



(11) **EP 2 080 203 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

- (45) Date de publication et mention de la délivrance du brevet: **05.10.2011 Bulletin 2011/40**
- (21) Numéro de dépôt: **07866417.4**
- (22) Date de dépôt: **22.10.2007**
- (51) Int Cl.: **H01F 30/14<sup>(2006.01)</sup>**
- (86) Numéro de dépôt international: **PCT/FR2007/001741**
- (87) Numéro de publication internationale: **WO 2008/056045 (15.05.2008 Gazette 2008/20)**

(54) **PROCEDE D'ALIMENTATION D'UN COUPLEUR MAGNETIQUE ET DISPOSITIF D'ALIMENTATION D'UN DIPOLE ELECTRIQUE**

VERFAHREN ZUM ANTREIBEN EINER MAGNETISCHEN KUPPLUNG UND VORRICHTUNG ZUM ANTREIBEN EINES ELEKTRISCHEN DIPOLS

METHOD FOR POWERING A MAGNETIC COUPLER AND DEVICE FOR POWERING AN ELECTRIC DIPOLE

<p>(84) Etats contractants désignés: <b>AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MT NL PL PT RO SE SI SK TR</b></p>	<p>(74) Mandataire: <b>Myon, Gérard Jean-Pierre et al</b> <b>Cabinet Lavoix Lyon</b> <b>62, rue de Bonnel</b> <b>69448 Lyon Cedex 03 (FR)</b></p>
<p>(30) Priorité: <b>20.10.2006 FR 0609233</b></p>	<p>(56) Documents cités: <b>WO-A-2006/040074 US-A- 2 790 131</b> <b>US-A- 4 112 403</b></p>
<p>(43) Date de publication de la demande: <b>22.07.2009 Bulletin 2009/30</b></p>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>IN GYU PARK ET AL: "Modeling and analysis of multi-interphase transformers for connecting power converters in parallel" POWER ELECTRONICS SPECIALISTS CONFERENCE, 1997. PESC '97 RECORD., 28TH ANNUAL IEEE ST. LOUIS, MO, USA 22-27 JUNE 1997, NEW YORK, NY, USA, IEEE, US, vol. 2, 22 juin 1997 (1997-06-22), pages 1164-1170, XP010241695 ISBN: 0-7803-3840-5 cité dans la demande</b></li><li>• <b>LIU GUANGYE ET AL: "Three-Phase-to-Four-Phase Transformer for Four-Phase Power-Transmission Systems" IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, IEEE SERVICE CENTER, NEW YORK, NY, US, vol. 17, no. 4, octobre 2002 (2002-10), pages 1018-1022, XP011078870 ISSN: 0885-8977</b></li></ul>
<p>(73) Titulaires:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS</b> <b>75016 Paris (FR)</b></li><li>• <b>Institut National Polytechnique De Toulouse</b> <b>31029 Toulouse Cedex 4 (FR)</b></li><li>• <b>Université Montpellier 2 Sciences et Techniques</b> <b>34095 Montpellier Cedex 5 (FR)</b></li></ul>	
<p>(72) Inventeurs:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>LABOURE, Eric</b> <b>94230 Cachan (FR)</b></li><li>• <b>MEYNARD, Thierry, Antoine</b> <b>FR-31071 TOULOUSE Cedex (FR)</b></li><li>• <b>FOREST, François</b> <b>34980 St Clement De Riviere (FR)</b></li></ul>	

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).

**EP 2 080 203 B1**

## Description

**[0001]** La présente invention concerne un procédé et un dispositif d'alimentation d'un coupleur magnétique.

**[0002]** Les coupleurs magnétiques (« Multi-Interphase Transformers » en anglais) sont utilisés, par exemple, pour raccorder une charge à une source d'alimentation polyphasée. Pour plus d'informations sur les coupleurs magnétiques, il est possible de consulter l'article suivant :

« Modeling and Analysis of Multi-Interphase Transformers for Connecting Power Converters in Parallel », IN GYU PARK and SEON IK KIM, Dept. of Control and Instrumentation Eng., Wonkwang University, Iksan, Chonbuk, 570-749 Korea, IEEE 1997.

**[0003]** Il est connu d'utiliser des sources d'alimentation polyphasées aptes à générer N tensions ou courants d'alimentation périodiques décalés angulairement les uns par rapport aux autres, N étant un nombre entier supérieur ou égal à quatre. Les décalages angulaires entre les tensions ou courants d'alimentation utilisés sont uniformément distribués entre 0 et  $2\pi$  rad. Un décalage angulaire de  $2\pi$  rad correspond à une période de la tension ou du courant.

**[0004]** Des coupleurs magnétiques connus des inventeurs sont décomposables en au moins quatre cellules magnétiques élémentaires, chaque cellule comportant :

. un noyau magnétique propre à former un seul circuit magnétique fermé annulaire, ce noyau comportant à cet effet au moins trois barreaux non colinéaires par l'intermédiaire desquels s'établit le circuit magnétique fermé, au moins deux de ces barreaux présentant chacun une face plane tournée vers l'extérieur de la cellule et les lignes de champ du circuit magnétique fermé à l'intérieur de ces barreaux étant parallèles aux faces planes,

. un ou plusieurs bobinages, chacun de ces bobinages étant enroulé autour d'un barreau du noyau magnétique de manière à laisser au moins les deux barreaux avec une face plane, libres de tout bobinage, et

. les cellules élémentaires sont accolées deux par deux par l'intermédiaire de leurs faces planes respectives de manière à former des paires de premières et de secondes cellules accouplées magnétiquement les unes aux autres.

**[0005]** Les inventeurs connaissent également des coupleurs magnétiques décomposables au moins en quatre cellules magnétiques élémentaires, chaque cellule comportant :

- un noyau magnétique propre à former uniquement un premier et un second circuits magnétiques fermés annulaires ayant une portion commune, ce noyau comportant un barreau magnétique central par l'intermédiaire duquel s'établit la portion commune aux deux circuits magnétiques fermés, et au moins deux barreaux non colinéaires présentant chacun une face plane tournée vers l'extérieur de la cellule et les lignes de champ du premier ou du second circuit magnétique fermé à l'intérieur de ces barreaux étant parallèles à leur face plane,
- un ou plusieurs bobinages, chacun de ces bobinages étant enroulés autour du barreau central de manière à laisser au moins les deux barreaux avec une face plane, libre de tout bobinage, et
- les cellules élémentaires sont accolées deux par deux par l'intermédiaire de leurs faces planes respectives de manière à former des paires de premières et de secondes cellules accouplées magnétiquement les unes aux autres.

**[0006]** Les procédés d'alimentation de ces coupleurs magnétiques consistent à :

a) alimenter le ou chaque bobinage de la première cellule avec l'une des tensions ou courants d'alimentation de manière à produire un flux magnétisant dans le barreau accolé de la première cellule avec la seconde cellule, dont la composante fondamentale présente un décalage angulaire  $x_i$ , et

b) alimenter le ou chaque bobinage de la seconde cellule avec l'une des tensions ou courants d'alimentation de manière à produire un flux magnétisant dans le barreau de la seconde cellule accolé avec la première cellule, dont la composante fondamentale présente un décalage angulaire  $x_j$ .

**[0007]** La valeur absolue de la différence  $x_i - x_j$  est égale à  $\frac{2\pi}{N}$  rad.

**[0008]** Les coupleurs magnétiques ainsi alimentés fonctionnent correctement mais sont encombrants.

**[0009]** L'invention vise donc à proposer un procédé d'alimentation de ces coupleurs magnétiques permettant, à performances égales, de réduire l'encombrement des coupleurs magnétiques.

**[0010]** L'invention a donc pour objet un procédé d'alimentation de ces coupleurs magnétiques dans lequel la valeur

absolue de la différence entre les décalages angulaires  $x_i$  et  $x_j$  est supérieure ou égale à  $\frac{4\pi}{N}$  rad.

5 **[0011]** Il a été observé que le fait d'imposer un décalage angulaire supérieur ou égal à  $\frac{4\pi}{N}$  rad entre les décalages angulaires  $x_i$  et  $x_j$  réduit le flux magnétique maximal traversant les barreaux accolés. En effet, on se rapproche ainsi d'un décalage angulaire de  $\pi$  rad, ce qui correspond à une réduction optimale du flux magnétique maximal observable dans les barreaux accolés.

10 **[0012]** Puisque le flux magnétique maximal traversant les barreaux accolés est réduit, il est possible de réduire la dimension de ces barreaux de sorte que l'encombrement du coupleur magnétique est également réduit.

**[0013]** De plus, grâce à la distribution uniforme des décalages angulaires des N tensions ou courants d'alimentation, les harmoniques de tension ou de courant dans la charge alimentée par l'intermédiaire de ce coupleur sont réduites.

15 **[0014]** Les modes de réalisation de ce procédé d'alimentation peuvent comporter une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

- la valeur absolue de la différence entre les décalages angulaires  $x_i$  et  $x_j$  est comprise entre  $\pi - \frac{2\pi}{N}$  rad et  $\pi + \frac{2\pi}{N}$  rad pour chaque paire de cellules ;
- chaque bobinage d'une cellule est raccordé en série avec au moins un autre bobinage d'une autre cellule.

25 **[0015]** L'invention a également pour objet un premier mode de réalisation d'un dispositif d'alimentation d'un dipôle électrique, ce dispositif comportant :

- une source d'alimentation à N phases, les décalages angulaires entre les phases étant uniformément réparties entre 0 et  $2\pi$  rad, N étant un nombre entier supérieur ou égal à quatre et  $2\pi$  rad représentant une période de la tension ou du courant périodique,
- un coupleur magnétique décomposable en au moins quatre cellules magnétiques élémentaires, chaque cellule comportant :

- un noyau magnétique propre à former un seul circuit magnétique fermé annulaire, ce noyau comportant à cet effet au moins trois barreaux non colinéaires par l'intermédiaire desquels s'établit le circuit magnétique fermé, au moins deux de ces barreaux présentant chacun une face plane tournée vers l'extérieur de la cellule et les lignes de champ du circuit magnétique fermé à l'intérieur de ces barreaux étant parallèles aux faces planes,
- un ou plusieurs bobinages, chacun de ces bobinages étant enroulé autour d'un barreau du noyau magnétique de manière à laisser au moins les deux barreaux avec une face plane, libres de tout bobinage, et
- les cellules élémentaires sont accolées deux par deux par l'intermédiaire de leurs faces planes respectives de manière à former des paires de premières et de secondes cellules accouplées magnétiquement les unes aux autres, dans lequel :

45 a) le ou chaque bobinage de la première cellule est raccordé à une phase respective de la source d'alimentation de manière à produire, lors du fonctionnement, un flux magnétisant dans le barreau de la première cellule accolée avec la seconde cellule, dont la composante fondamentale présente un décalage angulaire

$x_i$ ,  
et

50 b) le ou chaque bobinage de la seconde cellule est raccordé à une phase respective de la source d'alimentation de manière à produire, lors du fonctionnement, un flux magnétisant dans le barreau de la seconde cellule accolée avec la première cellule, dont la composante fondamentale présente un décalage angulaire

$x_j$ ,

- la valeur absolue de la différence entre les décalages angulaires  $x_i$  et  $x_j$  est supérieure  $\frac{4\pi}{N}$  rad.

55 **[0016]** L'invention a également pour objet un second mode de réalisation d'un dispositif d'alimentation d'un dipôle électrique, ce dispositif comportant :

EP 2 080 203 B1

- une source d'alimentation à N phases, les décalages angulaires entre les phases étant uniformément répartis entre 0 et  $2\pi$  rad, N étant un nombre entier supérieur ou égal à quatre et  $2\pi$  rad représentant une période de la tension ou du courant périodique,
- un coupleur magnétique décomposable en au moins quatre cellules magnétiques élémentaires, chaque cellule comportant :

- un noyau magnétique propre à former uniquement un premier et un second circuits magnétiques fermés annulaires ayant une portion commune, ce noyau comportant un barreau magnétique central par l'intermédiaire duquel s'établit la portion commune aux deux circuits magnétiques fermés, et au moins deux barreaux non colinéaires présentant chacun une face plane tournée vers l'extérieur de la cellule et les lignes de champ du premier ou du second circuit magnétique fermé à l'intérieur de ces barreaux étant parallèles à leur face plane,
- un ou plusieurs bobinages, chacun de ces bobinages étant enroulés autour du barreau central de manière à laisser au moins les deux barreaux avec une face plane, libre de tout bobinage, et
- les cellules élémentaires sont accolées deux par deux par l'intermédiaire de leurs faces planes respectives de manière à former des paires de premières et de secondes cellules accouplées magnétiquement les unes aux autres, dans lequel :

a) le ou chaque bobinage de la première cellule est raccordé à une phase respective de la source d'alimentation de manière à produire, lors du fonctionnement, un flux magnétisant dans le barreau de la première cellule accolée avec la seconde cellule, dont la composante fondamentale présente un décalage angulaire  $x_i$ , et

b) le ou chaque bobinage de la seconde cellule est raccordé à une phase respective de la source d'alimentation de manière à produire, lors du fonctionnement, un flux magnétisant dans le barreau de la seconde cellule accolée avec la première cellule, dont la composante fondamentale présente un décalage angulaire  $x_j$ ,

- la valeur absolue de la différence entre les décalages angulaires  $x_i$  et  $x_j$  est supérieure  $\frac{4\pi}{N}$  rad.

**[0017]** Les modes de réalisation de ces dispositifs d'alimentation peuvent comporter une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

- la valeur absolue de la différence entre les décalages angulaires  $x_i$  et  $x_j$  est comprise entre  $\pi - \frac{2\pi}{N}$  et  $\pi + \frac{2\pi}{N}$
- pour chaque cellule ;
- chaque bobinage de la seconde cellule se déduit du bobinage correspondant de la première cellule par une symétrie axiale le long d'un axe colinéaire aux faces accolées ;
- chaque cellule comporte au moins un premier et un second bobinages enroulés en sens inverse l'un de l'autre autour du même barreau ;
- chaque cellule comporte un premier et un seconde bobinages, le premier bobinage et le second bobinage étant raccordés à des phases respectives de la source d'alimentation de manière à ce que, lors du fonctionnement, le

déphasage angulaire entre les tensions d'alimentation de chacun de ces bobinages est compris entre  $\pi - \frac{2\pi}{N}$

et  $\pi + \frac{2\pi}{N}$  .

**[0018]** L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple non limitatif et faite en se référant aux dessins sur lesquels :

- la figure 1 est un schéma électronique d'un dispositif d'alimentation d'un dipôle électrique par l'intermédiaire d'un coupleur magnétique ;
- la figure 2 est un graphe illustrant la distribution des phases d'une source d'alimentation du dispositif de la figure 1 ;
- la figure 3 est une illustration schématique d'un premier mode de réalisation d'un coupleur magnétique utilisable dans le dispositif de la figure 1 ;
- la figure 4 est une illustration schématique d'une première et d'une seconde cellules magnétiques élémentaires

susceptibles d'être utilisées dans le coupleur magnétique de la figure 3 ;

- la figure 5 est un organigramme d'un procédé d'alimentation du coupleur magnétique de la figure 3 ;
- la figure 6 est un graphe illustrant la distribution des phases d'une source d'alimentation à douze phases,
- la figure 7 est une illustration schématique de l'architecture d'un autre mode de réalisation d'un coupleur magnétique susceptible d'être utilisé dans le dispositif de la figure 1 ;
- les figures 8 à 11 sont des illustrations schématiques de différents modes de réalisation de cellules magnétiques élémentaires susceptibles d'être mises en oeuvre dans les coupleurs magnétiques des figures 3 et 7 ;
- la figure 12 est un schéma électronique d'un autre mode de réalisation d'un dispositif d'alimentation d'un dipôle électrique par l'intermédiaire d'un coupleur magnétique ;
- la figure 13 est une illustration schématique d'un coupleur magnétique utilisable dans le dispositif de la figure 12 ;
- les figures 14 et 15 sont des illustrations schématiques de cellules magnétiques élémentaires susceptibles d'être mises en oeuvre dans le coupleur magnétique de la figure 13 ;
- la figure 16 est un schéma électronique d'un autre mode de réalisation d'un dispositif d'alimentation d'un dipôle électrique par l'intermédiaire d'un coupleur magnétique ;
- les figures 17 et 18 sont des illustrations schématiques de différents modes de réalisation de cellules magnétiques élémentaires susceptibles d'être mises en oeuvre pour réaliser un coupleur magnétique utilisable dans le dispositif de la figure 16 ;
- les figures 19 et 20 sont des schémas électroniques d'un convertisseur DC-DC utilisant le même coupleur magnétique que celui utilisé dans le dispositif de la figure 16.

**[0019]** La figure 1 représente un dispositif 2 d'alimentation d'un dipôle électrique 4. Ici, le dipôle 4 est raccordé au dispositif 2 par l'intermédiaire d'un filtre 6 équipé d'une entrée 8.

**[0020]** Par exemple, le dipôle 4 est une résistance.

**[0021]** Le filtre 6 est, par exemple, un filtre comportant uniquement un condensateur de filtrage 12 raccordé en parallèle aux bornes du dipôle 4. Ici, le dispositif 2 permet d'éviter l'usage d'une inductance de filtrage.

**[0022]** Le dispositif 2 comporte une source 16 de tensions polyphasées et un coupleur magnétique 18 pour raccorder la source 16 au dipôle 4.

**[0023]** La source 16 est une source à N phases, N étant un nombre entier supérieur ou égal à quatre. La source 16 délivre donc N tensions  $V_i$ , où l'indice i est le numéro de la phase compris entre 0 et N-1. Par convention, le décalage

angulaire entre les tensions  $V_0$  et  $V_i$  est pris égal à  $\frac{2\pi i}{N}$  rad. Les décalages angulaires entre les tensions  $V_0$  à  $V_{N-1}$

sont donc uniformément distribués entre 0 et  $2\pi$  rad, comme illustré sur la figure 2.

**[0024]** Sur la figure 2, chaque vecteur correspond à une tension  $V_i$ , le module de ce vecteur correspondant au module du fondamental de tension et l'angle de ce vecteur par rapport à l'axe des abscisses correspondant à son décalage angulaire par rapport au fondamental de la tension  $V_0$ . Comme illustré, lorsque le décalage angulaire des fondamentaux des tensions  $V_0$  à  $V_{N-1}$  est uniformément réparti, l'angle de déphasage entre deux vecteurs de tension successifs sur le graphe de la figure 2 est égal à  $2\pi/N$ .

**[0025]** Ici, les amplitudes des tensions  $V_0$  à  $V_{N-1}$  sont toutes identiques car toutes les tensions  $V_0$  à  $V_{N-1}$  présentent

les mêmes formes d'ondes périodiques décalées les unes par rapport aux autres d'un décalage angulaire égal à  $\frac{2\pi}{N}$  rad.

**[0026]** Sur la figure 1, la source 16 a été représentée sous la forme de N sources de tension monophasées  $S_0$  à  $S_{N-1}$  délivrant les tensions  $V_0$  à  $V_{N-1}$ . A titre d'illustration, le décalage angulaire de la tension générée par chaque source  $S_i$  est réglable pour correspondre à l'une quelconque des tensions  $V_0$  à  $V_{N-1}$ . Les tensions  $V_0$  à  $V_{N-1}$  ne sont pas générées dans l'ordre par les sources  $S_0$  à  $S_{N-1}$  comme on le verra par la suite.

**[0027]** Pour simplifier la figure 1, seules trois sources de tension  $S_0$ ,  $S_1$  et  $S_{N-1}$  ont été représentées.

**[0028]** La source 16 est, par exemple, un réseau d'alimentation polyphasé, un hacheur ou un onduleur de tensions polyphasé, un redresseur de tensions commandable formé de diodes et de thyristors ou encore un étage primaire d'une alimentation « flyback ». Ces tensions périodiques  $V_i$  ne sont pas nécessairement sinusoïdales mais sont, par exemple, rectangulaires ou triangulaires et peuvent comporter une composante continue.

**[0029]** Le coupleur 18 comporte dans ce mode de réalisation N transformateurs monophasés  $Tr_0$  à  $Tr_{N-1}$ . Chaque transformateur est formé d'un bobinage primaire  $e_{1j}$  et d'un bobinage secondaire  $e_{2j}$  adjacents couplés magnétiquement l'un à l'autre par l'intermédiaire d'un noyau magnétique  $n_i$ , où j est le même indice que celui précédemment utilisé.

**[0030]** Chaque transformateur forme un couple de bobinages magnétiquement couplés l'un à l'autre par l'intermédiaire du noyau magnétique  $n_i$ .

- [0031]** Pour simplifier la figure, seuls trois transformateurs  $Tr_0$ ,  $Tr_1$  et  $Tr_{N-1}$  ont été représentés sur la figure 1.
- [0032]** Chaque bobinage primaire en est directement raccordé par une extrémité à la source  $S_i$ .
- [0033]** Le bobinage secondaire  $e_{2i}$  de chaque transformateur  $Tr_i$  est raccordé à la source  $S_{i-1}$  par l'intermédiaire du bobinage primaire  $e_{1,i-1}$  du transformateur  $Tr_{i-1}$ . Dans le cas où l'indice  $i$  est égal à 0, le bobinage secondaire  $e_{20}$  est  
5 raccordé à la source  $S_{N-1}$  par l'intermédiaire du bobinage  $e_{1,N-1}$  du transformateur  $Tr_{N-1}$ .
- [0034]** L'extrémité de chaque bobinage secondaire qui n'est pas raccordée à l'une des sources  $S_i$  est directement raccordée à un point commun 24 lui-même directement raccordé à l'entrée 8 du filtre 6.
- [0035]** Le coupleur magnétique 18 va maintenant être décrit plus en détail en regard des figures 3 et 4 dans le cas particulier où le nombre  $N$  de phases est égal à douze.
- [0036]** La figure 3 représente une coupe transversale du coupleur 18. Ce coupleur 18 est formé de douze cellules magnétiques élémentaires  $C_0$  à  $C_{11}$  accolées les unes aux autres dans une direction horizontale  $L$ . Chaque cellule  $C_i$  correspond à un transformateur  $Tr_i$ .
- [0037]** Deux cellules adjacentes  $C_i$  et  $C_j$  sont représentées plus en détail sur la figure 4.
- [0038]** Chaque cellule  $C_i$  comprend un noyau magnétique  $ni$  dont la section transversale est en forme d'échelle ou de « 8 ». A cet effet, le noyau magnétique est formé de six barreaux latéraux  $B_{1,i}$  à  $B_{6,i}$  et d'un barreau central  $B_{c,i}$ . Les barreaux  $B_{1,i}$  et  $B_{2,i}$  forment le montant gauche  $M_{Gi}$  de l'échelle. Les barreaux  $B_{4,i}$  et  $B_{5,i}$  forment le montant droit  $M_{Di}$ . Les montants  $M_{Gi}$  et  $M_{Di}$  peuvent être formés d'un seul bloc.
- [0039]** Le barreau  $B_{c,i}$  est un barreau central horizontal tandis que les barreaux  $B_{3,i}$  et  $B_{6,i}$  sont des barreaux horizontaux situés respectivement en haut et en bas des montants  $M_{Gi}$  et  $M_{Di}$ .
- [0040]** La section transversale de chacun des montants ou barreaux est sensiblement rectangulaire.
- [0041]** Plus précisément, les barreaux latéraux  $B_{1,i}$  à  $B_{6,i}$  présentent chacun une face plane, respectivement  $F_{1,i}$  à  $F_{6,i}$  tournée vers l'extérieur de la cellule  $C_i$ .
- [0042]** Le noyau  $ni$  présente deux fenêtres ou évidements 32 et 34 respectivement situées au-dessus et en dessous du barreau central  $B_{c,i}$ .
- [0043]** La cellule  $C_i$  comporte également deux bobinages 36 et 38 enroulés autour du barreau central  $B_{c,i}$ . Les bobinages 36 et 38 sont enroulés en sens inverse l'un de l'autre. De préférence, chaque bobinage comporte plusieurs spires.
- [0044]** Le sens d'enroulement des spires de chaque bobinage est défini à l'aide d'un point entouré d'un cercle et d'un cercle comportant une croix. Le point entouré d'un cercle indique qu'un vecteur sort du plan de la feuille, tandis qu'un rond comportant une croix indique que ce vecteur rentre dans le plan de la feuille.
- [0045]** Dans la suite, on considère que les bobinages enroulés dans le sens des aiguilles d'une montre, lorsque l'on regarde à partir du côté droit du coupleur 18 de la figure 3, tournent dans le sens positif. Les bobinages enroulés en sens inverse tournent dans le sens négatif. On définit alors les deux notations suivantes «  $V_i$  » et «  $-V_i$  ». «  $V_i$  » est la tension d'alimentation d'un bobinage enroulé dans le sens positif. «  $-V_i$  » est la tension d'alimentation d'un bobinage enroulé dans le sens négatif.
- [0046]** Chacun de ces bobinages 36, 38 correspond à un bobinage  $e_{2i}$  ou  $e_{1i}$  du coupleur 18. Pour cette raison, sur la figure 3, chaque bobinage d'une cellule porte la référence  $e_{1i}$  ou  $e_{2i}$ . De plus, sur la figure 3, seule la direction d'enroulement de chaque bobinage a été représentée.
- [0047]** Le noyau  $ni$  concentre les lignes de champ du champ magnétique créé par les bobinages 36 et 38. Ces lignes de champ forment un flux magnétisant. Sur la figure 4, deux flèches représentent deux lignes de champ de flux magnétisant  $E_{Hi}$  et  $E_{Bi}$  créé par les bobinages 36 et 38 à l'intérieur du noyau  $ni$ . Ces flèches représentent également la convention de signe suivante : lorsque l'amplitude du fondamental du flux magnétisant  $E_{Hi}$  est positive, on considère que les lignes de ce champ  $E_{Hi}$  tournent dans le sens positif si celles-ci tournent dans le sens des aiguilles d'une montre. Lorsque l'amplitude du fondamental du flux magnétisant  $E_{Bi}$  est positive, on considère que les lignes de ce champ  $E_{Bi}$  tournent dans le sens positif, si celles-ci tournent dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. Cette convention de signe est  
45 identique pour toutes les cellules  $C_i$  du coupleur. On note également  $w_i$  les décalages angulaires des composantes fondamentales des flux magnétiques  $E_{Hi}$  et  $E_{Bi}$  par rapport à une même référence. Avec cette convention de signe, on remarque que le même flux magnétisant peut être défini comme se déplaçant dans le sens positif avec un décalage  $w_i$  ou comme se déplaçant dans le sens négatif avec un décalage  $w_i + \pi$ .
- [0048]** Plus précisément, la ligne de champ du flux  $E_{Hi}$  entre par la droite du barreau central  $B_{c,i}$  et se referme en passant par le barreau  $B_{6,i}$  du haut lorsqu'elle tourne dans le sens positif. La ligne de champ  $E_{Bi}$  rentre également par la droite du barreau  $B_{c,i}$  et se referme par l'intermédiaire du barreau  $B_{3,i}$  du bas, lorsqu'elle tourne dans le sens positif. Ces lignes de champ  $E_{Hi}$  et  $E_{Bi}$  correspondent à un flux magnétisant créé par les bobinages 36 et 38.
- [0049]** Ainsi, le noyau  $ni$  permet à deux circuits magnétiques fermés annulaires de s'établir. Ces circuits magnétiques fermés ont une partie commune, c'est-à-dire le barreau  $B_{c,i}$ .
- [0050]** Comme cela sera expliqué plus loin, l'amplitude et la phase du fondamental de ce flux magnétisant est fonction des décalages angulaires des tensions d'alimentation des bobinages 36 et 38.
- [0051]** La cellule  $C_j$  se déduit de la cellule  $C_i$  par une symétrie axiale. Ainsi, la cellule  $C_j$  est structurellement identique à la cellule  $C_i$  à l'exception du fait que la position des bobinages 36 et 38 a été permutée par rapport à celle des bobinages

36 et 38 de la cellule Ci.

**[0052]** Lorsque les bobinages de la cellule C<sub>j</sub> sont alimentés, des lignes de champ E<sub>Hj</sub> et E<sub>Bj</sub> apparaissent dans le noyau de la cellule C<sub>j</sub>. La même convention de signe que celle définie pour la cellule Ci s'applique à la cellule C<sub>j</sub>.

**[0053]** La totalité du champ magnétique généré par les bobinages 36 et 38 n'est pas concentrée à l'intérieur du noyau ni. Comme l'illustrent des flèches F<sub>Hi</sub> et F<sub>Bi</sub>, des lignes de champ magnétique de fuite apparaissent autour du bobinage 36. Ces lignes correspondent à un flux magnétique de fuite. Contrairement au flux magnétisant, les lignes de champ du flux magnétique de fuite comportent au moins une section qui s'étend en dehors du noyau ni. Par exemple, ici, les lignes du flux magnétique de fuite traversent fenêtres 32, 34 pour se refermer. Par exemple, les fenêtr 32, 34 sont formées d'air.

**[0054]** Dans ce mode de réalisation, les faces F<sub>4,i</sub>, F<sub>5,i</sub> de 1 cellule Ci sont accolées, et plus précisément mises en contact, avec, respectivement, les faces F<sub>2,j</sub> et F<sub>1,j</sub> de la cellule C<sub>j</sub>. Ainsi, les flux magnétisants E<sub>Hi</sub>, E<sub>Hj</sub> et E<sub>Bi</sub>, E<sub>Bj</sub> se combinent dans les montants N<sub>Di</sub> et M<sub>Gj</sub>.

**[0055]** Les montants M<sub>Di</sub> et M<sub>Gj</sub> sont, par exemple, collés ou solidarisés l'un avec l'autre par tout moyen permettant de maintenir un contact rapproché entre ces deux montants.

**[0056]** Les flèches S<sub>H</sub> et S<sub>B</sub> définissent une convention de signe commune aux flux magnétisants circulant dans les barreaux accolés. Plus précisément, cette convention de signe commune permet de comparer des décalages angulaires des flux magnétisants dans chaque cellule.

**[0057]** Avec cette convention de signe commune, on note :

- x<sup>d</sup><sub>i</sub> le décalage angulaire des flux magnétisants E<sub>Hi</sub> et E<sub>Bi</sub> dans le barreau de la cellule Ci accolée à la cellule C<sub>j</sub>, et
- x<sup>g</sup><sub>j</sub> le décalage angulaire des flux magnétisants E<sub>Hj</sub> et E<sub>Bj</sub> dans les barreaux accolés à ceux de la cellule Ci. Avec ces notations, on remarquera que sur la figure 4 le décalage x<sup>d</sup><sub>i</sub> est égal au décalage w<sub>i</sub> car les conventions de signe utilisées pour définir ces décalages w<sub>i</sub> et x<sub>i</sub> sont dans le même sens. Par contre, le décalage x<sup>g</sup><sub>j</sub> est égal au décalage w<sub>j</sub>+π rad car les conventions de signe utilisées pour définir les décalages w<sub>j</sub> et x<sup>g</sup><sub>j</sub> sont en sens opposé.

**[0058]** La figure 4 représente également une surface O<sub>i,j</sub> située à l'intersection des montants M<sub>Di</sub> et M<sub>Gj</sub> et perpendiculaire au plan de la feuille. Cette surface O<sub>i,j</sub> est traversée par les flux magnétisants E<sub>Bi</sub> et E<sub>Bj</sub>. A sens de déplacement identique pour les flux E<sub>Bi</sub> et E<sub>Bj</sub>, plus le décalage angulaire x<sub>i</sub> du fondamental du flux magnétisant E<sub>Bi</sub> sera éloigné du décalage angulaire x<sub>j</sub> du fondamental du flux magnétisant E<sub>Bj</sub> plus le flux magnétisant maximal traversant la surface O<sub>i,j</sub> sera faible. Or, plus le flux magnétisant maximal traversant la surface O<sub>i,j</sub> est faible, plus la section horizontale des barreaux B<sub>4,i</sub> et B<sub>2,j</sub> peut être réduite, ce qui réduit l'encombrement du coupleur 18. Les mêmes explications s'appliquent à la réduction de l'encombrement des barreaux B<sub>5,i</sub> et B<sub>1,j</sub>.

**[0059]** Le coupleur 18 comprend uniquement des cellules accouplées par paires dans la direction horizontale L, c'est-à-dire accouplées les unes aux autres par l'intermédiaire des faces de leurs montants, comme cela a été décrit en regard de la figure 4.

**[0060]** La conception et le fonctionnement du dispositif 2 vont maintenant être décrit en regard de la figure 5.

**[0061]** Initialement, lors d'une étape 40 de conception du coupleur 18, des cellules magnétiques élémentaires toutes identiques les unes aux autres sont construites. Par exemple, à ce stade chacune de ces cellules est identique à la cellule Ci décrite en regard de la figure 4. Ensuite, les règles suivantes sont appliquées :

a) on choisit les tensions d'alimentation V<sub>i</sub> de chaque bobinage d'une cellule Ci pour qu'un décalage angulaire α<sub>i</sub>

entre les tensions d'alimentation des deux bobinages de cette même cellule soit compris entre  $\pi - \frac{2\pi}{N}$  et

$$\pi + \frac{2\pi}{N} \text{ rad, et}$$

b) on accouple chaque cellule Ci avec la cellule adjacente C<sub>j</sub> qui génère avant collage dans les barreaux du montant

gauche B<sub>1j</sub> et B<sub>2j</sub> les flux magnétisants E<sub>Hj</sub> et E<sub>Bj</sub> dont le décalage angulaire x<sub>j</sub> est compris entre  $x_i + \frac{2\pi}{N} + \pi$

et  $x_i - \frac{2\pi}{N} + \pi$ .

**[0062]** La règle a) correspond à l'application de l'enseignement de la demande de brevet française déposée sous le

EP 2 080 203 B1

numéro FR 05 07 136 et permet de limiter encore plus l'encombrement du coupleur 18.

**[0063]** A titre d'exemple, l'application de la règle a) conduit à sélectionner pour chaque cellule la paire de tension  $V_i$  indiquée dans le tableau suivant :

5 Table 1 : voir annexe à la fin de la description.

**[0064]** Dans la table 1, le symbole  $C_i$  identifie la cellule. Dans chaque colonne  $C_i$ , les symboles  $V_i$  à gauche et à droite identifient les tensions correspondantes des bobinages, respectivement à droite et à gauche, de la cellule  $C_i$ .

10 **[0065]** Puisque l'amplitude des tensions d'alimentation  $V_i$  sont toutes identiques et le décalage angulaire  $\alpha_i$  étant le même pour chacune des cellules  $C_i$ , alors l'amplitude du fondamental du flux magnétisant généré par chacune des cellules est identique. Ainsi, l'application de la règle b) consiste à :

1) estimer, lors d'une opération 42, le décalage angulaire  $w_i$  du flux magnétisant généré par chaque cellule  $C_i$  à partir des tensions d'alimentation de la table 1, et

15 2) accoler, lors d'une opération 44, chaque cellule  $C_i$  avec une autre cellule  $C_j$  de manière à ce que la valeur absolue de la différence  $\gamma$  entre les décalages angulaires  $x_i$  et  $x_j$  des flux magnétisants dans les barreaux accolés, soit

20 comprise entre  $\pi - \frac{2\pi}{N}$  et  $\pi + \frac{2\pi}{N}$ .

**[0066]** L'estimation du décalage angulaire  $w_i$  va maintenant être expliquée à l'aide de la figure 6 dans le cas particulier de la cellule  $C_0$ .

**[0067]** La figure 6 correspond au graphe de la figure 2 dans le cas où  $N$  égal douze.

25 **[0068]** D'après la table 1, les tensions  $V_0$  et  $V_5$  sont utilisées pour alimenter respectivement les bobinages 36 et 38 de la cellule  $C_0$ .

**[0069]** Le décalage angulaire  $w_i$  du flux magnétisant peut être estimé par la somme vectorielle du vecteur de tension  $\vec{V}_0$  et du vecteur  $-\vec{V}_5$ . Le résultat de cette somme vectorielle est représenté sur la figure 6 par une flèche  $F$  en pointillés.

30 **[0070]** Cette flèche  $F$  fait un angle  $w$  de  $\frac{-\pi}{12}$  rad avec l'axe des abscisses. Cet angle  $w$  correspond à une estimation du décalage angulaire  $w_0$ .

**[0071]** On remarquera que pour obtenir ce résultat il est nécessaire de prendre l'inverse du vecteur de tension  $\vec{V}_5$  car le bobinage 38 est enroulé dans le sens négatif.

35 **[0072]** Dans le cas du coupleur 18, à l'issue de l'opération 42, on obtient la table 2 suivante dans laquelle les décalages  $w_i$  sont indiqués sur la seconde ligne :

Table 2

40

$C_0$	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$	$C_8$	$C_9$	$C_{10}$	$C_{11}$
$-\frac{\pi}{12}$	$\frac{9\pi}{12}$	$\frac{19\pi}{12}$	$\frac{5\pi}{12}$	$\frac{15\pi}{12}$	$\frac{\pi}{12}$	$\frac{11\pi}{12}$	$\frac{21\pi}{12}$	$\frac{7\pi}{12}$	$\frac{17\pi}{12}$	$\frac{3\pi}{12}$	$\frac{13\pi}{12}$

45 **[0073]** Ensuite, lors de l'opération 44, les cellules  $C_i$  sont classées par ordre croissant ou décroissant de décalage angulaire  $w_i$ .

**[0074]** Dans le cas présent, la liste de cellules classées par ordre croissant de décalages angulaires  $w_i$  est la suivante :

50  $\{C_0, C_5, C_{10}, C_3, C_8, C_1, C_6, C_{11}, C_4, C_9, C_2, C_7\}$ .

**[0075]** A ce stade là, dans un premier mode de réalisation, les cellules sont accolées les unes aux autres selon la direction horizontale  $L$  dans l'ordre croissant indiqué ci-dessus. Ainsi, les barreaux  $B_{5i}$  et  $B_{4i}$  de la cellule  $C_i$  sont accolés, respectivement, aux barreaux  $B_{1,j}$  et  $B_{2,j}$  de la cellule  $C_j$  suivante.

55 **[0076]** Dans ce premier mode de réalisation, on vérifie que la différence  $\gamma$  entre les décalages angulaires  $x^d_i$  et  $x^g_j$  est proche de  $\pi$  rad. Par exemple, le décalage angulaire  $w_0$  est ici égal à  $-\pi/12$  tandis que le décalage angulaire  $w_5$  est égal à  $\pi/12$  rad. Le décalage  $x^d_i$  dans le barreau  $B_{50}$  est donc égal à  $-\pi/12$  rad. Le décalage  $x^g_5$  dans le barreau  $B_{15}$  est quant à lui égal à  $w_5 + \pi$ , c'est-à-dire à  $\pi/12 + \pi$ , car dans le barreau  $B_{15}$ , la convention de signe adoptée pour définir le décalage du flux  $E_{H5}$  est en sens inverse de la flèche  $S_H$ . La différence  $\gamma$  est donc égale ici à  $\pi + 2\pi/12$  rad.

EP 2 080 203 B1

[0077] Dans ce premier mode de réalisation, les décalages  $w_i$  sont répartis sur  $360^\circ$  et les composantes continues des flux magnétisants dans les barreaux accolés ne s'annulent pas.

[0078] Pour obtenir un second mode de réalisation du coupleur dans lequel les différences  $\gamma$  se rapprochent encore plus de  $\pi$  rad, on procède à une étape 46 de permutation des tensions d'alimentation.

5 [0079] Plus précisément, lors de l'étape 46, à l'aide de la table 2, on répartit les cellules en deux moitiés de sorte que le décalage angulaire  $w_i$  de chaque cellule de la première moitié est inférieur à tous les décalages angulaires  $w_i$  des cellules de la seconde moitié. Par exemple, ici, la seconde moitié est formée des six dernières cellules du classement par ordre croissant précédemment indiqué, c'est-à-dire ici les cellules  $C_6, C_{11}, C_4, C_9, C_2$  et  $C_7$ .

10 [0080] Ensuite, la tension d'alimentation du bobinage de gauche de chacune des cellules de cette seconde moitié est permutée avec la tension d'alimentation du bobinage de droite de cette même cellule. Cette permutation des tensions d'alimentation ne change pas la position des bobinages 36 et 38. Ainsi, à l'aide des notations définies en regard de la table 1, cette opération de permutation des tensions d'une cellule permet de passer du couple de tensions d'alimentation  $(V_a, -V_b)$  au couple d'alimentation  $(V_b, -V_a)$ .

15 [0081] Par contre, l'opération de permutation des tensions inverse le sens dans lequel tourne la composante fondamentale du flux magnétisant. Le décalage angulaire  $w_i$  de chaque cellule permutée est donc incrémenté de  $\pi$  rad. La table 3 ci-dessous indique sur la deuxième ligne, le décalage angulaire  $w_i$  de chaque cellule  $C_i$  à l'issue de l'étape 46 :

Table 3

20

$C_0$	$C_5$	$C_{10}$	$C_3$	$C_8$	$C_1$	$C_6$	$C_{11}$	$C_4$	$C_9$	$C_2$	$C_7$
$-\frac{\pi}{12}$	$\frac{\pi}{12}$	$\frac{3\pi}{12}$	$\frac{5\pi}{12}$	$\frac{7\pi}{12}$	$\frac{9\pi}{12}$	$-\frac{\pi}{12}$	$\frac{\pi}{12}$	$\frac{3\pi}{12}$	$\frac{5\pi}{12}$	$\frac{7\pi}{12}$	$\frac{9\pi}{12}$

25 [0082] On constate que les décalages angulaires de l'ensemble des cellules sont maintenant répartis sur  $180^\circ$  et non plus  $360^\circ$ .

[0083] Ensuite, toujours lors de l'étape 46, les cellules  $C_i$  ainsi obtenues sont de nouveau classées par ordre croissant de décalage angulaire  $w_i$ . On obtient alors le classement suivant :

30  $\{C_0, C_6, C_5, C_{11}, C_{10}, C_4, C_3, C_9, C_8, C_2, C_1, C_7\}$ .

[0084] Dans ce second mode de réalisation, les cellules  $C_i$  ainsi obtenues sont alors accolées selon la direction horizontale L dans l'ordre indiqué ci-dessus.

35 [0085] La table 4 (voir annexe) reprend sur la première ligne l'ordre des cellules pour ce second mode de réalisation. La deuxième ligne indique à quelle tension sont raccordés chacun des bobinages de chaque cellule.

[0086] On vérifie que, dans ce second mode de réalisation, la différence  $\gamma$  obtenue est plus proche de  $\pi$  rad que dans le premier mode de réalisation. Par exemple, les décalages angulaires  $w_0$  et  $w_6$  des cellules accolées  $C_0$  et  $C_6$  sont tous les deux égaux à  $-\pi/12$  rad. Par conséquent, le décalage angulaire  $x_{10}^d$  dans le barreau  $B_{50}$ , avant collage, est égal à  $-\pi/12$  rad. Le décalage angulaire  $x_{16}^g$  dans le barreau  $B_{16}$ , avant collage, est égal quant à lui à  $-\pi/12 + \pi$ . En effet, comme précédemment, la convention de signe servant à définir le décalage  $w_6$  est en sens opposé de la flèche  $S_H$ . Dès lors, dans le barreau  $B_{16}$ , le décalage  $x_{16}^g$  est donné par la relation suivante :  $X_{16}^g = W_6 + \pi$ .

[0087] La différence  $\gamma$  est égale à  $\pi$  rad.

45 [0088] On notera également que la différence  $\gamma$  entre les barreaux accolés des cellules  $C_6$  et  $C_5$  est égale quant à elle à  $\pi + 2\pi/12$  rad.

[0089] Ainsi, l'amplitude maximale du fondamental du flux magnétisant dans les montants accolés d'une paire de cellules est sensiblement nulle. De plus, l'amplitude maximale du flux magnétisant généré à l'intérieur des montants accolés de deux cellules appartenant à des paires différentes est fortement réduite. Ceci permet de réduire fortement la section de ces montants et donc l'encombrement du coupleur 18.

50 [0090] Ce second mode de réalisation permet donc de rapprocher encore plus la différence  $\gamma$  de  $\pi$  rad. Toutefois, ni le premier ni le second mode de réalisation ne permettent d'annuler les composantes continues des flux magnétisants dans les barreaux accolés.

[0091] Pour annuler cette composante continue dans les barreaux accolés, on procède alors à une étape 48 de permutation de la position des bobinages. L'étape 48 est ici appliquée à une cellule sur deux. L'étape 48 peut être réalisée après l'étape 46 ou directement à l'issue de l'étape 40.

55 [0092] Lors de l'étape 48, les deux premières cellules de la liste des cellules classées par ordre croissant sont regroupées pour former une première paire, puis les deux cellules suivantes sont regroupées pour former une seconde paire et ainsi de suite.

**[0093]** Ensuite, pour chaque second élément de chaque paire, on permute la position des deux bobinages de la cellule par rapport à celle prise en compte pour l'opération de classement. Par exemple, dans le cas de la cellule  $C_6$ , lors de l'opération 46, les bobinages 36 et 38 sont, respectivement, à gauche et à droite de la cellule. Une fois que ces positions ont été permutées, les bobinages 36 et 38 sont, respectivement, à droite et à gauche de la cellule.

**[0094]** Suite à une telle permutation, les bobinages immédiatement à droite et à gauche d'un barreau accolé sont enroulés dans le même sens. Une telle configuration réduit ou annule les composantes continues des flux magnétisants dans les barreaux accolés. Par ailleurs, la permutation de la position des bobinages ne modifie pas le décalage angulaire  $w_i$  de la cellule car les bobinages 36 et 38 restent alimentés par les mêmes tensions. Enfin, seule la position des bobinages est modifiée. Dans ces conditions, l'étape 48 permet, en plus de la réduction de l'amplitude maximale de la composante fondamentale du flux magnétisant dans les barreaux accolés, de réduire également la composante continue dans ces mêmes barreaux accolés.

**[0095]** Par exemple, la table 5 suivante indique les tensions d'alimentation de chaque cellule du coupleur obtenue à l'issue des étapes 46 et 48. La première ligne indique l'ordre des cellules. La seconde ligne indique les tensions d'alimentation des enroulements à droite et à gauche de chaque cellule.

Table 5 (voir annexe)

**[0096]** Après sa conception, lors d'une étape 50, le décalage angulaire de chaque source  $S_0$  à  $S_{N-1}$  est réglé pour que la tension d'alimentation des bobinages primaires  $e_{1i}$ ,  $e_{2i}$  de chaque cellule  $C_i$  correspondant à celui déterminé lors de l'étape 40 de conception.

**[0097]** Ensuite, lors d'une étape 52, les bobinages de chaque cellule sont alimentés à l'aide de la source 16 ainsi réglée. Ceci permet d'alimenter le dipôle 4 à partir d'une source polyphasée.

**[0098]** Le coupleur 18 a été décrit dans le cas particulier où celui-ci est formé de douze cellules. Toutefois, ce qui a été décrit ci-dessus s'applique à tout coupleur magnétique formé d'au moins quatre cellules. A titre d'exemple, les tableaux 6 et 7 suivants décrivent la configuration de coupleurs magnétiques ayant de 4 à 20 cellules obtenus en réalisant les opérations 46 et 48.

**[0099]** Plus précisément, dans chacun de ces tableaux 6 et 7, la colonne « N » indique le nombre de cellules totales et, les colonnes suivantes indiquent pour chaque cellule  $C_i$  quelles sont les tensions d'alimentation à utiliser pour alimenter ses bobinages. Dans ces tableaux, chaque colonne  $C_i$  est divisée en deux sous-colonnes. Les sous-colonnes de gauche et de droite indiquent respectivement à quelle tension d'alimentation les bobinages à gauche et à droite de cette cellule doivent être raccordés. Dans ces sous-colonnes, la valeur absolue du nombre indiqué  $j$  indique que ce bobinage doit être alimenté par la tension  $V_{j-1}$ . Le signe «-» présent devant le nombre  $j$  indique simplement que ce bobinage est bobiné dans le sens négatif.

Tableau 6 (voir annexe)

Tableau 7 (voir annexe)

**[0100]** La figure 7 représente un coupleur magnétique 50 susceptible d'être utilisé en lieu et place du coupleur 18 dans le dispositif 2.

**[0101]** Ce coupleur 50 comporte également douze cellules  $C_i$  respectivement identiques aux cellules  $C_i$  du coupleur 18. Contrairement au coupleur 18, les cellules  $C_i$  du coupleur 50 sont accolées non seulement dans la direction horizontale L comme dans le coupleur 18 mais également dans une direction verticale H.

**[0102]** Plus précisément, chaque paire de cellules  $(C_0 ; C_6)$  ;  $(C_5 ; C_{11})$  ;  $(C_{10} ; C_4)$  ;  $(C_3 ; C_9)$  ;  $(C_8 ; C_2)$  et  $(C_1 ; C_7)$  sont accolées dans une direction horizontale par l'intermédiaire de leurs montants verticaux respectifs. De plus, chaque paire de cellules est également accolée selon la direction verticale H à une autre paire de cellules par l'intermédiaire de leurs barreaux horizontaux. L'accolage des cellules selon la direction verticale est réalisé comme dans la direction horizontale c'est-à-dire, par exemple, par mise en contact direct des faces planes des barreaux latéraux de ces cellules. La fixation de ces cellules selon la direction verticale peut être réalisée par collage ou par tout autre moyen.

**[0103]** Comme pour le coupleur 18, les tensions d'alimentation de chacun des bobinages de chaque cellule sont déterminés en fonction des décalages angulaires  $w_i$  des flux magnétisants.

**[0104]** Par exemple, lors de la conception du coupleur 50, on procède de façon identique à ce qui a été décrit en regard des opérations 42 à 48 jusqu'à obtenir la table 5. Ensuite, en alternance, pour une paire de cellules sur deux, on réalise les opérations suivantes :

- permutation des tensions d'alimentation de chacune des cellules de ces paires, et
- permutation de la position des bobinages de chacune de ces cellules.

**[0105]** Ici, ces opérations sont donc appliquées aux paires de cellules suivantes :  $\{C_5 ; C_{11}\}$ ,  $\{C_3 ; C_9\}$  et  $\{C_1 ; C_7\}$ .

**[0106]** L'opération de permutation des tensions d'alimentation est identique à l'opération 46 et permet donc d'ajouter un décalage de  $\pi$ rad permettant d'annuler la composante fondamentale dans les barreaux horizontaux accolés.

**[0107]** L'étape de permutation des bobinages est identique à l'opération 48 et permet donc d'annuler la composante continue du flux magnétisant dans les barreaux horizontaux accolés.

**[0108]** A l'issue de ces étapes, on obtient la répartition des tensions pour chaque cellule indiquée dans la table suivante :

Table 8 (voir annexe)

- 5 **[0109]** On vérifie alors que la différence  $\gamma$  entre, par exemple, le décalage  $x_5$  dans le barreau  $B_{65}$  et le décalage  $x_0$  dans le barreau  $B_{30}$  est proche de  $\pi$  rad. Ici,  $w_0$  et  $w_5$  sont respectivement égaux à  $-\pi/12$  et à  $\pi/12+\pi$ . En prenant comme convention de signe commune aux barreaux  $B_{30}$  et  $B_{65}$ , que le flux magnétisant est positif lorsqu'il se déplace de la gauche vers la droite dans les barreaux accolés, on obtient  $x_0^b = -\pi/12$  rad et  $x_5^h = \pi/12 + \pi$ , où  $x_0^b$  et  $x_5^h$  sont respectivement les décalages angulaires dans les barreaux  $B_{30}$  et  $B_{65}$ . Donc la différence  $\gamma$  est égale à  $\pi$  rad.
- 10 **[0110]** Ainsi, dans le coupleur 50, l'encombrement des montants verticaux accolés et des barreaux horizontaux accolés peut être fortement réduit.
- [0111]** La figure 8 représente un autre mode de réalisation de cellules  $C'_i$  et  $C''_j$  utilisables respectivement en lieu et place des cellules  $C_i$  et  $C_j$ .
- [0112]** La structure de la cellule  $C'_i$  est identique à celle de la cellule  $C_i$  à l'exception du fait que le bobinage 36 est bobiné autour du bobinage 38 et non plus à côté. Par exemple, le bobinage 36 est bobiné sur la périphérie du bobinage 38.
- 15 **[0113]** Par exemple, la cellule  $C'_j$  est identique à la cellule  $C_j$ .
- [0114]** Les figures 9 à 11 représentent respectivement des cellules  $A_i$ ,  $A'_i$  et  $A''_i$  comprenant un noyau 60 ayant une section transversale annulaire selon un plan vertical. Ici, le noyau 60 est formé de deux barreaux horizontaux et de deux barreaux verticaux.
- 20 **[0115]** Ces cellules  $A_i$ ,  $A'_i$  et  $A''_i$  comportent chacune uniquement deux bobinages 62 et 64 enroulés en sens inverse l'un de l'autre. Dans les cellules  $A_i$  et  $A''_i$ , les bobinages 62 et 64 sont enroulés autour d'un même barreau. Dans la cellule  $A_i$ , le bobinage 62 est uniquement enroulé autour d'une partie haute du barreau vertical tandis que le bobinage 64 est uniquement enroulé autour d'une partie basse de ce même barreau.
- [0116]** Dans la cellule  $A''_i$ , le bobinage 64 est enroulé autour du bobinage 62 et, de préférence, autour de la périphérie du bobinage 62.
- 25 **[0117]** Dans la cellule  $A'_i$ , le bobinage 62 est uniquement enroulé autour d'un barreau vertical de la cellule tandis que le bobinage 64 est uniquement enroulé autour de l'autre barreau vertical de la cellule.
- [0118]** Les barreaux libres de tout enroulement des cellules  $A_i$ ,  $A'_i$  et  $A''_i$  présentent chacun une face plane tournée vers l'extérieur de la cellule. Ces faces planes permettent d'accoler les unes aux autres les cellules pour former un coupleur magnétique. La tension d'alimentation de chacun de ces bobinages est choisie en fonction du décalage angulaire  $x_i$  du fondamental du flux magnétisant concentré dans les barreaux accolés. A cet effet, l'enseignement donné en regard de la figure 5 est adapté au cas des cellules  $A_i$ ,  $A'_i$  et  $A''_i$  pour minimiser l'amplitude maximale du fondamental du flux magnétisant dans ces barreaux accolés les uns aux autres.
- 30 **[0119]** Enfin, les cellules  $A_i$ ,  $A'_i$  et  $A''_i$  se distinguent des cellules  $C_i$  et  $C'_i$  essentiellement par le fait que dans les cellules  $A_i$ ,  $A'_i$  et  $A''_i$  un seul circuit magnétique fermé annulaire s'établit, alors que dans les cellules  $C_i$  et  $C'_i$ , deux circuits magnétiques fermés annulaires s'établissent par des chemins différents.
- [0120]** La figure 12 représente un autre dispositif 70 d'alimentation du dipôle électrique 4. Ce dispositif 70 comprend à cet effet la source 16 d'alimentation ainsi qu'un coupleur magnétique 72 pour raccorder les  $N$  phases de la source 16 au dipôle 4.
- 40 **[0121]** Plus précisément, le coupleur 72 comprend  $N$  bobinages  $L_i$  formant inductance. Chaque bobinage  $L_i$  est uniquement raccordé d'un côté à la source  $S_i$  et de l'autre côté au point commun 24.
- [0122]** La structure du coupleur 72 est décrite plus en détail en regard de la figure 13 dans le cas particulier où le nombre  $N$  de phases est égal à cinq.
- [0123]** Le coupleur 72 est réalisé par accolement de cinq cellules magnétiques élémentaires  $B_0$  à  $B_4$  identiques dans la direction verticale  $H$ . La cellule  $B_i$  est décrite plus en détail en regard de la figure 14.
- 45 **[0124]** Dans cet exemple, la cellule  $B_i$  comporte un noyau magnétique 74 ayant une section transversale annulaire. Ce noyau 74 est formé uniquement deux barreaux verticaux et deux barreaux horizontaux. Ici, les trois barreaux dépourvus d'enroulement présentent chacun une face plane tournée vers l'extérieur et permettant d'accoupler magnétiquement cette cellule à une autre cellule. Au moins l'un des barreaux comporte un entrefer 75 pour empêcher la saturation du noyau 74 provoquée par une composante continue du flux magnétisant.
- [0125]** La cellule  $B_i$  comprend également uniquement un seul bobinage 76 enroulé uniquement autour de l'un des barreaux verticaux. Ce bobinage 76 génère un flux magnétisant  $E_i$  concentré à l'intérieur du noyau 74. Une seule ligne de champ du flux magnétisant  $E_i$  est représentée sur la figure 14. Ce flux magnétisant présente un décalage angulaire  $w_i$  fonction du décalage angulaire de la tension d'alimentation du bobinage 76. Plus précisément, dans le cas de la cellule  $B_i$ , l'estimation du décalage angulaire  $w_i$  est prise égale au décalage angulaire de la tension d'alimentation du bobinage 76.
- 55 **[0126]** Sur la figure 13, les cellules  $B_i$  sont accolées l'une à l'autre en juxtaposant bord à bord les faces planes de leurs barreaux horizontaux respectifs.

**[0127]** Comme précédemment, le décalage angulaire de la tension d'alimentation des bobinages de la cellule  $B_i$  est déterminé de manière à minimiser l'amplitude du fondamental du flux magnétisant circulant dans les barreaux accolés. Plus précisément, les tensions d'alimentation de cellules accolées  $B_i$  et  $B_j$  sont choisies de manière à ce que la différence entre les décalages angulaires  $x_i$  et  $x_j$  des fondamentaux des flux magnétisants générés par chacune de ces cellules soit aussi proche que possible de  $\pi$ rad.

**[0128]** La méthode décrite en regard du procédé de la figure 5 est adaptée pour concevoir le coupleur 72. Par exemple, sur la figure 13, les bobinages des cellules  $B_1$  à  $B_4$  sont tous enroulés dans le même sens. Ainsi, dans cette configuration, les bobinages des cellules  $B_0$  à  $B_4$  sont alimentés respectivement par les tensions  $V_1$ ,  $V_3$ ,  $V_5$ ,  $V_2$  et  $V_4$ .

**[0129]** La figure 15 représente l'architecture d'une cellule  $D_i$  ayant un noyau identique au noyau  $n_i$  de la cellule  $C_i$ . La cellule  $D_i$  est uniquement équipée d'un seul bobinage 80 enroulé autour du barreau central. Le barreau central comprend un entrefer 81 pour éviter la saturation du noyau  $n_1$  provoquée par une composante continue du flux magnétisant. Cette cellule  $D_i$  peut être utilisée en lieu et place de la cellule  $B_i$  dans des coupleurs magnétiques similaires au coupleur 72.

**[0130]** La figure 16 représente un troisième mode de réalisation d'un dispositif 90 d'alimentation du dipôle 4. Sur cette figure, les éléments déjà décrits en regard de la figure 1 portent les mêmes références numériques, seules les différences par rapport au dispositif 2 sont décrites ici.

**[0131]** Dans la figure 16, le filtre 6 ne doit pas comporter d'inductance.

**[0132]** Le dispositif 90 comporte la source d'alimentation 16 raccordée au dipôle 4 par l'intermédiaire d'un coupleur magnétique 92.

**[0133]** Dans le coupleur 92, le point milieu 24 est raccordé à un potentiel de référence  $M_1$  et non plus à l'entrée 8 du filtre 6.

**[0134]** Dans ce mode de réalisation, chaque transformateur  $Tr_i$  comporte en plus du couple de bobinages  $e_{1i}$  et  $e_{2i}$  un couple de bobinages  $e_{3i}$  et  $e_{4i}$ . Les bobinages  $e_{3i}$  et  $e_{4i}$  sont couplés magnétiquement aux bobinages  $e_{1i}$  et  $e_{2i}$  par l'intermédiaire du noyau magnétique  $n_i$ . Le couple de bobinages  $e_{3i}$  et  $e_{4i}$  est électriquement isolé des bobinages  $e_{1i}$  et  $e_{2i}$ .

**[0135]** Une extrémité du bobinage  $e_{3i}$  est raccordée par l'intermédiaire d'une diode  $d_i$  à un point commun 96. La cathode de la diode  $d_i$  est dirigée vers le point commun 96.

**[0136]** Le point commun 96 est directement raccordé à l'entrée 8 du filtre 6.

**[0137]** L'autre extrémité du bobinage  $e_{3i}$  est directement raccordée à une extrémité du bobinage  $e_{4,i+1}$  du transformateur  $Tr_{i+1}$  suivant. L'extrémité non raccordée au bobinage  $e_{3i}$  du bobinage  $e_{4,i+1}$  est raccordée à un potentiel de référence  $M_2$  isolée électriquement du potentiel  $M_1$ .

**[0138]** L'extrémité non raccordée au point commun 96 du bobinage  $e_{3,N-1}$  est directement raccordée à une extrémité du bobinage  $e_{40}$ .

**[0139]** Le procédé de conception et d'alimentation du coupleur 92 est le même que celui décrit en regard de la figure 5, de manière à réduire l'encombrement de ce coupleur. En particulier, l'estimation du décalage angulaire  $W_i$  d'une cellule est obtenue, en utilisant uniquement les tensions d'alimentation des bobinages  $e_{1i}$  et  $e_{2i}$ . Pour se ramener au cas précédent à deux bobinages par cellule, on peut assimiler les parties de bobinages  $e_{1i}$ ,  $e_{3i}$  et  $e_{2i}$ ,  $e_{4i}$ , respectivement, aux bobinages  $e_{1i}$  et  $e_{2i}$  de la figure 1.

**[0140]** La figure 17 représente un exemple de cellules  $E_i$  susceptibles d'être utilisées pour former le coupleur magnétique 92. Cette cellule  $E_i$  est identique à la cellule  $A'_i$  à l'exception du fait que les bobinages 62 et 64 ont été dédoublés. Sur la figure 17, les doublons des bobinages 62 et 64 portent, respectivement, les références 102 et 104.

**[0141]** Les bobinages 102 et 104 sont bobinés autour du noyau 60 dans le même sens que, respectivement, les bobinages 62 et 64. Ces bobinages 102 et 104 sont isolés électriquement des bobinages 62 et 64 et couplés magnétiquement à ces bobinages par l'intermédiaire du noyau 60. Les bobinages 62 et 64 correspondent respectivement aux bobinages  $e_{1i}$  et  $e_{2i}$  de la figure 16 et les bobinages 102 et 104 correspondent respectivement aux bobinages  $e_{3i}$  et  $e_{4i}$  de la figure 16.

**[0142]** La figure 18 représente la structure d'une cellule  $F_i$  également susceptible d'être utilisée pour réaliser le coupleur 92.

**[0143]** Cette cellule  $F_i$  est identique à la cellule  $C_i$  à l'exception du fait que les bobinages 36 et 38 ont été dédoublés. Les doublons des bobinages 36 et 38 portent respectivement les références 106 et 108. Dans ce mode de réalisation, le bobinage 106 est uniquement enroulé autour du bobinage 36 et le bobinage 108 est uniquement enroulé autour du bobinage 38. Les bobinages 106 et 108 sont électriquement isolés des bobinages 36 et 38 et couplés magnétiquement à ces bobinages 36 et 38 par l'intermédiaire du noyau  $n_i$ .

**[0144]** La figure 19 représente l'architecture d'un convertisseur DC-DC utilisant un coupleur magnétique tel que décrit en regard des précédentes figures.

**[0145]** Le convertisseur 110 comporte une source d'alimentation continue 122 raccordée à l'entrée d'un onduleur 124 propre à convertir la tension continue délivrée par la source 122 en  $N$  tensions périodiques décalées angulairement les

unes par rapport aux autres de  $\frac{2\pi}{N}$  rad.

**[0146]** L'onduleur 124 est ici un onduleur bidirectionnel en courant. Cet onduleur est connu et sa structure ne sera pas décrite ici en détail.

**[0147]** L'association de la source 122 et de l'onduleur 124 forme donc une source d'alimentation polyphasée 126. La source 126 est raccordée à un coupleur magnétique 128 présentant une isolation galvanique tel que le coupleur 92. Toutefois, dans ce mode de réalisation, chaque bobinage  $e_{1i}$  et  $e_{2i}$  est raccordé par une de ses extrémités directement à une phase respective de la source 126. L'autre extrémité de chacun de ces bobinages  $e_{1i}$  et  $e_{2i}$  sont raccordées électriquement l'une à l'autre.

**[0148]** Une extrémité de chacun des bobinages  $e_{3i}$  et  $e_{4i}$  est raccordée à une entrée respective d'un redresseur de tension 130. L'autre extrémité de ces bobinages  $e_{3i}$  et  $e_{4i}$  est raccordée à un potentiel de référence  $M_3$ .

**[0149]** Le redresseur 130 comporte autant de branches que d'entrées recevant la tension délivrée par le bobinage  $e_{3i}$  et  $e_{4i}$ . Chaque branche est formée d'un interrupteur commandable  $I_i$  et d'une diode  $D_i$  raccordés en parallèle. L'interrupteur  $I_i$  est un interrupteur ne pouvant laisser circuler le courant que dans une seule direction allant de l'entrée raccordée au bobinage  $e_{3i}$  ou  $e_{4i}$  vers un point commun 134. Les différents interrupteurs commandables du redresseur 130 sont commandés de manière à redresser la tension délivrée par chacun des bobinages  $e_{3i}$  et  $e_{4i}$ . Dans ce mode de réalisation, le dipôle 4 est raccordé entre le point commun 134 et le potentiel de référence  $M_3$ .

**[0150]** Le redresseur 130 est ici un redresseur bidirectionnel en courant.

**[0151]** La figure 20 représente un autre mode de réalisation d'un convertisseur DC-DC 140. Ce convertisseur 140 comprend une source d'alimentation polyphasée 142 réalisée à partir d'une source de tension continue 144 raccordée à l'entrée d'un onduleur 146. Ici, par exemple, l'onduleur 146 est unidirectionnel en courant. Chaque sortie de l'onduleur 146 est raccordée à un bobinage respectif d'un coupleur magnétique 148. Le coupleur magnétique 148 est identique au coupleur magnétique 128 à l'exception du fait que dans le coupleur 128, ce sont les extrémités des bobinages  $e_{3i}$  et  $e_{4i}$  qui sont raccordées à des phases respectives de la source 142. Pour cette raison, lors de l'opération d'estimation du décalage angulaire  $x_i$  de chacune des cellules, c'est les bobinages  $e_{3i}$  et  $e_{4i}$  ainsi que leur tension d'alimentation qui sont à prendre en compte.

**[0152]** Ici, les sorties du coupleur 148 sont raccordées à un redresseur/élévateur de tension 149. Par exemple, le redresseur/élévateur 149 est formé de plusieurs étages élévateurs 150 à 153. Chaque étage élévateur reçoit les tensions générées respectivement par une paire de bobinages  $e_{1i}$  et  $e_{2i}$  afin d'élever une tension reçue en entrée. Les étages élévateurs sont raccordés en série. Un tel redresseur/élévateur est connu et ne sera donc pas décrit plus en détail. La charge 4 est raccordée en sortie de ce redresseur/élévateur 149.

**[0153]** De nombreux autres modes de réalisation sont possibles. Ici, chaque coupleur a été décrit dans le cas où il est réalisé par collage ou fixation de plusieurs cellules magnétiques élémentaires les unes aux autres. En variante, le coupleur magnétique présente exactement la même structure que celle décrite ici mais est réalisée en accolant les uns derrière les autres une succession de noyaux magnétiques en forme de « E ». Plus précisément, les extrémités libres des barres horizontales de la section en forme de « E » sont accolées sur la face arrière verticale du noyau en forme de « E » suivant. Les extrémités libres des barres horizontales du dernier noyau en forme de « E » de l'empilement sont quant à elles raccordées magnétiquement par l'intermédiaire d'un barreau vertical en forme de « I ». La structure du coupleur magnétique ainsi obtenu est identique à celle obtenue en accolant des cellules telles que les cellules  $C_i$ , par exemple. Ainsi, un tel coupleur magnétique est décomposable en cellules élémentaires identiques à celles décrites ici. Dès lors, il est possible de retrouver dans ce coupleur magnétique des parties du noyau correspondant à chacun des barreaux  $B_{ij}$ . Toutefois, ici, les barreaux  $B_{ij}$  et  $B_{ij+1}$  accolés sont venus de matière l'un avec l'autre, c'est-à-dire formés d'un seul bloc. L'enseignement décrit précédemment est donc applicable à un tel coupleur magnétique pour déterminer à quelle phase de la source d'alimentation chaque bobinage doit être raccordé pour minimiser le flux magnétique maximal dans les barreaux accolés.

**[0154]** Il est également possible de réaliser un coupleur ayant l'une des structures décrite ici à partir d'un noyau en un seul bloc dans lequel sont ménagés autant d'évidements que de fenêtres 32, 34 nécessaires. Dans ce dernier mode de réalisation, aucun collage entre différentes cellules accolées n'est nécessaire. Toutefois, un tel coupleur reste cependant décomposable en cellules élémentaires telles que celles décrites ici. Ainsi, l'enseignement donné dans cette description est applicable à ce mode de réalisation pour déterminer à quelles phases de la source de tension chacun des bobinages doit être raccordé afin de minimiser le flux magnétique maximal dans les barreaux accolés.

**[0155]** Un coupleur magnétique dont l'encombrement est réduit peut également être réalisé en accolant plusieurs cellules uniquement dans la direction verticale.

**[0156]** Ici, le coupleur magnétique comprend autant de bobinages  $e_{1i}$  et  $e_{2i}$  que de phases de la source d'alimentation. En variante, chaque bobinage  $e_{1i}$  et  $e_{2i}$  est divisé en plusieurs bobinages, respectivement  $e_{1ik}$  et  $e_{2ik}$  raccordés en série. Chaque bobinage  $e_{1ik}$  et  $e_{2ik}$  est ensuite utilisé dans une cellule différente. Toutefois, le nombre de bobinages  $e_{1ik}$  et

## EP 2 080 203 B1

$e_{2ik}$  raccordés en série reste, de préférence, inférieur à  $\underline{N}$ .

**[0157]** Les modes de réalisation des coupleurs magnétiques décrits ici ont été fait dans le cas particulier où l'enseignement de la demande de brevet FR 05 07 136 est utilisé à l'intérieur de chaque cellule de manière à réduire encore plus l'encombrement de chacune de ces cellules (règle a) décrite en regard de la figure 5). Toutefois, en variante, seule

la règle b) décrite en regard de la même figure est utilisée pour réduire l'encombrement du coupleur magnétique.

**[0158]** Lorsqu'une cellule comporte deux bobinages, les spires de ces bobinages peuvent être entrelacées. Ceci diminue la résistance alternative des bobinages.

**[0159]** La face plane des barreaux accolés peut comporter des rugosités ou des aspérités destinées à faciliter l'accouplement et la fixation des cellules entre elles.

**[0160]** Les barreaux autour desquels sont entourés des enroulements ne sont pas nécessairement rectilignes mais peuvent être courbés.

**[0161]** Enfin, il est également possible d'utiliser différents types de cellules dans un même coupleur magnétique.

**[0162]** Les différents modes de réalisation décrits ici présentent les avantages suivants :

- appliquer la règle b) pour chaque barreau accolé permet de diminuer très nettement l'encombrement et les pertes du coupleur magnétique,
- choisir les tensions d'alimentation des bobinages de manière à ce que la différence entre les décalages angulaires

$x_i$  et  $x_j$  des flux magnétisants générés par deux cellules accolées soit comprise entre  $\pi - \frac{2\pi}{N}$  et  $\pi + \frac{2\pi}{N}$  rad

permet de maximiser la diminution de l'encombrement du coupleur magnétique,

- diviser chaque bobinage  $e_{1i}$  raccordé à une phase de la source d'alimentation en plusieurs bobinages  $e_{1ik}$  raccordés en série permet de démultiplier le nombre de bobinages disponibles pour créer des cellules et donc d'accroître la possibilité de se rapprocher d'une configuration optimale dans laquelle la différence de décalages angulaires  $x_i - x_j$  est égale ou très proche de  $\pi$  rad.

### ANNEXE

**[0163]**



5  
10  
15  
20  
25  
30  
35  
40  
45  
50  
55

Table 4

C <sub>0</sub>	-V <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>11</sub>	C <sub>10</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>9</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>7</sub>	
	V <sub>0</sub>												V <sub>1</sub>
			-V <sub>6</sub>	-V <sub>7</sub>	-V <sub>7</sub>	-V <sub>8</sub>	-V <sub>8</sub>	-V <sub>9</sub>	-V <sub>9</sub>	-V <sub>10</sub>	-V <sub>10</sub>		
			V <sub>1</sub>	V <sub>0</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>4</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>5</sub>		

5  
10  
15  
20  
25  
30  
35  
40  
45  
50  
55

Table 5

C <sub>0</sub>	-V <sub>5</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>11</sub>	C <sub>10</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>9</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>7</sub>									
	V <sub>0</sub>												V <sub>1</sub>	-V <sub>6</sub>	V <sub>11</sub>	V <sub>0</sub>	V <sub>2</sub>	-V <sub>7</sub>	-V <sub>7</sub>	-V <sub>6</sub>	V <sub>1</sub>

Tableau 6

5

Nombre de cellules multiple de 4

N	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>9</sub>	C <sub>10</sub>	C <sub>11</sub>	C <sub>12</sub>	C <sub>13</sub>	C <sub>14</sub>	C <sub>15</sub>	C <sub>16</sub>	C <sub>17</sub>	C <sub>18</sub>	C <sub>19</sub>
4	1	-2	-3	4	2	-3	-4	1												
8	1	-4	-5	8	2	-5	-6	1	3	-6	-7	2	4	-7	-8	3				
12	1	-6	-7	12	2	-7	-8	1	3	-8	-9	2	4	-9	-10	3	5	-10	-11	4
16	1	-8	-9	16	2	-9	-10	1	3	-10	-11	2	4	-11	-12	3	5	-12	-13	4
20	1	-10	-11	20	2	-11	-12	1	3	-12	-13	2	4	-13	-14	3	5	-14	-15	4

10

Tableau 7

15

Nombre de cellules impair

N	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>9</sub>	C <sub>10</sub>	C <sub>11</sub>	C <sub>12</sub>	C <sub>13</sub>	C <sub>14</sub>	C <sub>15</sub>	C <sub>16</sub>	C <sub>17</sub>	C <sub>18</sub>
5	1	-3	-3	5	5	-2	-2	4	4	-1									
7	1	-4	-4	7	7	-3	-3	6	6	-2	-2	5	5	-1					
9	1	-5	-5	9	9	-4	-4	8	8	-3	-3	7	7	-2	-2	6	6	-1	
11	1	-6	-6	11	11	-5	-5	10	10	-4	-4	9	9	-3	-3	8	8	-2	-2
13	1	-7	-7	13	13	-6	-6	12	12	-5	-5	11	11	-4	-4	10	10	-3	-3
15	1	-8	-8	15	15	-7	-7	14	14	-6	-6	13	13	-5	-5	12	12	-4	-4
17	1	-9	-9	17	17	-8	-8	16	16	-7	-7	15	15	-6	-6	14	14	-5	-5
19	1	-10	-10	19	19	-9	-9	18	18	-8	-8	17	17	-7	-7	16	16	-6	-6

20

25

30

35

40

45

50

55

5  
10  
15  
20  
25  
30  
35  
40  
45  
50  
55

Table 8

$C_0$	$C_5$	$C_6$	$C_{11}$	$C_{10}$	$C_4$	$C_3$	$C_9$	$C_8$	$C_2$	$C_1$	$C_7$
$V_0$	$-V_1$	$V_6$	$V_7$	$V_2$	$-V_8$	$-V_3$	$V_9$	$V_4$	$-V_{10}$	$-V_5$	$V_{11}$
$-V_5$	$-V_6$	$V_{11}$	$-V_0$	$-V_7$	$V_1$	$V_8$	$-V_2$	$-V_9$	$V_3$	$V_{10}$	$-V_4$

Revendications

1. Procédé d'alimentation d'un coupleur magnétique décomposable en au moins quatre cellules magnétiques élémentaires, chaque cellule comportant :

. un noyau magnétique ( $n_i$ ) propre à former un seul circuit magnétique fermé annulaire, ce noyau comportant à cet effet au moins trois barreaux non colinéaires par l'intermédiaire desquels s'établit le circuit magnétique fermé ( $E_i$ ), au moins deux de ces barreaux présentant chacun une face plane tournée vers l'extérieur de la cellule et les lignes de champ du circuit magnétique fermé à l'intérieur de ces barreaux étant parallèles aux faces planes,

. un ou plusieurs bobinages (62, 64 ; 76), chacun de ces bobinages étant enroulé autour d'un barreau du noyau magnétique de manière à laisser au moins les deux barreaux avec une face plane, libres de tout bobinage, et  
 . les cellules élémentaires sont accolées deux par deux par l'intermédiaire de leurs faces planes respectives de manière à former des paires de premières et de secondes cellules accouplées magnétiquement les unes aux autres,

ce procédé consistant à alimenter (48) ce coupleur magnétique en utilisant  $N$  tensions ou courants d'alimentation périodiques décalés angulairement les uns par rapport aux autres, les décalages angulaires entre les  $N$  tensions ou courants d'alimentation utilisés étant uniformément distribués entre 0 et  $2\pi$  rad,  $N$  étant un nombre entier supérieur ou égal à quatre et  $2\pi$  rad représentant une période de la tension ou du courant périodique, et à :

a) alimenter le ou chaque bobinage de la première cellule avec, respectivement, l'une des tensions ou courants d'alimentation de manière à produire un flux magnétisant dans le barreau accolé de la première cellule avec la seconde cellule, dont la composante fondamentale présente un décalage angulaire  $x_i$ , et

b) alimenter le ou chaque bobinage de la seconde cellule avec, respectivement, l'une des tensions ou courants d'alimentation de manière à produire un flux magnétisant dans le barreau de la seconde cellule accolé avec la première cellule, dont la composante fondamentale présente un décalage angulaire  $x_j$ ,

**caractérisé en ce que** la valeur absolue de la différence entre les décalages angulaires  $x_i$  et  $x_j$  est supérieure

ou égale à  $\frac{4\pi}{N}$  rad.

2. Procédé d'alimentation d'un coupleur magnétique décomposable en au moins quatre cellules magnétiques élémentaires, chaque cellule comportant :

. un noyau magnétique: ( $n_i$ ) propre à former uniquement un premier et un second circuits magnétiques fermés ( $E_{H_i}$ ,  $E_{S_i}$ ) annulaires ayant une portion commune, ce noyau comportant un barreau magnétique central ( $B_{C_i}$ ) par l'intermédiaire duquel s'établit la portion commune aux deux circuits magnétiques fermés, et au moins deux barreaux ( $B_{1_i}$ ,  $B_{5_i}$ ) non colinéaires présentant chacun une face plane ( $F_{1_i}$ ,  $F_{5_i}$ ) tournée vers l'extérieur de la cellule et les lignes de champ du premier ou du second circuit magnétique fermé à l'intérieur de ces barreaux étant parallèles à leur face plane,

. un ou plusieurs bobinages, chacun de ces bobinages étant enroulés autour du barreau central de manière à laisser au moins les deux barreaux avec une face plane, libre de tout bobinage, et

. les cellules élémentaires sont accolées deux par deux par l'intermédiaire de leurs faces planes respectives de manière à former des paires de premières et de secondes cellules accouplées magnétiquement les unes aux autres,

le procédé consistant à alimenter (48) ce coupleur magnétique en utilisant  $N$  tensions ou courants d'alimentation périodiques décalés angulairement les uns par rapport aux autres, les décalages angulaires entre les  $N$  tensions ou courants d'alimentation utilisés étant uniformément distribués entre 0 et  $2\pi$  rad,  $N$  étant un nombre entier supérieur ou égal à quatre et  $2\pi$  rad représentant une période de la tension ou du courant périodique, et à :

a) alimenter le ou chaque bobinage de chaque première cellule avec, respectivement, l'une des tensions ou courants d'alimentation de manière à produire un flux magnétisant dans le barreau de la première cellule accolés avec la seconde cellule, dont la composante fondamentale présente un décalage angulaire  $x_i$ , et

b) alimenter le ou chaque bobinage de la seconde cellule avec, respectivement, l'une des tensions ou courants d'alimentation de manière à produire un flux magnétisant dans le barreau de la seconde cellule accolés avec la première cellule, dont la composante fondamentale présente un décalage angulaire  $x_j$ ,

caractérisé en ce que la valeur absolue de la différence entre les décalages angulaires  $x_i$  et  $x_j$  est supérieure

à  $\frac{4\pi}{N}$  rad.

5

3. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la valeur absolue de la différence

entre les décalages angulaires  $x_i$  et  $x_j$  est comprise entre  $\pi - \frac{2\pi}{N}$  rad et  $\pi + \frac{2\pi}{N}$  rad pour chaque paire de  
10 cellules.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel chaque bobinage d'une cellule est  
raccordé en série avec au moins un autre bobinage d'une autre cellule.

15

5. Dispositif d'alimentation d'un dipôle électrique comportant :

- une source (16 ; 126 ; 142) d'alimentation à N phases, les décalages angulaires entre les phases étant  
uniformément réparties entre 0 et  $2\pi$  rad, N étant un nombre entier supérieur ou égal à quatre et  $2\pi$  rad  
représentant une période de la tension ou du courant périodique,
- un coupleur magnétique (72) décomposable en au moins quatre cellules magnétiques élémentaires, chaque  
cellule comportant :

20

. un noyau magnétique ( $n_i$ ) propre à former un seul circuit magnétique fermé annulaire, ce noyau comportant  
à cet effet au moins trois barreaux non colinéaires par l'intermédiaire desquels s'établit le circuit magnétique  
fermé ( $E_i$ ), au moins deux de ces barreaux présentant chacun une face plane tournée vers l'extérieur de  
la cellule et les lignes de champ du circuit magnétique fermé à l'intérieur de ces barreaux étant parallèles  
aux faces planes,

25

. un ou plusieurs bobinages (62, 64 ; 76), chacun de ces bobinages étant enroulé autour d'un barreau du  
noyau magnétique de manière à laisser au moins les deux barreaux avec une face plane, libres de tout  
bobinage, et

30

. les cellules élémentaires sont accolées deux par deux par l'intermédiaire de leurs faces planes respectives  
de manière à former des paires de premières et de secondes cellules accouplées magnétiquement les  
unes aux autres,  
dans lequel :

35

a) le ou chaque bobinage ( $e_{1i}$ ,  $e_{2i}$ ) de la première cellule est raccordé à une phase respective de la  
source d'alimentation de manière à produire, lors du fonctionnement, un flux magnétisant dans le  
barreau de la première cellule accolée avec la seconde cellule, dont la composante fondamentale  
présente un décalage angulaire  $x_i$ , et

40

b) le ou chaque bobinage ( $e_{1i+1}$ ,  $e_{2i+1}$ ) de la seconde cellule est raccordé à une phase respective de  
la source d'alimentation de manière à produire, lors du fonctionnement, un flux magnétisant dans le  
barreau de la seconde cellule accolée avec la première cellule, dont la composante fondamentale  
présente un décalage angulaire  $x_j$ , caractérisé en ce que la valeur absolue de la différence entre les

45

décalages angulaires  $x_i$  et  $x_j$  est supérieure  $\frac{4\pi}{N}$  rad.

6. Dispositif d'alimentation d'un dipôle électrique comportant :

50

- une source d'alimentation (16 ; 126 ; 142) à N phases, les décalages angulaires entre les phases étant  
uniformément répartis entre 0 et  $2\pi$  rad, N étant un nombre entier supérieur ou égal à quatre et  $2\pi$  rad repré-  
sentant une période de la tension ou du courant périodique,
- un coupleur magnétique (18 ; 50 ; 92 ; 128 ; 148) décomposable en au moins quatre cellules magnétiques  
élémentaires, chaque cellule comportant :

55

. un noyau magnétique ( $n_i$ ) propre à former uniquement un premier et un second circuits magnétiques  
fermés ( $E_{H1}$ ,  $E_{\delta 1}$ ) annulaires ayant une portion commune, ce noyau comportant un barreau magnétique

central ( $B_{ci}$ ) par l'intermédiaire duquel s'établit la portion commune aux deux circuits magnétiques fermés, et au moins deux barreaux ( $B_{1i}$ ,  $B_{5i}$ ) non colinéaires présentant chacun une face plane ( $F_{1i}$ ,  $F_{5i}$ ) tournée vers l'extérieur de la cellule et les lignes de champ du premier ou du second circuit magnétique fermé à l'intérieur de ces barreaux étant parallèles à leur face plane,

. un ou plusieurs bobinages, chacun de ces bobinages étant enroulés autour du barreau central de manière à laisser au moins les deux barreaux avec une face plane, libre de tout bobinage, et

. les cellules élémentaires sont accolées deux par deux par l'intermédiaire de leurs faces planes respectives de manière à former des paires de premières et de secondes cellules accouplées magnétiquement les unes aux autres, dans lequel :

a) le ou chaque bobinage ( $e_{1i}$ ,  $e_{2i}$ ) de la première cellule est raccordé à une phase respective de la source d'alimentation de manière à produire, lors du fonctionnement, un flux magnétisant dans le barreau de la première cellule accolée avec la seconde cellule, dont la composante fondamentale présente un décalage angulaire  $x_i$ , et

b) le ou chaque bobinage ( $e'_{1i}$ ,  $e'_{2i}$ ) de la seconde cellule est raccordé à une phase respective de la source d'alimentation de manière à produire, lors du fonctionnement, un flux magnétisant dans le barreau de la seconde cellule accolée avec la première cellule, dont la composante fondamentale présente un décalage angulaire  $x_j$ , **caractérisé en ce que** la valeur absolue de la différence entre les

décalages angulaires  $x_i$  et  $x_j$  est supérieure  $\frac{4\pi}{N}$  rad.

7. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 5 ou 6, dans lequel la valeur absolue de la différence entre

les décalages angulaires  $x_i$  et  $x_j$  est comprise entre  $\pi - \frac{2\pi}{N}$  et  $\pi + \frac{2\pi}{N}$  pour chaque cellule.

8. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 5 à 7, dans lequel chaque bobinage de la seconde cellule se déduit du bobinage correspondant de la première cellule par une symétrie axiale le long d'un axe colinéaire aux faces accolées.

9. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 5 à 8, dans lequel chaque cellule comporte au moins un premier et un second bobinages ( $e_{1i}$ ,  $e_{2i}$ ) enroulés en sens inverse l'un de l'autre autour du même barreau.

10. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 5 à 8, dans lequel chaque cellule comporte un premier et un second bobinages ( $e_{1i}$ ,  $e_{2i}$ ), le premier bobinage et le second bobinage étant raccordés à des phases respectives de la source d'alimentation de manière à ce que, lors du fonctionnement, le déphasage angulaire entre les tensions

d'alimentation de chacun de ces bobinages est compris entre  $\pi - \frac{2\pi}{N}$  et  $\pi + \frac{2\pi}{N}$ .

### Claims

1. Method of powering a multi-interphase transformer which can be broken down into at least four elementary magnetic cells, each cell comprising:

- a magnetic core ( $n_i$ ) suitable for forming a single closed annular magnetic circuit, said core comprising for this purpose at least three non-co-linear bars forming the closed magnetic circuit ( $E_i$ ), at least two of said bars each having a planar face facing the exterior of the cell, and the field lines of the closed magnetic circuit inside said bars being parallel to the planar faces,

- one or more windings (62, 64; 76), each of said windings being wound around a bar of the magnetic core so as to leave at least the two bars with a planar face free of windings, and

- the elementary cells are joined together in pairs via the respective planar faces thereof so as to form pairs of first and second cells which are magnetically coupled to one another, this method consisting of powering (48) said multi-interphase transformer by using  $N$  periodic supply voltages

or currents which are offset angularly from one another, the angular offsets between the  $\underline{N}$  supply voltages or currents used being distributed uniformly between 0 and  $2\pi$  rad,  $\underline{N}$  being an integer greater than or equal to four and  $2\pi$  rad representing a period of the voltage or the periodic current, and consisting of:

- 5 a) powering the or each winding of the first cell with one of the supply voltages or currents respectively so as to produce a magnetising flux in the bar of the first cell joined to the second cell, the fundamental component of which has an angular offset  $x_i$ , and
- 10 b) powering the or each winding of the second cell with one of the supply voltages or currents respectively so as to produce a magnetising flux in the bar of the second cell joined to the first cell, the fundamental component of which has an angular offset  $x_j$ , **characterised in that** the absolute value of the difference
- between the angular offsets  $x_i$  and  $x_j$  is greater than or equal to  $\frac{4\pi}{\underline{N}}$  rad.

15 2. Method of powering a multi-interphase transformer which can be broken down into at least four elementary magnetic cells, each cell comprising:

- 20 • a magnetic core ( $n_i$ ) suitable for forming only a first and a second closed annular magnetic circuit ( $E_{Hi}$ ,  $E_{Bi}$ ) with a common portion, said core comprising a central magnetic bar ( $B_{Ci}$ ) forming the common portion of the two closed magnetic circuits, and at least two non-co-linear bars ( $B_{1i}$ ,  $B_{5i}$ ) each having a planar face ( $F_{1i}$ ,  $F_{5i}$ ) facing towards the exterior of the cell, and the field lines of the first or second closed magnetic circuit inside said bars being parallel to the planar face thereof,
- one or more windings, each of said windings being wound around the central bar so as to leave at least the two bars with a planar face free of windings, and
- 25 • the elementary cells are joined together in pairs via the respective planar faces thereof so as to form pairs of first and second cells which are magnetically coupled to one another,
- the method consisting of powering (48) said multi-interphase transformer by using  $\underline{N}$  periodic supply voltages or currents which are offset angularly from one another, the angular offsets between the  $\underline{N}$  supply voltages or currents used being distributed uniformly between 0 and  $2\pi$  rad,  $\underline{N}$  being an integer greater than or equal to four and  $2\pi$  rad representing a period of the voltage or the periodic current, and consisting of:

- 30 a) powering the or each winding of each first cell with one of the supply voltages or currents respectively so as to produce a magnetising flux in the bar of the first cell joined to the second cell, the fundamental component of which has an angular offset  $x_i$ , and
- 35 b) powering the or each winding of the second cell with one of the supply voltages or currents respectively so as to produce a magnetising flux in the bar of the second cell joined to the first cell, the fundamental component of which has an angular offset  $x_j$ , **characterised in that** the absolute value of the difference
- between the angular offsets  $x_i$  and  $x_j$  is greater than  $\frac{4\pi}{\underline{N}}$  rad.

40 3. Method according to any one of the preceding claims, wherein the absolute value of the difference between the angular offsets  $x_i$  and  $x_j$  is between  $\pi - \frac{2\pi}{\underline{N}}$  rad and  $\pi + \frac{2\pi}{\underline{N}}$  rad for each pair of cells.

45 4. Method according to any one of the preceding claims, wherein each winding of a cell is connected in series with at least one other winding of another cell.

5. Device for powering an electric dipole, comprising:

- 50 - a power source (16; 126; 142) with  $\underline{N}$  phases, the angular offsets between the phases being distributed uniformly between 0 and  $2\pi$  rad,  $\underline{N}$  being an integer greater than or equal to four and  $2\pi$  rad representing a period of the voltage or the periodic current,
- a multi-interphase transformer (72) which can be broken down into at least four elementary magnetic cells, each cell comprising:

- 55 • a magnetic core ( $n_i$ ) suitable for forming a single closed annular magnetic circuit, said core comprising for this purpose at least three non-co-linear bars forming the closed magnetic circuit ( $E_i$ ), at least two of said bars each having a planar face facing the exterior of the cell, and the field lines of the closed magnetic

circuit inside said bars being parallel to the planar faces,

- one or more windings (62, 64; 76), each of said windings being wound around a bar of the magnetic core so as to leave at least the two bars with a planar face free of windings, and
- the elementary cells are joined together in pairs via the respective planar faces thereof so as to form pairs of first and second cells which are magnetically coupled to one another,

in which:

a) the or each winding ( $e_{1i}, e_{2i}$ ) of the first cell is connected to a respective phase of the power source so as to produce, during operation, a magnetising flux in the bar of the first cell joined to the second cell, the fundamental component of which has an angular offset  $x_i$ , and

b) the or each winding ( $e_{1i+1}, e_{2i+1}$ ) of the second cell is connected to a respective phase of the power source so as to produce, during operation, a magnetising flux in the bar of the second cell joined to the first cell, the fundamental component of which has an angular offset  $x_j$ ,

**characterised in that** the absolute value of the difference between the angular offsets  $x_i$  and  $x_j$  is greater than

$$\frac{4\pi}{N} \text{ rad.}$$

6. Device for powering an electric dipole, comprising:

- a power source (16; 126; 142) with N phases, the angular offsets between the phases being distributed uniformly between 0 and  $2\pi$  rad, N being an integer greater than or equal to four and  $2\pi$  rad representing a period of the voltage or the periodic current,

- a multi-interphase transformer (18; 50; 92; 128; 148) which can be broken down into at least four elementary magnetic cells, each cell comprising:

- a magnetic core ( $n_i$ ) suitable for forming only a first and a second closed annular magnetic circuit ( $E_{Hi}, E_{8i}$ ) with a common portion, said core comprising a central magnetic bar ( $B_{Ci}$ ) forming the common portion of the two closed magnetic circuits, and at least two non-colinear bars ( $B_{1i}, B_{5i}$ ) each having a planar face ( $F_{1i}, F_{5i}$ ) facing towards the exterior of the cell, and the field lines of the first or second closed magnetic circuit inside said bars being parallel to the planar face thereof,
- one or more windings, each of said windings being wound around the central bar so as to leave at least the two bars with a planar face free of windings, and
- the elementary cells are joined together in pairs via the respective planar faces thereof so as to form pairs of first and second cells which are magnetically coupled to one another,

in which:

a) the or each winding ( $e_{1i}, e_{2i}$ ) of the first cell is connected to a respective phase of the power source so as to produce, during operation, a magnetising flux in the bar of the first cell joined to the second cell, the fundamental component of which has an angular offset  $x_i$ , and

b) the or each winding ( $e_{1i}, e'_{2i}$ ) of the second cell is connected to a respective phase of the power source so as to produce, during operation, a magnetising flux in the bar of the second cell joined to the first cell, the fundamental component of which has an angular offset  $x_j$ ,

**characterised in that** the absolute value of the difference between the angular offsets  $x_i$  and  $x_j$  is greater than

$$\frac{4\pi}{N} \text{ rad.}$$

7. Device according either claim 5 or claim 6, wherein the absolute value of the difference between the angular offsets

$x_i$  and  $x_j$  is between  $\pi - \frac{2\pi}{N}$  rad and  $\pi + \frac{2\pi}{N}$  rad for each cell.

8. Device according to any one of claims 5 to 7, wherein each winding of the second cell is inferred from the corresponding winding of the first cell by means of axial symmetry along an axis which is co-linear with the joined faces.

9. Device according to any one of claims 5 to 8, wherein each cell comprises at least one first and one second winding ( $e_{1i}$ ,  $e_{2i}$ ) wound in opposite directions around the same bar.

10. Device according to any one of claims 5 to 8, wherein each cell comprises at least one first and one second winding ( $e_{1i}$ ,  $e_{2i}$ ), the first winding and the second winding being connected to respective phases of the power source in such a way that, during operation, the angular phase difference between the supply voltages of each of said windings

is between  $\pi - \frac{2\pi}{N}$  and  $\pi + \frac{2\pi}{N}$ .

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Versorgung eines in mindestens vier elementare magnetische Zellen zerlegbaren magnetischen Kopplers, wobei jede Zelle umfasst:

- einen Magnetkern ( $n_i$ ), der geeignet ist, einen einzigen geschlossenen ringförmigen Magnetkreis zu bilden, wobei dieser Kern zu diesem Zweck mindestens drei nichtkollineare Stäbe umfasst, mittels derer der geschlossene Magnetkreis ( $E_i$ ) hergestellt wird, wobei mindestens zwei dieser Stäbe jeweils eine in Bezug auf die Zelle nach außen gerichtete ebene Fläche aufweisen und die Feldlinien des geschlossenen Magnetkreises im Inneren dieser Stäbe parallel zu den ebenen Flächen verlaufen,
- eine oder mehrere Wicklungen (62, 64; 76), wobei jede dieser Wicklungen um einen Stab des Magnetkerns derart gewickelt ist, dass mindestens die zwei Stäbe mit einer ebenen Fläche frei von jedweder Wicklung gelassen werden und
- die elementaren Zellen jeweils zu zweit mittels ihrer jeweiligen ebenen Fläche aneinandergesetzt sind, um Paare von ersten und zweiten Zellen zu bilden, die magnetisch aneinandergesetzt sind, wobei dieses Verfahren darauf beruht, diesen magnetischen Koppler zu versorgen (48), indem N periodische Versorgungsspannungen oder -ströme verwendet werden, die winkelmäßig zueinander versetzt sind, wobei die Winkelversetzungen zwischen den verwendeten N-Versorgungsspannungen oder -strömen gleichmäßig zwischen 0 und  $2\pi$  rad verteilt sind, wobei N eine ganze Zahl größer oder gleich vier ist und  $2\pi$  rad eine Periode der periodischen Spannung oder des periodischen Stroms repräsentiert und:

a) die oder jede Wicklung der ersten Zelle mit jeweils einer der Versorgungsspannungen oder -ströme zu versorgen, um einen magnetisierenden Fluss in dem Stab der ersten Zelle, angefügt an die zweite Zelle, zu erzeugen, dessen Grundkomponente eine Winkelversetzung  $x_i$  aufweist, und

b) die oder jede Wicklung der zweiten Zelle mit jeweils einer der Versorgungsspannungen oder -ströme zu versorgen, um einen magnetisierenden Fluss in dem Stab der zweiten Zelle, angefügt an die erste Zelle, zu erzeugen, dessen Grundkomponente eine Winkelversetzung  $x_j$  aufweist,

**dadurch gekennzeichnet, dass** der Absolutwert der Differenz zwischen den Winkelversetzungen  $x_i$  und

$x_j$  größer oder gleich  $\frac{4\pi}{N}$  rad ist.

2. Verfahren zur Versorgung eines in mindestens vier elementare magnetische Zellen zerlegbaren magnetischen Kopplers, wobei jede Zelle umfasst:

- einen Magnetkern ( $n_i$ ), der geeignet ist, nur einen ersten und einen zweiten geschlossenen, ringförmigen Magnetkreis ( $E_{1i}$ ,  $E_{2i}$ ) zu bilden, die einen gemeinsamen Bereich haben, wobei dieser Kern einen zentralen Magnetstab ( $B_{ci}$ ), mittels dessen der den zwei geschlossenen Magnetkreisen gemeinsame Bereich hergestellt wird, und mindestens zwei nichtkollineare Stäbe ( $B_{1i}$ ,  $B_{2i}$ ) umfasst, die jeweils in Bezug auf die Zelle nach außen gerichtete ebene Flächen ( $F_{1i}$ ,  $F_{2i}$ ) aufweisen und die Feldlinien des geschlossenen ersten und zweiten Magnetkreises im Inneren dieser Stäbe parallel zu ihren ebenen Flächen verlaufen,
- eine oder mehrere Wicklungen, wobei jede dieser Wicklungen um den zentralen Stab derart gewickelt ist, dass mindestens die zwei Stäbe mit einer ebenen Fläche, frei von jedweder Wicklung, gehalten werden und
- die elementaren Zellen jeweils zu zweit mittels ihrer jeweiligen ebenen Flächen aneinandergesetzt sind, um Paare von ersten und zweiten Zellen zu bilden, die magnetisch aneinandergesetzt sind, wobei das darauf beruht, diesen magnetischen Koppler zu versorgen (48), indem N periodische Versorgungsspannungen oder -ströme verwendet werden, die winkelmäßig zueinander versetzt sind, wobei die Winkelver-

## EP 2 080 203 B1

setzungen zwischen den verwendeten N Versorgungsspannungen oder -strömen gleichmäßig zwischen 0 und  $2\pi$  rad verteilt werden, wobei N eine ganze Zahl größer oder gleich vier ist und  $2\pi$  rad eine Periode der periodischen Spannung oder des periodischen Stroms repräsentiert und:

- 5 a) die oder jede Wicklung jeder ersten Zelle mit jeweils einer der Versorgungsspannungen oder -ströme zu versorgen, um einen magnetisierenden Fluss in dem Stab der ersten Zelle, angefügt an die zweite Zelle, zu erzeugen, dessen Grundkomponente eine Winkelversetzung  $x_i$  aufweist und
- 10 b) die oder jede Wicklung der zweiten Zelle mit jeweils einer der Versorgungsspannungen oder -ströme zu versorgen, um einen magnetisierenden Fluss in dem Stab der zweiten Zelle, angefügt an die erste Zelle, zu erzeugen, dessen Grundkomponente eine Winkelversetzung  $x_j$  aufweist,
- dadurch gekennzeichnet, dass** der Absolutwert der Differenz zwischen den Winkelversetzungen  $x_i$  und  $x_j$  größer als  $\frac{4\pi}{N}$  rad ist.

- 15 3. Verfahren nach einem beliebigen der vorhergehenden Ansprüche, in dem der Absolutwert der Differenz zwischen den Winkelversetzungen  $x_i$  und  $x_j$  zwischen  $\pi - \frac{2\pi}{N}$  rad und  $\pi + \frac{2\pi}{N}$  rad für jedes Zellenpaar liegt.

- 20 4. Verfahren nach einem beliebigen der vorhergehenden Ansprüche, bei dem jede Wicklung einer Zelle in Reihe mit mindestens einer anderen Wicklung einer anderen Zelle angeschlossen wird.

5. Vorrichtung zur Versorgung eines elektrischen Dipols umfassend:

- 25 - eine N-Phasenversorgungsquelle (16; 126; 142), wobei die Winkelversetzungen zwischen den Phasen gleichmäßig zwischen 0 und  $2\pi$  rad verteilt sind und wobei N eine ganze Zahl größer oder gleich vier ist und  $2\pi$  rad eine Periode der periodischen Spannung oder des periodischen Stroms repräsentiert,
- einen in mindestens vier elementare magnetische Zellen zerlegbaren magnetischen Koppler (72), wobei jede Zelle umfasst:

- 30 • einen Magnetkern ( $n_i$ ), der geeignet ist, einen einzigen geschlossenen ringförmigen Magnetkreis zu bilden, wobei dieser Kern zu diesem Zweck mindestens drei nichtkollineare Stäbe umfasst, mittels derer der geschlossene Magnetkreis ( $E_i$ ) hergestellt wird, wobei mindestens zwei dieser Stäbe jeweils eine in Bezug auf die Zelle nach außen gerichtete ebene Fläche aufweisen und die Feldlinien des geschlossenen Magnetkreises im Inneren dieser Stäbe parallel zu den ebenen Flächen verlaufen,

- 35 • eine oder mehrere Wicklungen (62, 64; 76), wobei jede dieser Wicklungen um einen Stab des Magnetkerns derart gewickelt ist, dass mindestens die zwei Stäbe mit einer ebenen Fläche frei von jedweder wicklung gelassen werden und

- 40 • die elementaren Zellen jeweils zu zweit mittels ihrer jeweiligen ebenen Fläche aneinandergesetzt sind, um Paare von ersten und zweiten Zellen zu bilden, die magnetisch aneinandergesetzt sind, bei der:

- a) die oder jede Wicklung ( $e_{1i}$ ,  $e_{2i}$ ) der ersten Zelle an eine entsprechende Phase der Versorgungsquelle derart angeschlossen ist, dass im Betrieb ein magnetisierender Fluss in dem Stab der ersten Zelle, die an die zweite Zelle angefügt ist, erzeugt wird, dessen Grundkomponente einen Winkelversatz  $x_i$  aufweist und
- 45 b) die oder jede Wicklung ( $e_{1i+1}$ ,  $e_{2i+1}$ ) der zweiten Zelle an eine entsprechende Phase der Versorgungsquelle derart angeschlossen ist, dass im Betrieb ein magnetisierender Fluss in dem Stab der zweiten Zelle, die an die erste Zelle angefügt ist, erzeugt wird, dessen Grundkomponente eine Winkelversetzung  $x_j$  aufweist,

- dadurch gekennzeichnet dass** der Absolutwert der Differenz zwischen den Winkelversetzungen  $x_i$  und  $x_j$  größer als  $\frac{4\pi}{N}$  rad ist.

6. Vorrichtung zur Versorgung eines elektrischen Dipols, umfassend:

- 55 - eine N-Phasenversorgungsquelle (16; 126; 142), wobei die Winkelversetzungen zwischen den Phasen gleichmäßig zwischen 0 und  $2\pi$  rad verteilt sind und wobei N eine ganze Zahl größer oder gleich vier ist und  $2\pi$  rad eine Periode der periodischen Spannung oder des periodischen Stroms repräsentiert,

## EP 2 080 203 B1

- einen in mindestens vier elementare magnetische Zellen zerlegbaren magnetischen Koppler (18; 50; 92; 128; 148), wobei jede Zelle umfasst:

- einen Magnetkern ( $n_i$ ), der geeignet ist, nur einen ersten und einen zweiten geschlossenen, ringförmigen Magnetkreis ( $E_{Hi}$ ,  $E_{Bi}$ ) zu bilden, die einen gemeinsamen Bereich haben, wobei dieser Kern einen zentralen Magnetstab ( $B_{Ci}$ ), mittels dessen der den zwei geschlossenen Magnetkreisen gemeinsame Bereich hergestellt wird, und mindestens zwei nichtkollineare Stäbe ( $B_{1i}$ ,  $B_{5i}$ ) umfasst, die jeweils in Bezug auf die Zelle eine nach außen gerichtete ebene Fläche ( $F_{1i}$ ,  $F_{5i}$ ) aufweisen und die Feldlinien des geschlossenen ersten und zweiten Magnetkreises im Inneren dieser Stäbe parallel zu ihren ebenen Flächen verlaufen,
- eine oder mehrere Wicklungen, wobei jede dieser Wicklungen um den zentralen Stab derart gewickelt ist, dass mindestens die zwei Stäbe mit einer ebenen Fläche, frei von jedweder Wicklung, gehalten werden und
- die elementaren Zellen jeweils zu zweit mittels ihrer jeweiligen ebenen Flächen aneinandergesetzt sind, um Paare von ersten und zweiten Zellen zu bilden, die magnetisch aneinandergesetzt sind, bei der:

a) die oder jede Wicklung ( $e_{1i}$ ,  $e_{2i}$ ) der ersten Zelle an eine entsprechende Phase der Versorgungsquelle derart angeschlossen ist, dass bei Betrieb ein magnetisierender Fluss in dem Stab der ersten Zelle, die an die zweite Zelle angefügt ist, erzeugt wird, dessen Grundkomponente eine Winkelversetzung  $x_i$  aufweist, und

b) die oder jede Wicklung ( $e'_{1i}$ ,  $e'_{2i}$ ) der zweiten Zelle an eine entsprechende Phase der Versorgungsquelle derart angeschlossen ist, dass im Betrieb ein magnetisierender Fluss in dem Stab der zweiten Zelle, die an die erste Zelle angefügt ist, erzeugt wird, dessen Grundkomponente eine Winkelversetzung  $x_j$  aufweist,

**dadurch gekennzeichnet, dass** der Absolutwert der Differenz zwischen den Winkelversetzungen  $x_i$  und  $x_j$  größer als  $\frac{4\pi}{N}$  rad ist,

7. Vorrichtung nach einem beliebigen der Ansprüche 5 oder 6, in der der Absolutwert der Differenz zwischen den Winkelversetzungen  $x_i$  und  $x_j$  zwischen  $\pi - \frac{2\pi}{N}$  und  $\pi + \frac{2\pi}{N}$  für jede Zelle liegt.

8. Vorrichtung nach einem beliebigen der Ansprüche 5 bis 7, bei der jede Wicklung der zweiten Zelle sich von der entsprechenden Wicklung der ersten Zelle durch axiale Symmetrie längs einer Achse ableitet, die kollinear zu den zusammengeführten Flächen ist.

9. Vorrichtung nach einem beliebigen der Ansprüche 5 bis 8, bei der jede Zelle mindestens eine erste und eine zweite Wicklung ( $e_{1i}$ ,  $e_{2i}$ ) umfasst, die um denselben Stab in entgegengesetzten Richtungen zueinander gewickelt sind.

10. Vorrichtung nach einem beliebigen der Ansprüche 5 bis 8, bei der jede Zelle eine erste und eine zweite Wicklung ( $e_{1i}$ ,  $e_{2i}$ ) umfasst, wobei die erste Wicklung und die zweite Wicklung an entsprechenden Phasen der Versorgungsquelle derart angeschlossen sind, dass im Betrieb die winkelmäßige Phasenverschiebung zwischen den Versorgungsspannungen jeder dieser Wicklungen zwischen  $\pi - \frac{2\pi}{N}$  und  $\pi + \frac{2\pi}{N}$  liegt.

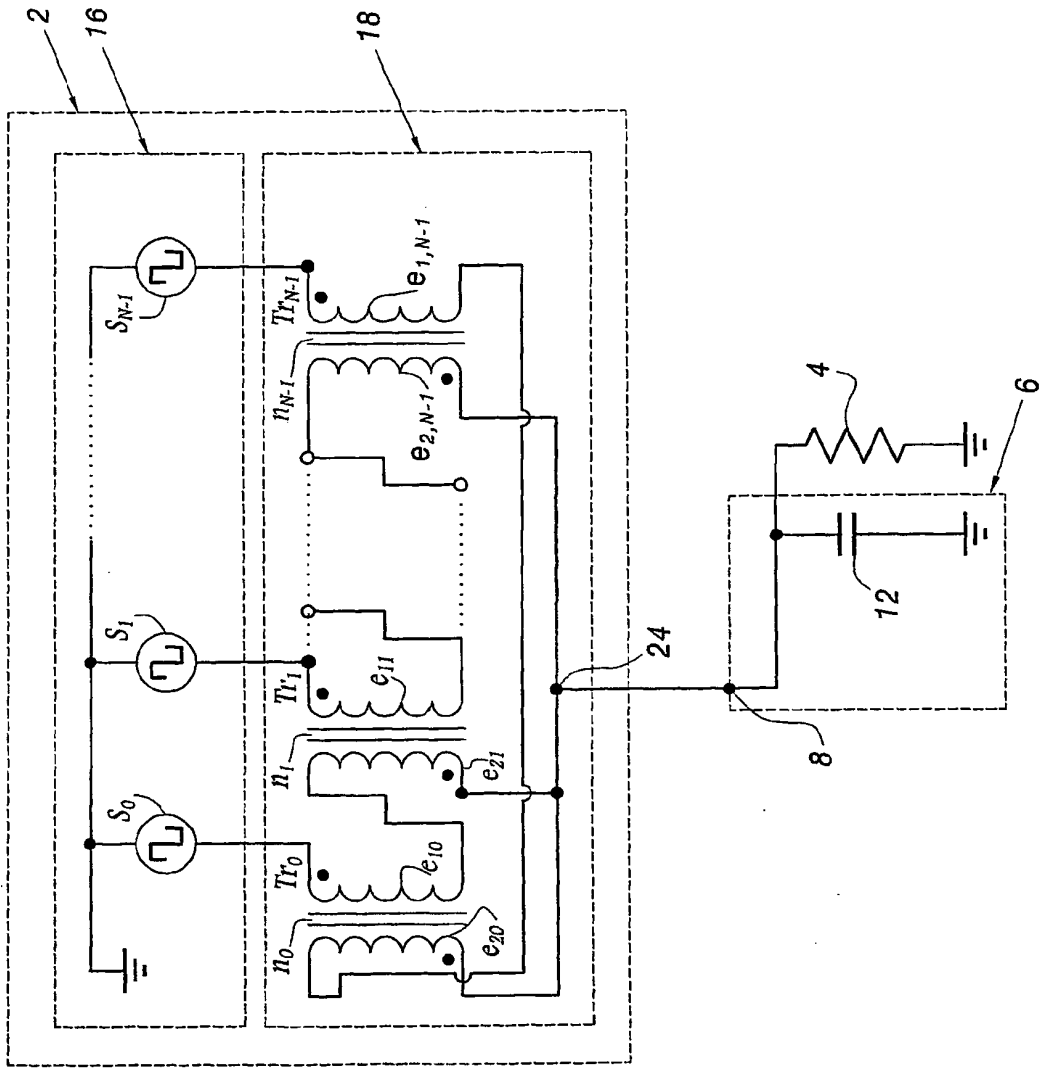
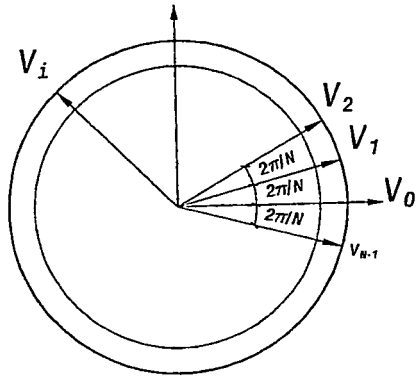


Fig.1



*Fig. 2*

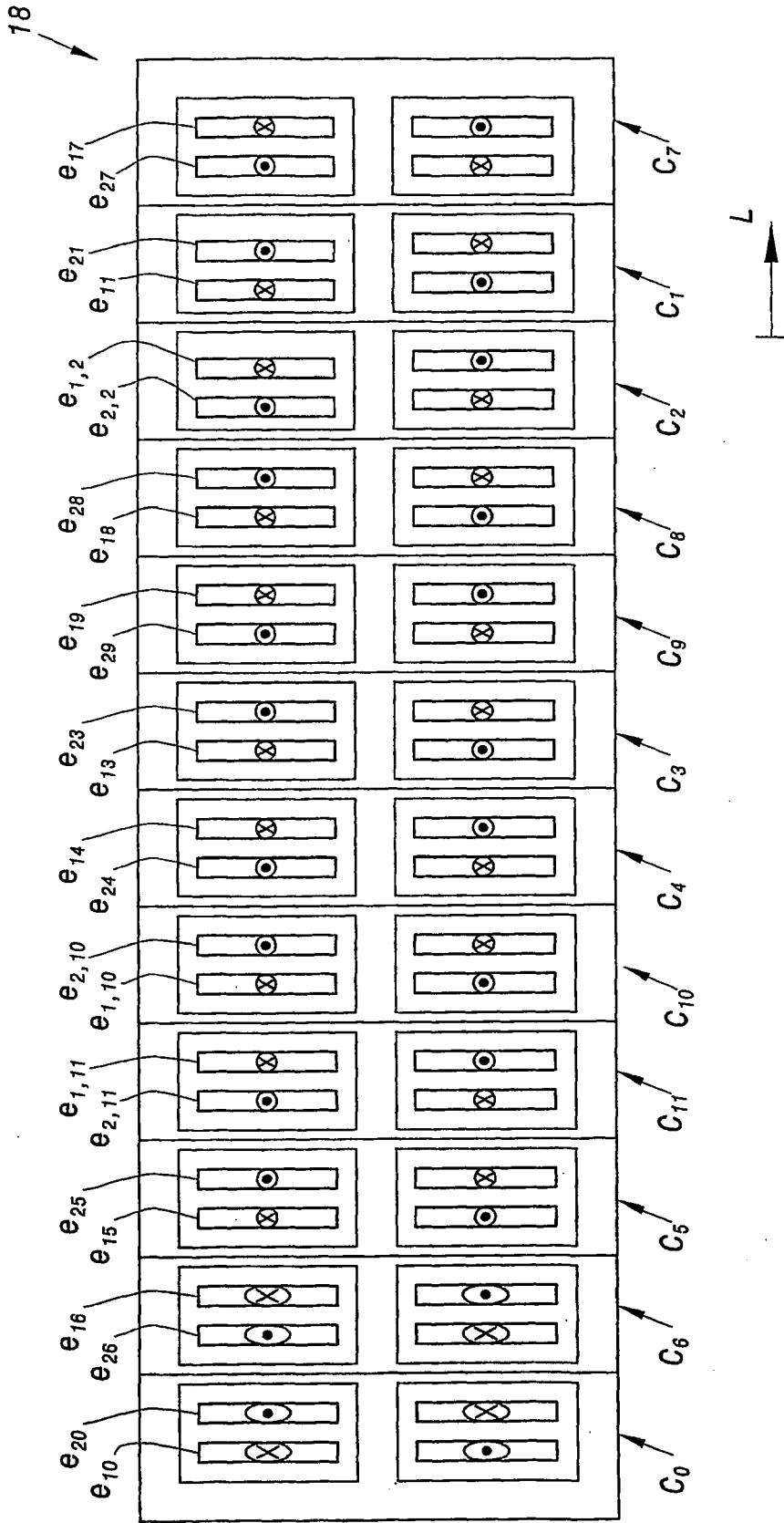
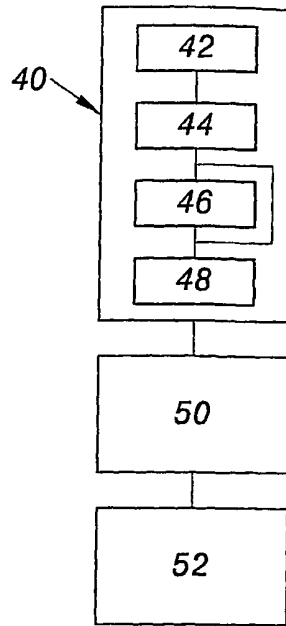
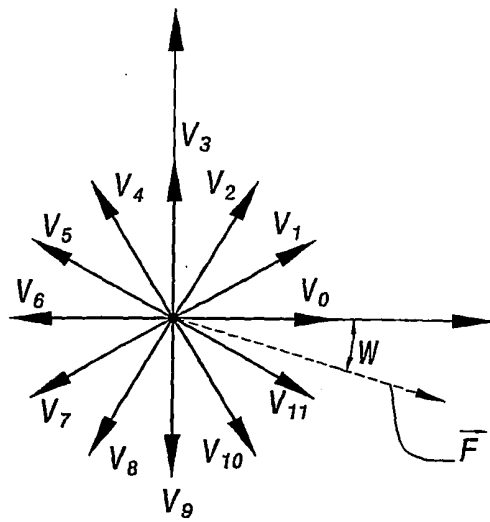


Fig. 3





*Fig.5*



*Fig.6*

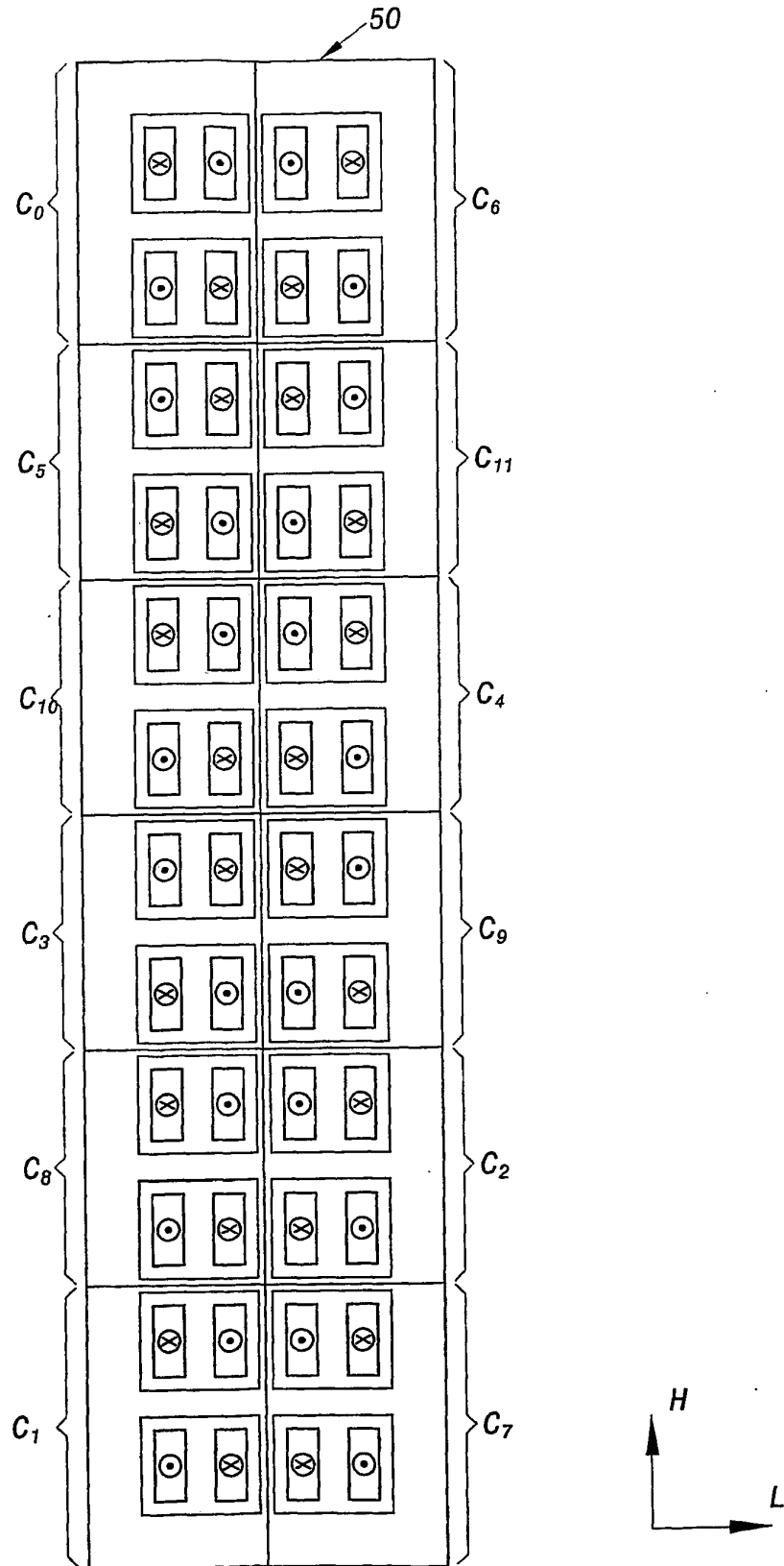


Fig. 7

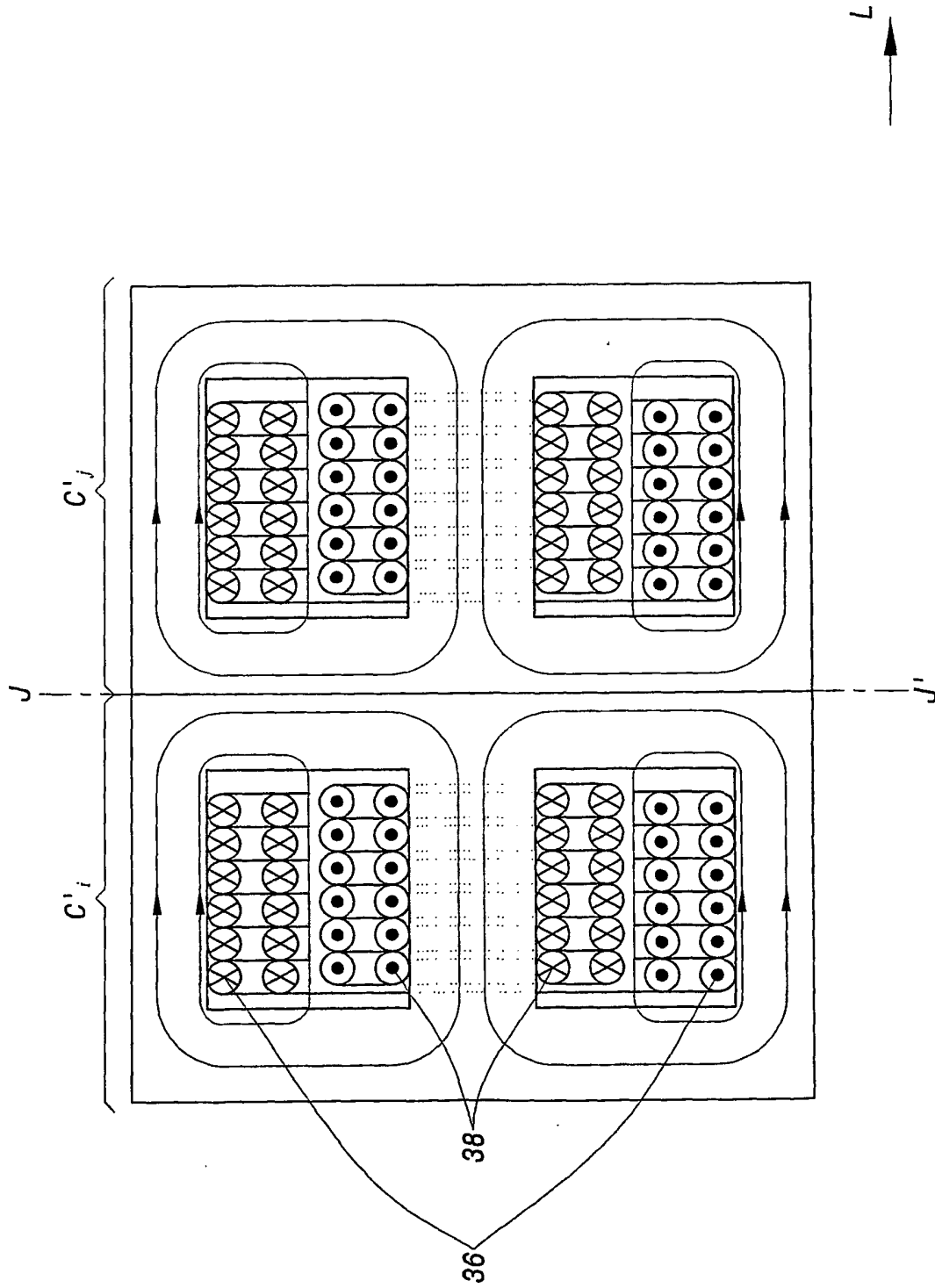


Fig.8

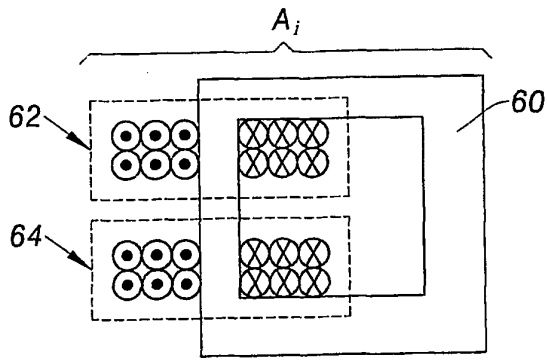


Fig. 9

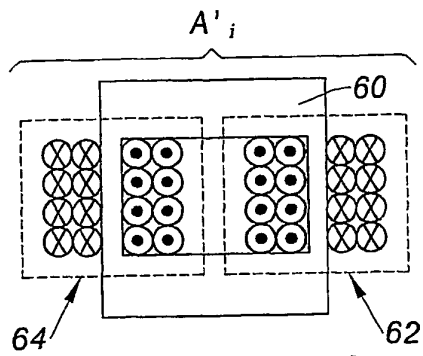


Fig. 10

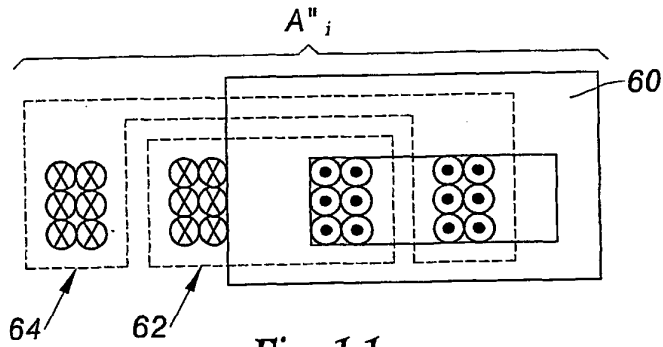


Fig. 11

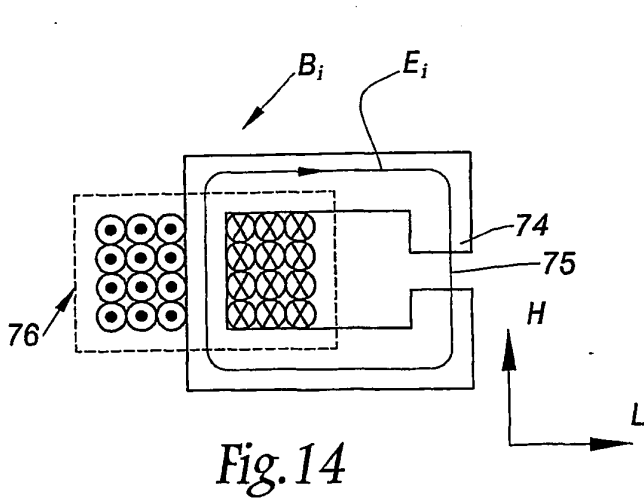


Fig. 14

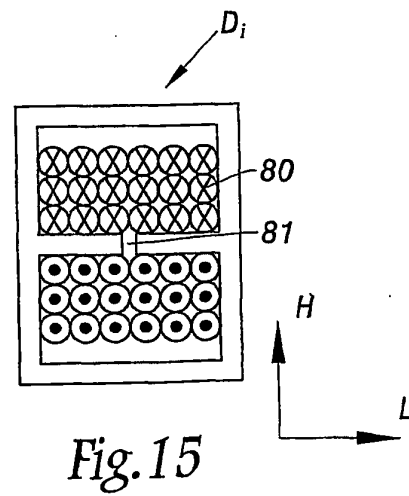


Fig. 15

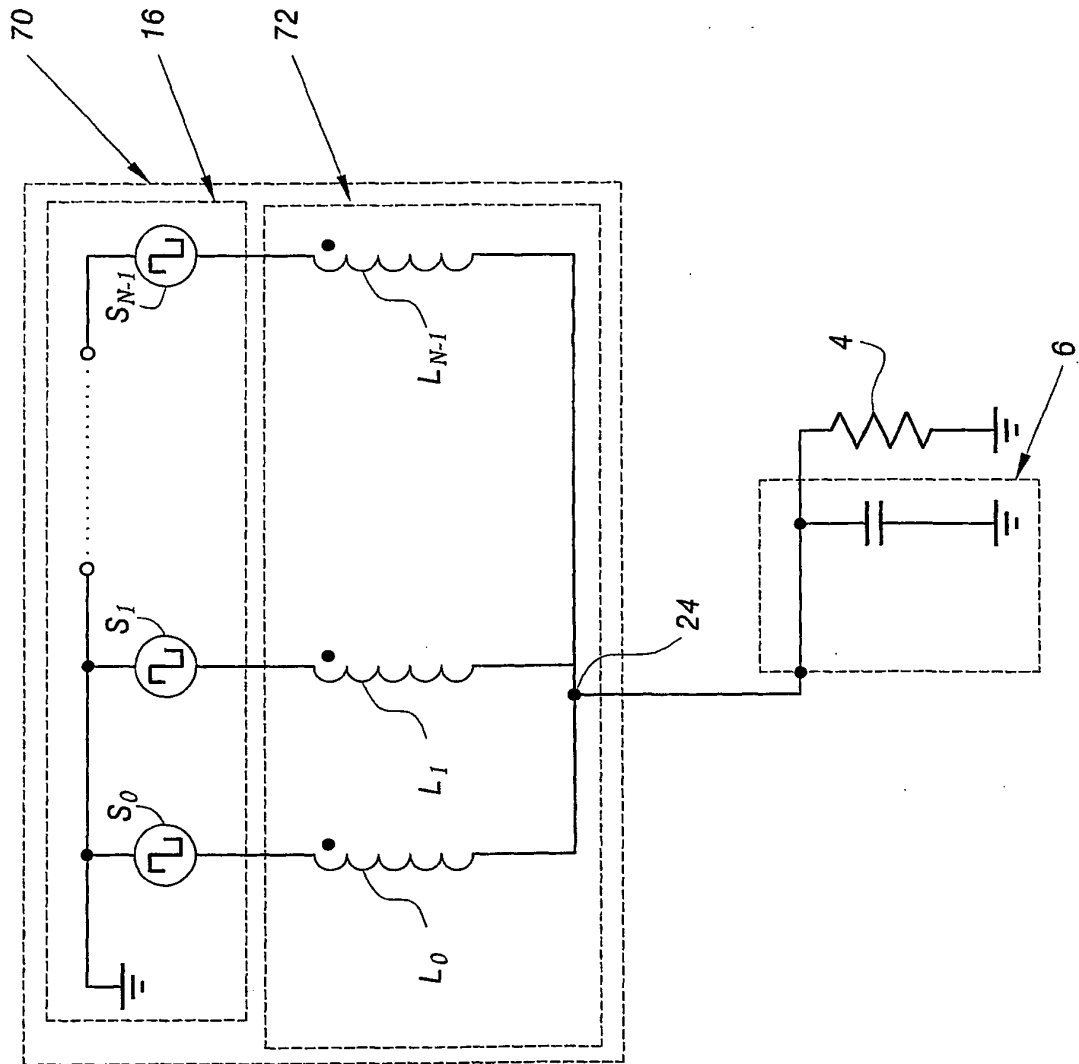


Fig. 12

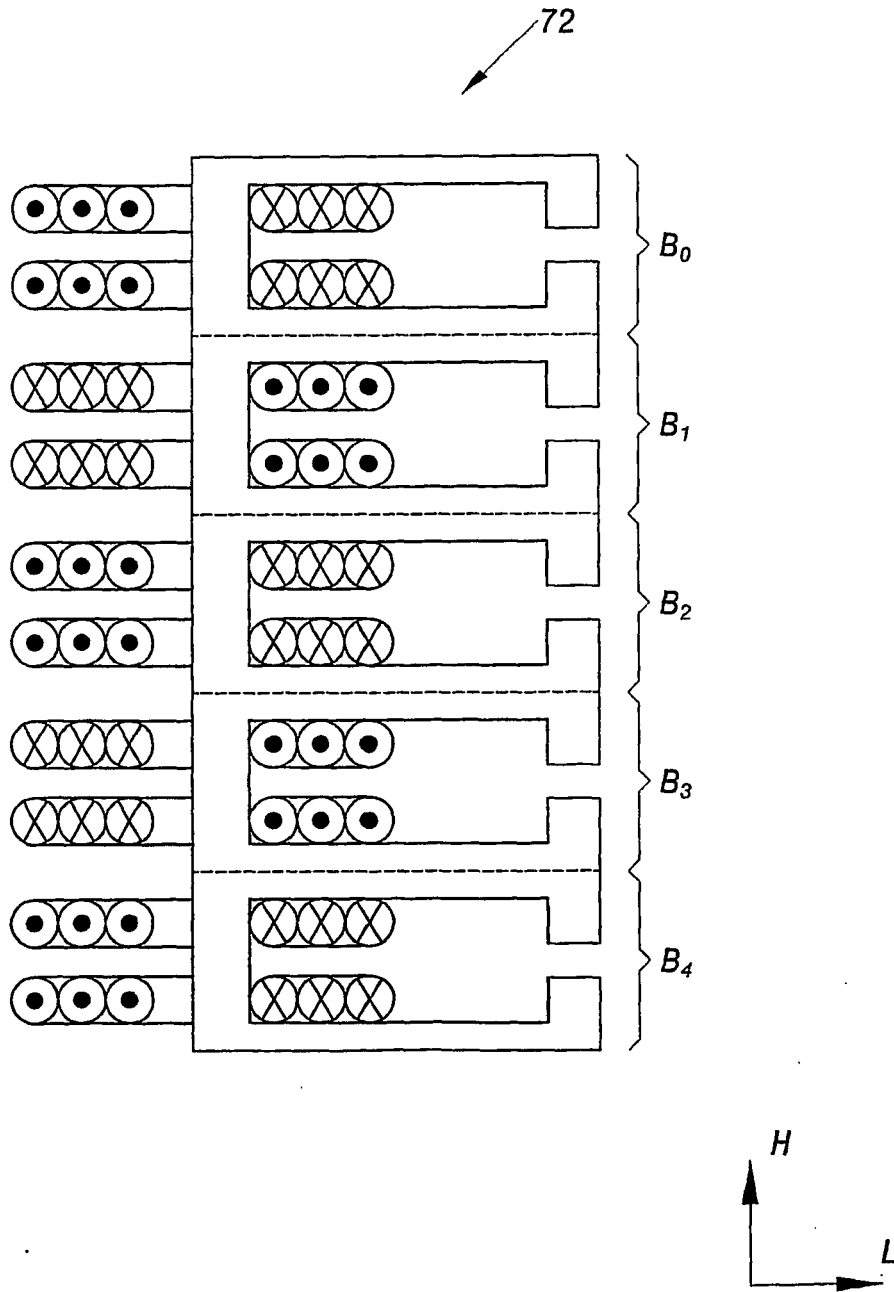


Fig. 13

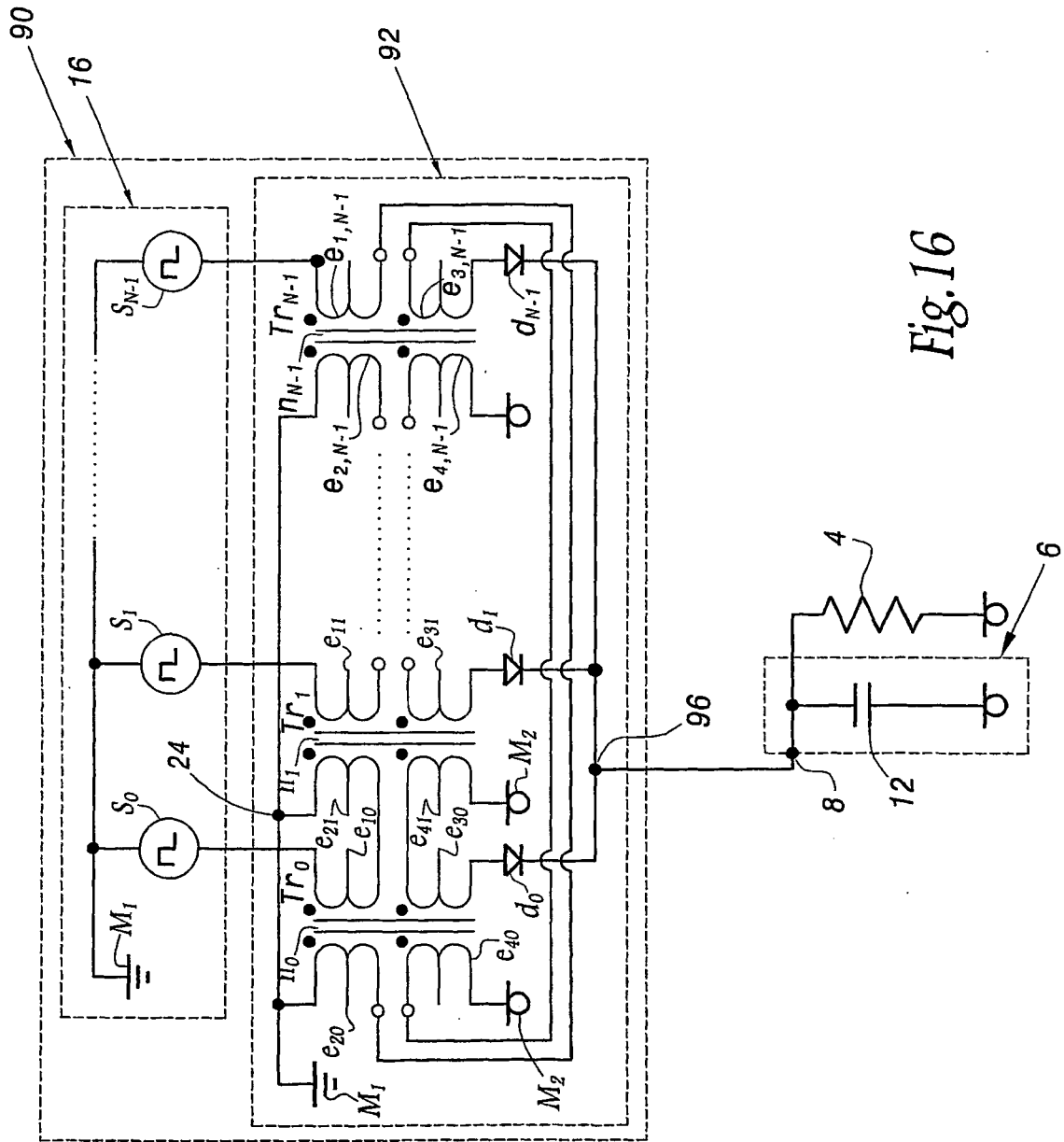


Fig. 16

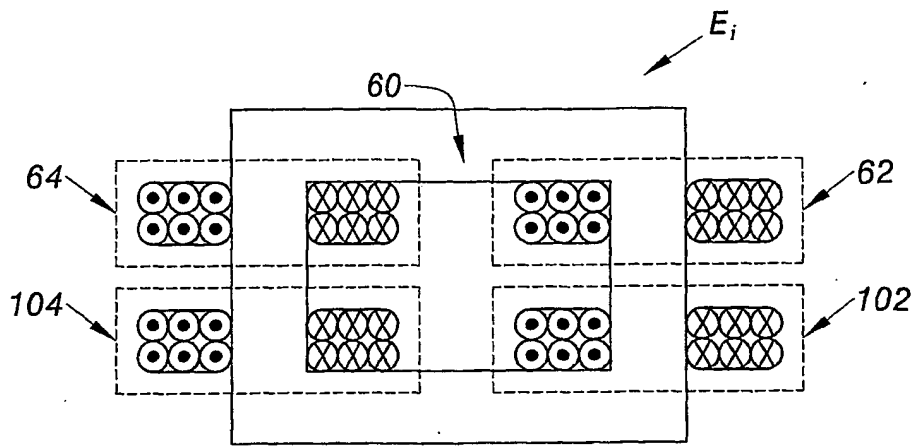


Fig. 17

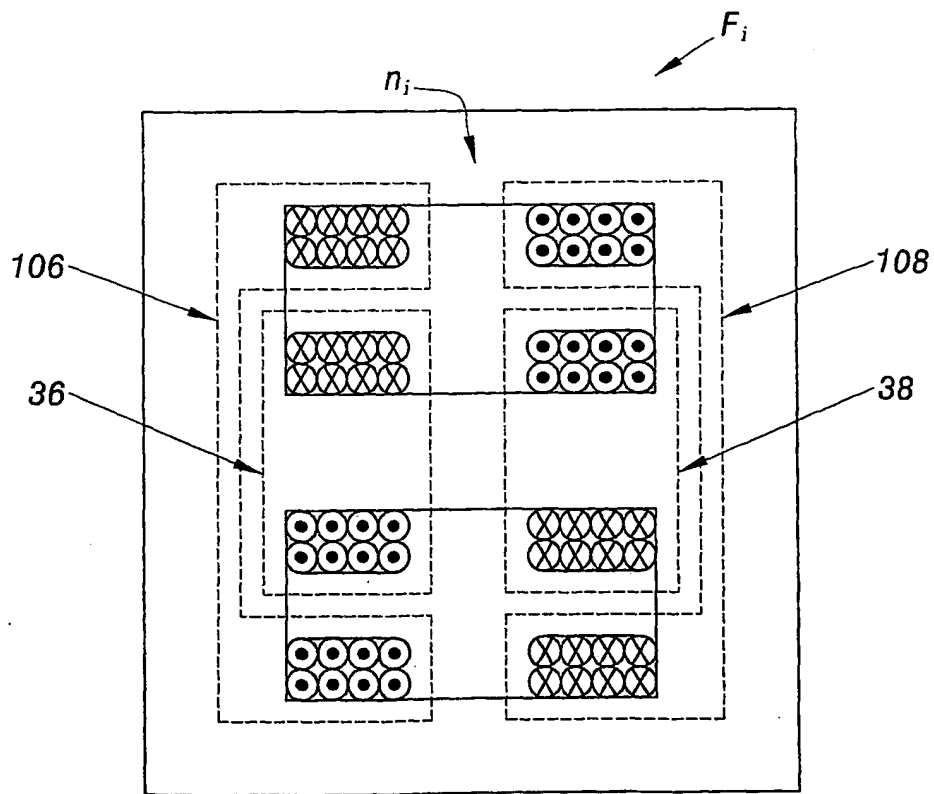


Fig. 18

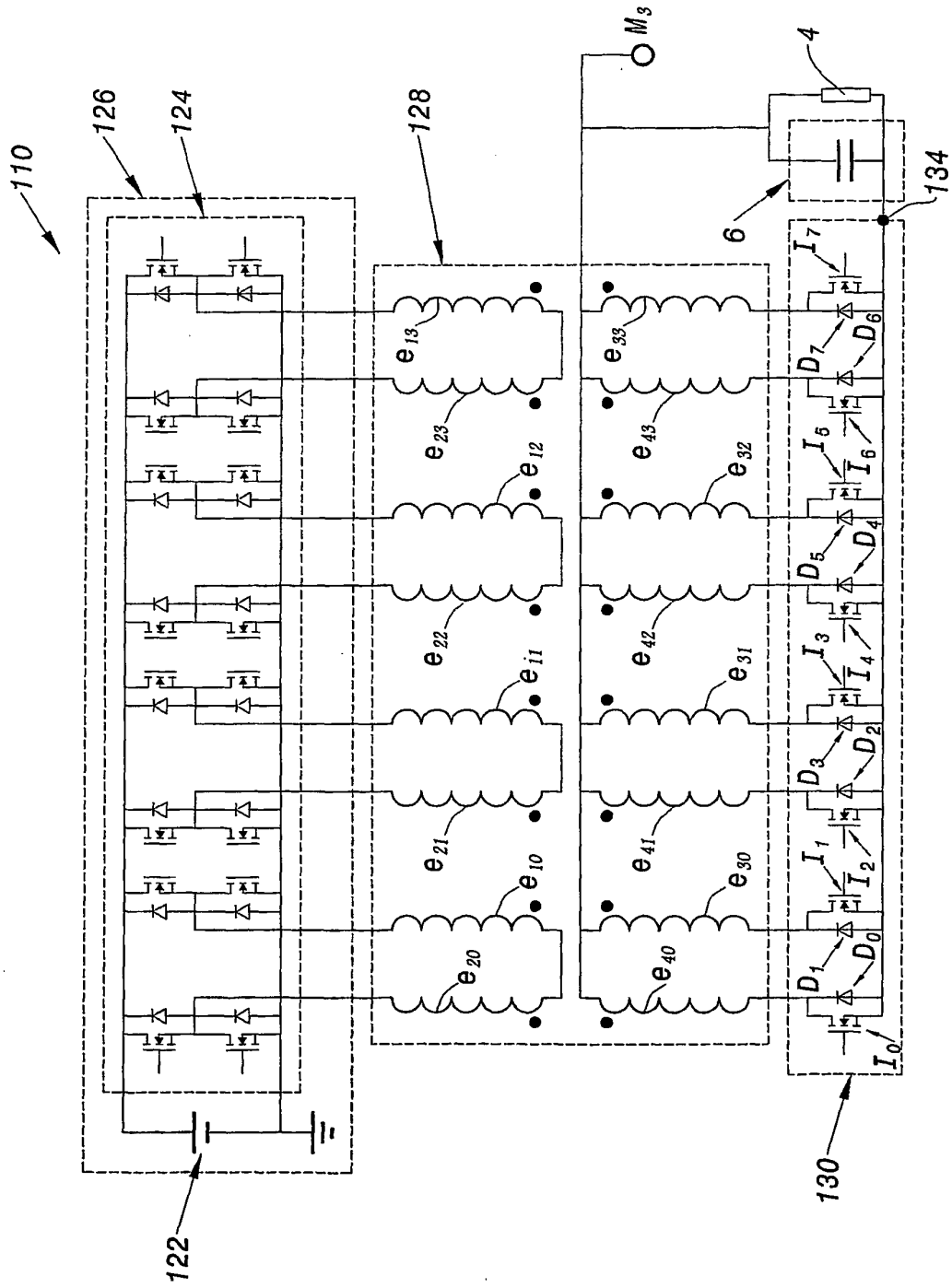


Fig. 19

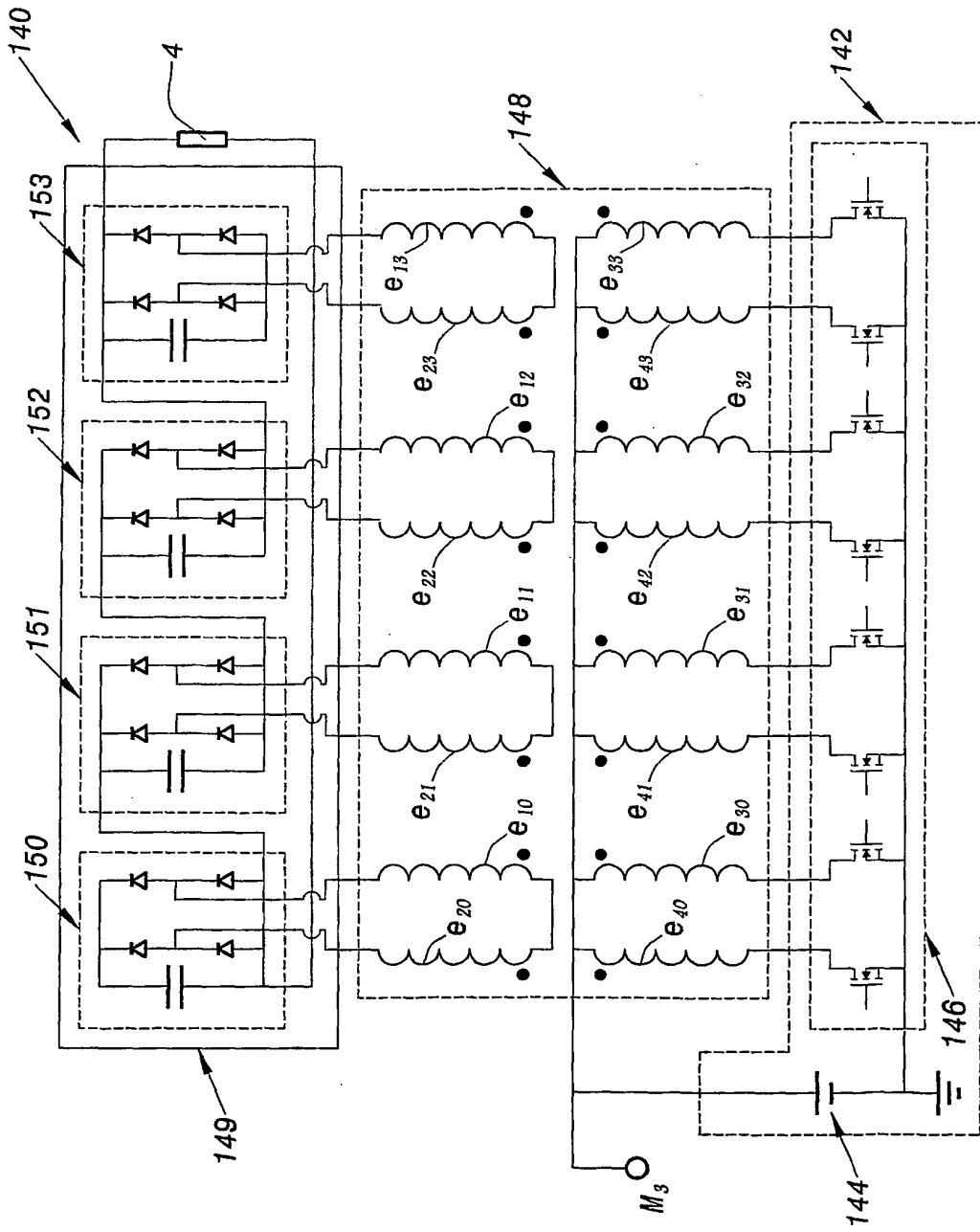


Fig.20

**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 0507136 [0062] [0157]

**Littérature non-brevet citée dans la description**

- **GYU PARK ; SEON IK KIM.** Modeling and Analysis of Multi-Interphase Transformers for Connecting Power Converters in Parallel. Wonkwang University, 1997, 570-749 [0002]