule (9) und die siebte Spule (12) in Reihe geschaltet sind und eine erste zweiphasige Phase bilden, wobei die vierte Spule (9) und die siebte Spule (12) jeweils eine Wicklungsrichtung aufweisen, die bei einem Strom ( $I_1$ ), welcher in der ersten zweiphasigen Phase fließt, magnetischen Potentialen ( $n_2 I_1$ ,  $n'_2 I_1$ ) gleicher Richtung entspricht, wobei die fünfte Spule (10) und die sechste Spule (11) in Reihe geschaltet sind und eine zweite zweiphasige Phase bilden, wobei die fünfte Spule (10) und die sechste Spule (11) jeweils eine Wicklungsrichtung aufweisen, die bei einem Strom ( $I_2$ ), welcher in der zweiten zweiphasigen Phase fließt, magnetischen Potentialen ( $n_2 I_2$ ,  $n'_2 I_2$ ) gleicher Richtung entspricht.
2. Transformator (1, 20) nach Anspruch 1, bei dem  $n_2 = (2 + \sqrt{3}) n'_2$ .
3. Transformator (1) nach einem der Ansprüche 1 und 2, bei dem die zweite Säule (4) eine mittlere Säule ist, die sich zwischen der ersten Säule (3) und der dritten Säule (5) befindet.
4. Transformator (20) nach einem der Ansprüche 1 und 2, bei dem die erste Säule (4) eine mittlere Säule ist, die sich zwischen der zweiten Säule (3) und der dritten Säule (5) befindet.
5. Transformator (1, 20) nach einem der Ansprüche 3 und 4, bei dem der Magnetkreis (2) eine Symmetrie bezüglich

einer in der mittleren Säule (4) verlaufenden Rotationsachse und/oder bezüglich einer in der mittleren Säule (4) verlaufenden Symmetrieebene aufweist.

6. Transformator (1, 20) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, ferner umfassend wenigstens eine zusätzliche Anordnung von dreiphasigen Spulen oder von zweiphasigen Spulen, die auf die gleiche Weise wie die zweiphasigen Spulen der ersten Anordnung ausgebildet sind.

## Claims

1. A three-phase-two-phase transformer (1, 20) comprising a magnetic circuit (2), three-phase windings, and two-phase windings, wherein:

the magnetic circuit comprises a first column (3; 4), a second column (4; 3), and a third column (5) that are magnetically connected together; and

the three-phase windings consist in a first winding (6) of  $n_1$  turns around the first column (3; 4), a second winding (7) of  $n_1$  turns around the second column (4; 3), and a third winding (8) of  $n_1$  turns around the third column (5); the transformer being **characterized in that**:

the two-phase windings consist in a fourth winding (9) of  $n_2$  turns around the first column (3; 4), a fifth winding (10) of  $n'_2$  turns around the first column (3; 4), a sixth winding (11) of  $n_2$  turns around the third column (5), and a seventh winding (12) of  $n'_2$  turns around the third column (5);

the fourth winding (9) and the seventh winding (12) are connected in series and form a first two-phase phase, and each of the fourth and seventh windings (9, 12) presents a corresponding winding direction for a current ( $I_1$ ) flowing in the first two-phase phase, with magnetic potentials ( $n_2 I_1, n'_2 I_1$ ) in the same direction; and

the fifth winding (10) and the sixth winding (11) are connected in series and form a second two-phase phase, and each of the fifth and sixth windings (10, 11) presents a corresponding winding direction for a current ( $I_2$ ) flowing in the second two-phase phase, with magnetic potentials ( $n_2 I_2, n'_2 I_2$ ) in the same direction.

2. A transformer (1, 20) according to claim 1, wherein:

$$n_2 = (2 + \sqrt{3}) n'_2$$

3. A transformer (1) according to claim 1 or claim 2, wherein said second column (4) is a central column situated between the first column (3) and the third column (5).

4. A transformer (20) according to claim 1 or claim 2, wherein said first column (4) is a central column situated between the second column (3) and the third column (5).

5. A transformer (1, 20) according to claim 3 or claim 4, wherein the magnetic circuit (2) presents symmetry about an axis of rotation contained in the central column (4) and/or about a plane of symmetry containing said central column (4).

6. A transformer (1, 20) according to any one of claims 1 to 5, further comprising at least one additional set of three-phase or two-phase windings made in the same manner as the two-phase windings of the first set.

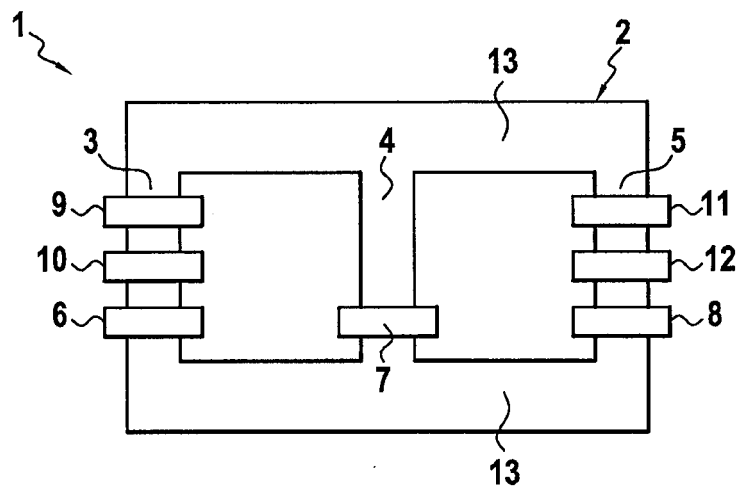


FIG.1

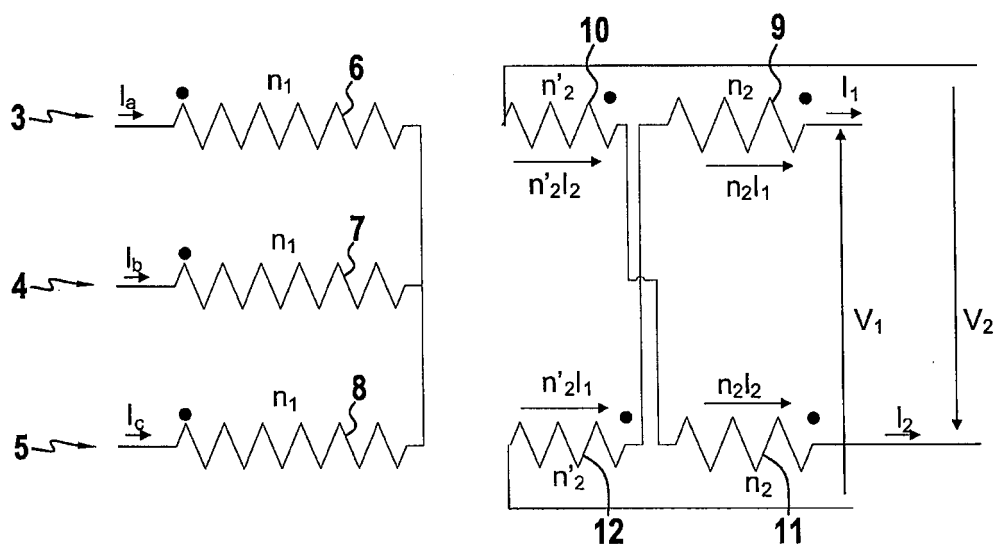


FIG.2

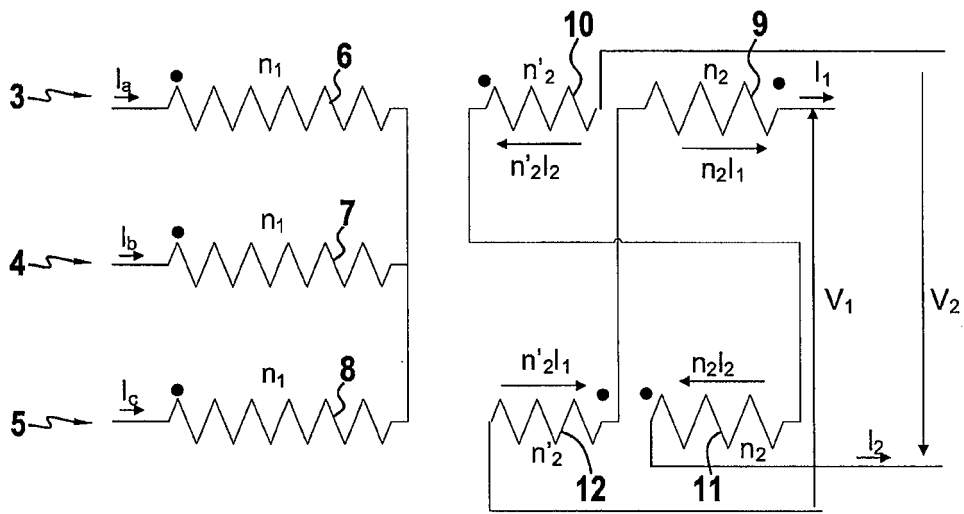


FIG.3

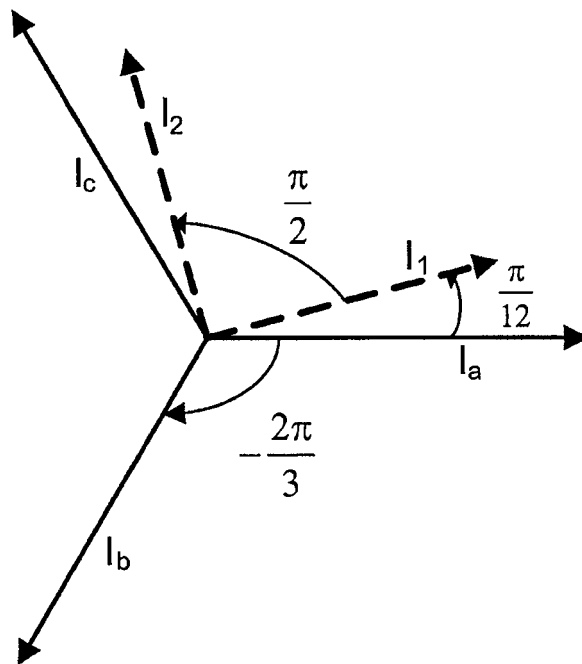


FIG.4

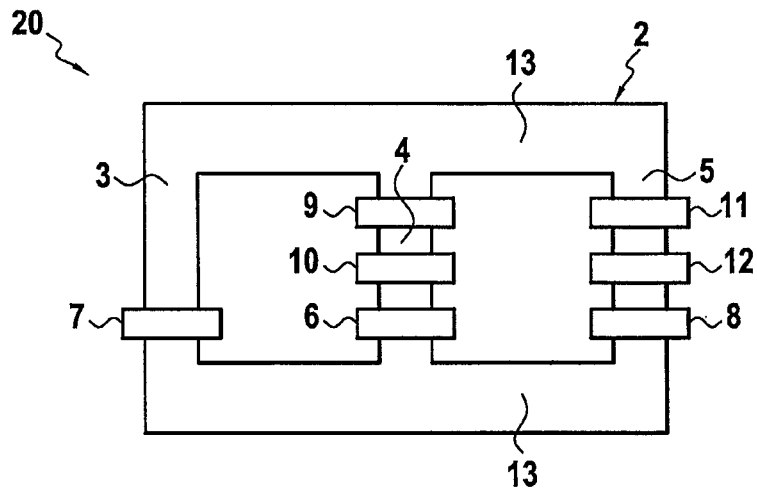


FIG.5

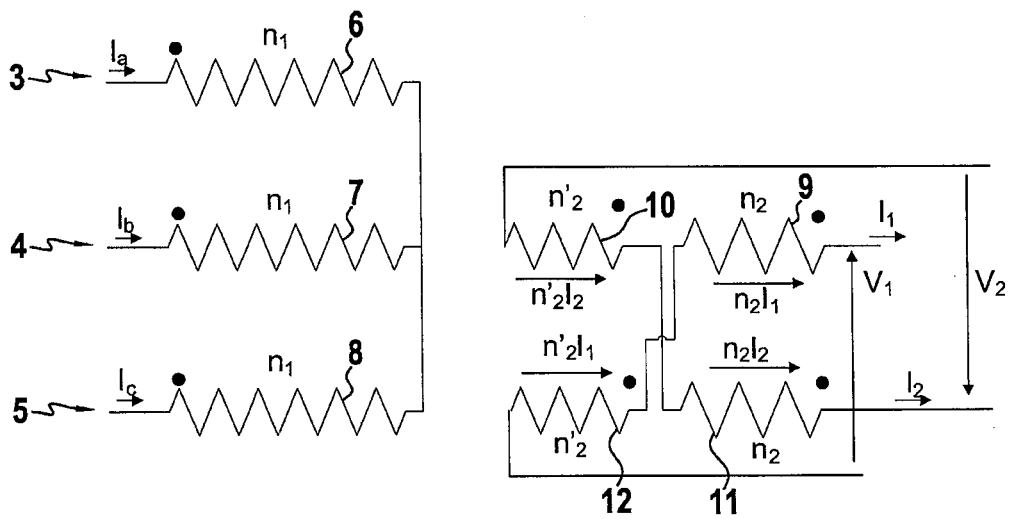


FIG.6

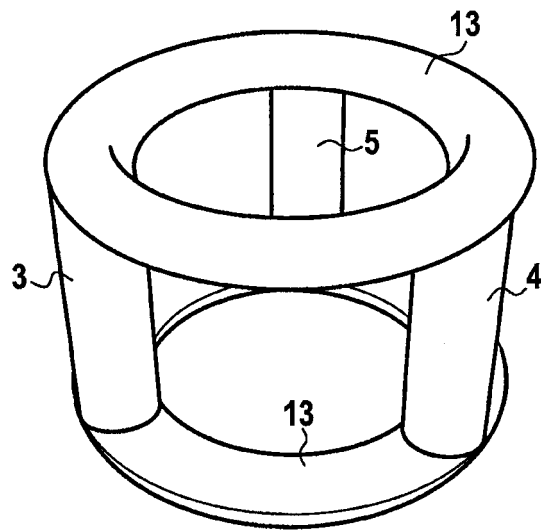


FIG. 7

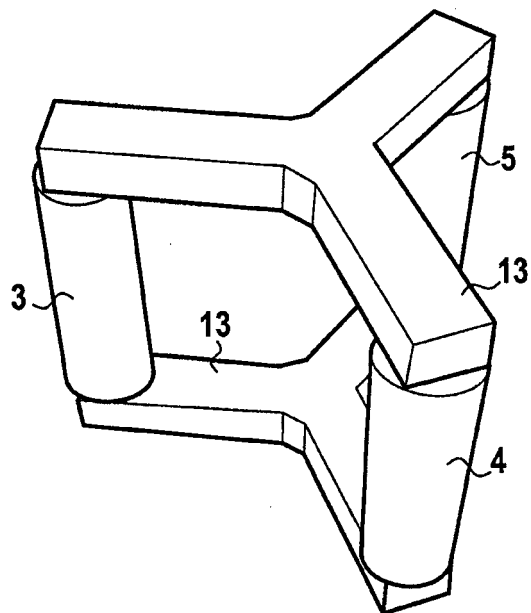


FIG. 8

**RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION**

*Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.*

**Documents brevets cités dans la description**

- FR 2648612 [0006]