



(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2007/10/22
(87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2008/05/15
(45) Date de délivrance/Issue Date: 2015/12/15
(85) Entrée phase nationale/National Entry: 2009/04/17
(86) N° demande PCT/PCT Application No.: FR 2007/001741
(87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2008/056045
(30) Priorité/Priority: 2006/10/20 (FR06 09233)

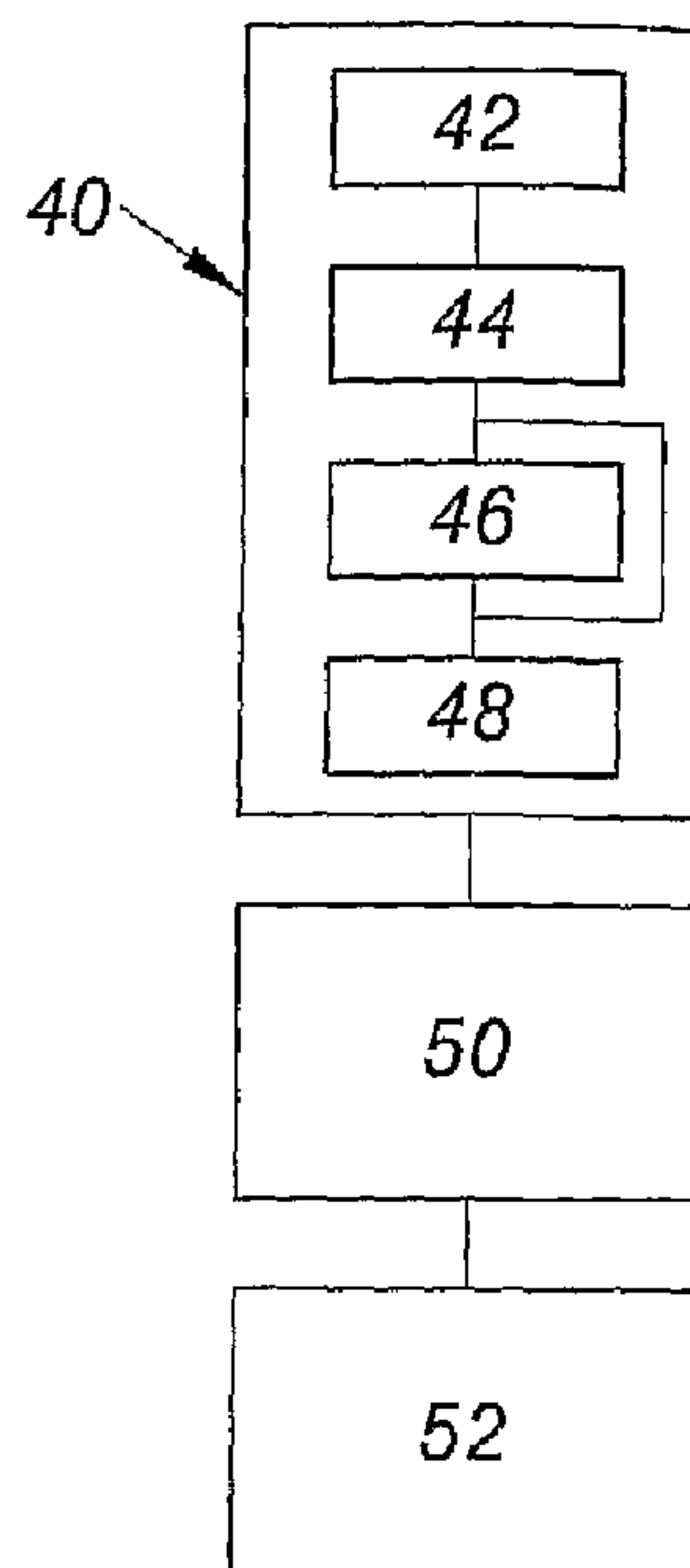
(51) Cl.Int./Int.Cl. *H03H 7/21* (2006.01),
H01F 30/14 (2006.01), *H02M 3/22* (2006.01)

(72) Inventeurs/Inventors:
LABOURE, ERIC, FR;
MEYNARD, THIERRY ANTOINE, FR;
FOREST, FRANCOIS, FR

(73) Propriétaires/Owners:
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE (C.N.R.S.), FR;
INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE
TOULOUSE, FR;
UNIVERSITE MONTPELLIER 2 SCIENCES ET
TECHNIQUES, FR

(74) Agent: ROBIC

(54) Titre : PROCEDE D'ALIMENTATION D'UN COUPLEUR MAGNETIQUE ET DISPOSITIF D'ALIMENTATION D'UN
DIPOLE ELECTRIQUE
(54) Title: METHOD FOR POWERING A MAGNETIC COUPLER AND DEVICE FOR POWERING AN ELECTRIC
DIPOLE



(57) Abrégé/Abstract:

Procédé d'alimentation d'un coupleur magnétique dans lequel : a) on alimente chaque bobinage d'une première cellule magnétique élémentaire de manière à produire un flux magnétisant dans un barreau accolé de la première cellule avec une seconde cellule, dont la composante fondamentale présente un décalage angulaire x_1 , et b) on alimente chaque bobinage de la seconde cellule 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_2 . La valeur absolue de la différence entre les décalages angulaires x_1 et x_2 est supérieure ou égale (l) rad.



(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété

Intellectuelle
Bureau international

PCT

(43) Date de la publication internationale
15 mai 2008 (15.05.2008)(10) Numéro de publication internationale
WO 2008/056045 A1(51) Classification internationale des brevets :
H01F 30/14 (2006.01)(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2007/001741(22) Date de dépôt international :
22 octobre 2007 (22.10.2007)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

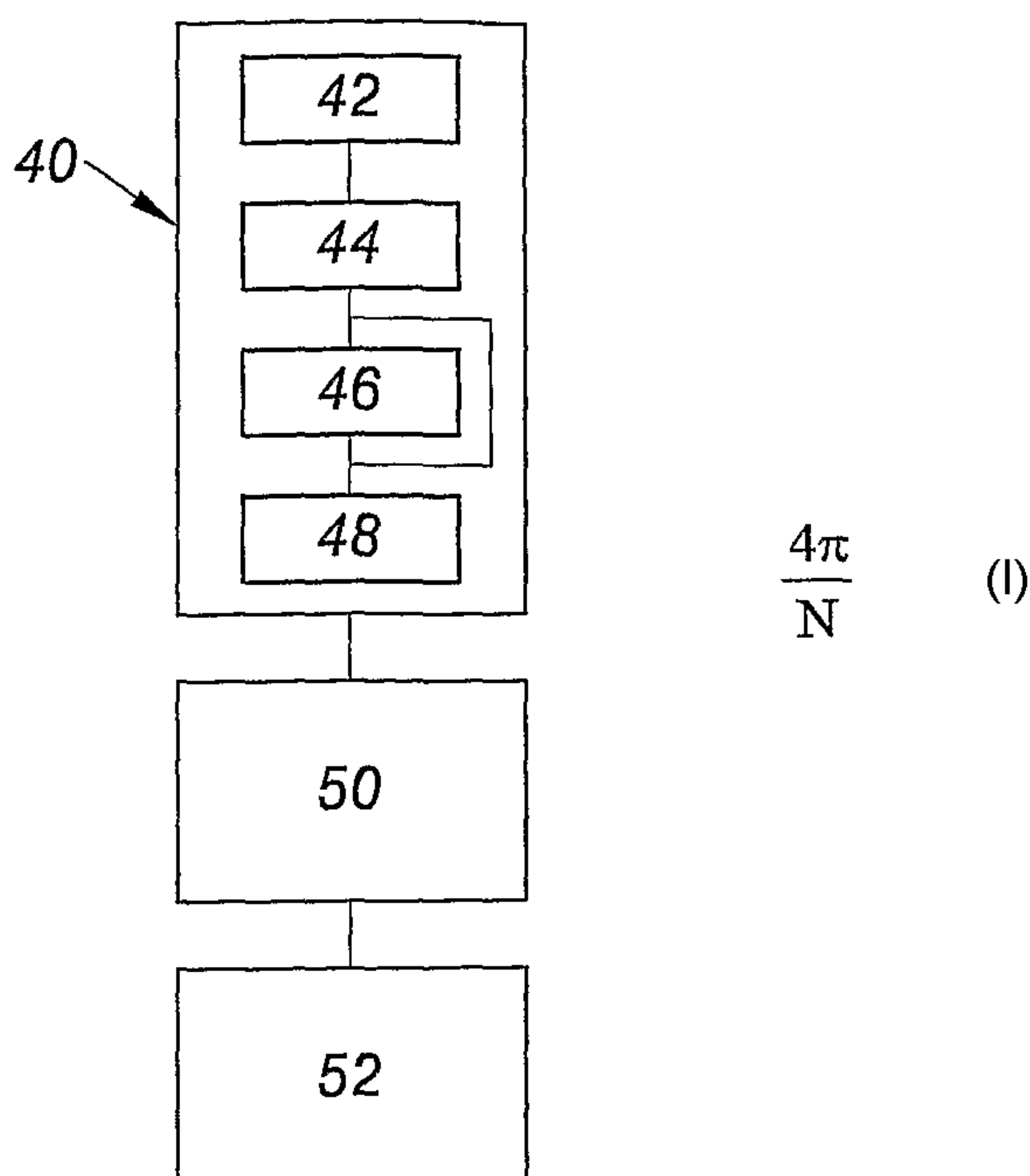
(30) Données relatives à la priorité :
06 09233 20 octobre 2006 (20.10.2006) FR(71) Déposants (pour tous les États désignés sauf US) :
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (C.N.R.S.) [FR/FR]; 3 rue Michel Ange,
F-75016 Paris (FR). **INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE TOULOUSE** [FR/FR]; 6 allée Emile
Monso, F-31029 Toulouse Cedex 4 (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) :
LABOURE, Eric [FR/FR]; 165 Avenue Aristide Briand,
F-94230 Cachan (FR). **MEYNARD, Thierry, Antoine**[FR/FR]; 43 rue des Mimosas, F-31700 Beauzelle (FR).
FOREST, François [FR/FR]; 347 Avenue de Peyregrosse,
F-34980 St Clement De Riviere (FR).(74) Mandataires : **LE CACHEUX, Samuel** etc.; Cabinet
Lavoix, 62 rue de Bonnel, F-69448 Lyon Cedex 03 (FR).(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de
protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AT,
AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN,
CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES,
FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN,
IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR,
LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX,
MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO,
RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,
GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM,
ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM),
européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI,
FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL,
PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: METHOD FOR POWERING A MAGNETIC COUPLER AND DEVICE FOR POWERING AN ELECTRIC DIPOLE

(54) Titre : PROCÉDE D'ALIMENTATION D'UN COUPLEUR MAGNETIQUE ET DISPOSITIF D'ALIMENTATION D'UN
DIPOLE ELECTRIQUE(57) Abstract: The invention relates to a method for powering a magnetic coupler, in which: a) each winding of a first magnetic elementary cell is powered such as to produce a magnetising flux in a bar of the first cell which is joined with a second cell, the fundamental component of which has an angular offset x_i ; and b) powering each winding of the second cell such as to produce a magnetising flux in the bar of the second cell which is joined with the first cell, the fundamental component of which has an angular offset x_j . The absolute value of the difference between the angular offsets x_i and x_j is greater than or equal to (I) rad.(57) Abrégé : Procédé d'alimentation d'un coupleur magnétique dans lequel : a) on alimente chaque bobinage d'une première cellule magnétique élémentaire de manière à produire un flux magnétisant dans un barreau accolé de la première cellule avec une seconde cellule, dont la composante fondamentale présente un décalage angulaire x_1 , et b) on alimente chaque bobinage de la seconde cellule 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 . La valeur absolue de la différence entre les décalages angulaires x_1 et x_j est supérieure ou égale (I) rad.

WO 2008/056045 A1

WO 2008/056045 A1



Publiée :

- *avec rapport de recherche internationale*
- *avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues*

PROCEDE D'ALIMENTATION D'UN COUPLEUR MAGNETIQUE ET
DISPOSITIF D'ALIMENTATION D'UN DIPOLE ELECTRIQUE

La présente invention concerne un procédé et un
5 dispositif d'alimentation d'un coupleur magnétique.

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
10 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
15 Instrumentation Eng., Wonkwang University, Iksan, Chonbuk,
570-749 Korea, IEEE 1997.

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

25 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
30 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.

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.

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
10 composante fondamentale présente un décalage angulaire x_j .

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

Les coupleurs magnétiques ainsi alimentés fonctionnent correctement mais sont encombrants.

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.

L'invention a donc pour objet un procédé d'alimentation de ces coupleurs magnétiques dans lequel la valeur absolue de
20 la différence entre les décalages angulaires x_i et x_j est supérieure ou égale à $\frac{4\pi}{N}$ rad.

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 π rad, ce qui correspond à une réduction optimale du flux magnétique maximal observable dans les barreaux accolés.

3a

La présente invention vise un procédé d'alimentation d'un coupleur magnétique décomposable en au moins quatre cellules magnétiques élémentaires, chaque cellule comportant :

10 . 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

20 . 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 $\underline{N}$ tensions ou courants d'alimentation périodiques décalés angulairement les uns par rapport aux autres, les décalages angulaires entre les $\underline{N}$ tensions ou courants d'alimentation utilisés étant uniformément distribués entre 0 et 2π rad, $\underline{N}$ étant un nombre entier supérieur ou égal à quatre et 2π rad représentant une période de la tension ou du courant périodique, et plus précisément à :

3b

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 ,
 10 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.

La présente invention vise aussi un procédé d'alimentation d'un coupleur magnétique décomposable en au moins quatre cellules magnétiques élémentaires, chaque cellule comportant :

20 . un noyau magnétique (n_i) propre à former uniquement un premier et un second circuits magnétiques fermés (E_{Hi} , E_{Si}) 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

3c

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

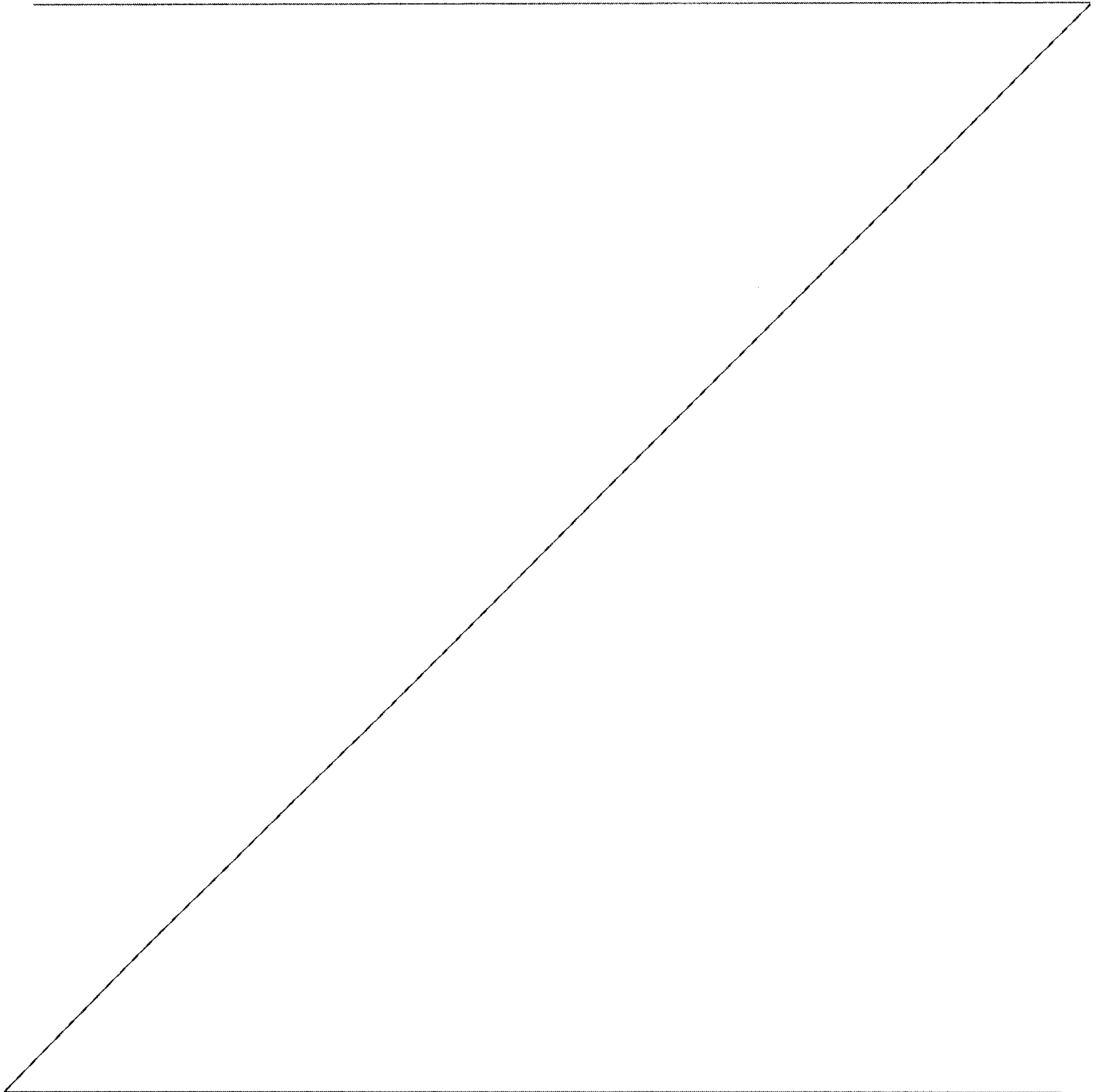
10 . les cellules élémentaires sont accolées deux par deux par l'intermédiaire de leurs faces planes respectives de manière à former des paires de premières et de secondes cellules accouplées magnétiquement les unes aux autres, le procédé consistant à alimenter (48) ce coupleur magnétique en utilisant $\underline{N}$ tensions ou courants d'alimentation périodiques décalés angulairement les uns par rapport aux autres, les décalages angulaires entre les $\underline{N}$ tensions ou courants d'alimentation utilisés étant uniformément distribués entre 0 et 2π rad, $\underline{N}$ étant un nombre entier supérieur ou égal à quatre et 2π rad représentant une période de la tension ou du courant périodique, et plus précisément à :

20 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

3d

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.



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.

5 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.

10 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

15 $\pi + \frac{2\pi}{N}$ 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.

L'invention a également pour objet un premier mode de réalisation d'un dispositif d'alimentation d'un dipôle
20 électrique, ce dispositif comportant :

- une source d'alimentation à N phases, les décalages angulaires entre les phases étant uniformément réparties entre 0 et 2π rad, N étant supérieur ou égal à quatre et 2π rad représentant une période de la tension ou
25 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
30 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,

5 . 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
10 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 :

15 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
20 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
25 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.

30 L'invention a également pour objet un second 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 répartis entre 0 et 2π rad, N étant supérieur ou égal à quatre et 2π rad représentant une période de la tension ou
5 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
10 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
15 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
20 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
25 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
30 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
5 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.

Les modes de réalisation de ces dispositifs
10 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 ;

15 - 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
20 second bobinages enroulés en sens inverse l'un de l'autre autour du même barreau ;

- chaque cellule comporte un premier et un second... bobinages, le premier bobinage et le second bobinage étant raccordés à des phases respectives de la source
25 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 $\pi + \frac{2\pi}{N}$.

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre
30 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 ;

5 - 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 ;

10 - 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 ;

15 - 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,

20 - 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 ;

25 - les figures 8 à 11 sont des illustrations schématiques de différents modes de réalisation de cellules magnétiques élémentaires susceptibles d'être mises en œuvre dans les coupleurs magnétiques des figures 3 et 7 ;

30 - 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 œuvre dans le coupleur magnétique de la figure 13 ;

5 - 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 ;

10 - les figures 17 et 18 sont des illustrations schématiques de différents modes de réalisation de cellules magnétiques élémentaires susceptibles d'être mises en œuvre pour réaliser un coupleur magnétique utilisable dans le dispositif de la figure 16 ;

15 - 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.

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

Par exemple, le dipôle 4 est une résistance.

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

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

30 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 $\frac{2\pi}{N}$ rad. Les décalages angulaires entre les tensions V_0 à V_{N-1} sont donc uniformément distribués entre 0 et 2π rad, comme illustré sur la figure 2.

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 $2\pi/N$.

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.

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.

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

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.

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_{1i} et d'un bobinage secondaire e_{2i} adjacents couplés magnétiquement l'un à l'autre par l'intermédiaire d'un noyau magnétique n_i , où i est le même indice que celui précédemment utilisé.

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

Pour simplifier la figure, seuls trois transformateurs Tr_0 , Tr_1 et Tr_{N-1} ont été représentés sur la figure 1.

Chaque bobinage primaire e_{1i} est directement raccordé par une extrémité à la source S_i .

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 raccordé à la source S_{N-1} par l'intermédiaire du bobinage $e_{1,N-1}$ du transformateur Tr_{N-1} .

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.

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.

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 .

Deux cellules adjacentes C_i et C_j sont représentées plus en détail sur la figure 4.

Chaque cellule C_i comprend un noyau magnétique n_i dont la section transversale est en forme d'échelle ou de « 8 ».

5 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

10 seul bloc.

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} .

15 La section transversale de chacun des montants ou barreaux est sensiblement rectangulaire.

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 .

20 Le noyau n_i présente deux fenêtres ou évidements 32 et 34 respectivement situées au-dessus et en dessous du barreau central $B_{c,i}$.

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

25 préférence, chaque bobinage comporte plusieurs spires.

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

30 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.

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.

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.

Le noyau n_i 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 n_i . 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 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 $w_i + \pi$.

Plus précisément, la ligne de champ du flux E_{Hi} entre par la droite du barreau central B_{Ci} 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_{Ci} 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.

Ainsi, le noyau n_i 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_{Ci} .

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.

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 C_i .

Lorsque les bobinages de la cellule C_j sont alimentés, des lignes de champ E_{Hi+1} et E_{Bi+1} apparaissent dans le noyau 30 de la cellule C_j . La même convention de signe que celle définie pour la cellule C_i s'applique à la cellule C_j .

La totalité du champ magnétique généré par les bobinages 36 et 38 n'est pas concentrée à l'intérieur du noyau n_i . Comme l'illustrent des flèches F_{Hi} et F_{Bi} , 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 n_i . Par exemple, ici,

les lignes du flux magnétique de fuite traversent fenêtrés 32, 34 pour se refermer. Par exemple, les fenêtrés 32, 34 sont formées d'air.

Dans ce mode de réalisation, les faces $F_{4,i}$, $F_{5,i}$ de la cellule C_i sont accolées, et plus précisément mises en contact, avec, respectivement, les faces $F_{2,j}$ et $F_{1,j}$ de la cellule C_j . Ainsi, les flux magnétisants E_{Hi} , E_{Hj} et E_{Bi} , E_{Bj} se combinent dans les montants M_{Di} et M_{Gj} .

Les montants M_{Di} et M_{Gj} sont, par exemple, collés ou solidarisés l'un avec l'autre par tout moyen permettant de maintenir un contact rapproché entre ces deux montants.

Les flèches S_H et S_B 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.

Avec cette convention de signe commune, on note :

- x_i^d le décalage angulaire des flux magnétisants E_{Hi} et E_{Bi} dans le barreau de la cellule C_i accolée à la cellule C_j , et

- x_j^g le décalage angulaire des flux magnétisants E_{Hj} et E_{Bj} dans les barreaux accolés à ceux de la cellule C_i .

Avec ces notations, on remarquera que sur la figure 4 le décalage x_i^d est égal au décalage w_i car les conventions de signe utilisées pour définir ces décalages w_i et x_i sont dans le même sens. Par contre, le décalage x_j^g est égal au décalage $w_j + \pi \text{ rad}$ car les conventions de signe utilisées pour définir les décalages w_j et x_j^g sont en sens opposé.

La figure 4 représente également une surface $O_{i,j}$ située à l'intersection des montants M_{Di} et M_{Gj} et perpendiculaire au plan de la feuille. Cette surface $O_{i,j}$ est traversée par les flux magnétisants E_{Bi} et E_{Bj} . A sens de déplacement identique pour les flux E_{Bi} et E_{Bj} , plus le décalage angulaire x_i du fondamental du flux magnétisant E_{Bi}

sera éloigné du décalage angulaire x_j du fondamental du flux magnétisant E_{Bj} plus le flux magnétisant maximal traversant la surface $O_{i,j}$ sera faible. Or, plus le flux magnétisant maximal traversant la surface $O_{i,j}$ est faible, plus la
 5 section horizontale des barreaux $B_{4,i}$ et $B_{2,j}$ peut être réduite, ce qui réduit l'encombrement du coupleur 18. Les mêmes explications s'appliquent à la réduction de l'encombrement des barreaux $B_{5,i}$ et $B_{1,j}$.

Le coupleur 18 comprend uniquement des cellules
 10 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.

La conception et le fonctionnement du dispositif 2
 15 vont maintenant être décrit en regard de la figure 5.

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
 20 la cellule C_i décrite en regard de la figure 4. Ensuite, les règles suivantes sont appliquées :

a) on choisit les tensions d'alimentation V_i de chaque bobinage d'une cellule C_i pour qu'un décalage angulaire α_i entre les tensions d'alimentation des deux
 25 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 C_i avec la cellule adjacente C_j qui génère avant collage dans les barreaux du montant gauche B_{1j} et B_{2j} les flux magnétisants E_{Hj} et E_{Bj}
 30 dont le décalage angulaire x_j est compris entre $x_i + \frac{2\pi}{N} + \pi$ et

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

La règle a) correspond à l'application de l'enseignement de la demande de brevet française déposée sous le numéro FR 05 07 136 et permet de limiter encore plus l'encombrement du coupleur 18.

5 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 :

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

Dans la table 1, le symbole C_i identifie la cellule.
 10 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 .

Puisque l'amplitude des tensions d'alimentation V_i sont toutes identiques et le décalage angulaire α_i étant le même pour chacune des cellules C_i , alors l'amplitude du
 15 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
 20 angulaire w_i du flux magnétisant généré par chaque cellule C_i à partir des tensions d'alimentation de la table 1, et

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 γ entre les décalages angulaires
 25 x_i et x_j des flux magnétisants dans les barreaux accolés, soit comprise entre $\pi - \frac{2\pi}{N}$ et $\pi + \frac{2\pi}{N}$.

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 .

30 La figure 6 correspond au graphe de la figure 2 dans le cas où N égal douze.

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 .

Le décalage angulaire w_i du flux magnétisant peut être
 5 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.
 Cette flèche F fait un angle $\underline{w}$ de $\frac{-\pi}{12}$ rad avec l'axe des
 abscisses. Cet angle $\underline{w}$ correspond à une estimation du
 10 décalage angulaire w_0 .

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.

Dans le cas du coupleur 18, à l'issue de l'opération
 15 42, on obtient la table 2 suivante dans laquelle les
 décalages w_i sont indiqués sur la seconde ligne :

Table 2

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

Ensuite, lors de l'opération 44, les cellules C_i sont
 20 classées par ordre croissant ou décroissant de décalage
 angulaire w_i .

Dans le cas présent, la liste de cellules classées
 par ordre croissant de décalages angulaires w_i est la
 suivante :

25 $\{C_0, C_5, C_{10}, C_3, C_8, C_1, C_6, C_{11}, C_4, C_9, C_2, C_7\}$.

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.

Dans ce premier mode de réalisation, on vérifie que la différence γ entre les décalages angulaires x_i^d et x_j^g est
5 proche de π 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_i^d dans le barreau B_{50} est donc égal à $-\pi/12$ rad. Le décalage x_j^g dans le barreau B_{15} est quant à lui égal à $w_5 + \pi$, c'est-à-dire à $\pi/12 + \pi$, car dans
10 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 γ est donc égale ici à $\pi + 2\pi/12$ rad.

Dans ce premier mode de réalisation, les décalages w_i sont répartis sur 360° et les composantes continues des
15 flux magnétisants dans les barreaux accolés ne s'annulent pas.

Pour obtenir un second mode de réalisation du coupleur dans lequel les différences γ se rapprochent encore plus de π rad, on procède à une étape 46 de
20 permutation des tensions d'alimentation.

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
25 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 .

30 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 $(V_b, -V_a)$.

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 π 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

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

On constate que les décalages angulaires de l'ensemble des cellules sont maintenant répartis sur 180° et non plus 360° .

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 :

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

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.

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.

On vérifie que, dans ce second mode de réalisation, la différence γ obtenue est plus proche de π 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 $-\pi/12\text{rad}$. Par conséquent, le décalage angulaire x_0^d dans le barreau B_{50} , avant collage, est égal à $-\pi/12\text{rad}$. Le décalage angulaire x_6^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_6^g est donné par la relation suivante : $x_6^g = w_6 + \pi$.

La différence γ est égale à π rad.

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

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.

Ce second mode de réalisation permet donc de rapprocher encore plus la différence γ de π 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.

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.

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
5 paire et ainsi de suite.

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 C₆, lors
10 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.

15 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
20 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
25 maximale de la composante fondamentale du flux magnétisant dans les barreaux accolés, de réduire également la composante continue dans ces mêmes barreaux accolés.

Par exemple, la table 5 suivante indique les tensions d'alimentation de chaque cellule du coupleur obtenue à
30 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)

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.

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.

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.

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)

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

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
5 verticale H.

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
10 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.
15

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.
20

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
30 des cellules de ces paires, et
- permutation de la position des bobinages de chacune de ces cellules.

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

L'opération de permutation des tensions d'alimentation est identique à l'opération 46 et permet donc d'ajouter un décalage de π rad permettant d'annuler la composante fondamentale dans les barreaux horizontaux
5 accolés.

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.

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

Table 8 (voir annexe)

On vérifie alors que la différence γ entre, par
15 exemple, le décalage x_5 dans le barreau B_{65} et le décalage x_0 dans le barreau B_{30} est proche de π 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
20 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 γ est égale à π rad.

Ainsi, dans le coupleur 50, l'encombrement des
25 montants verticaux accolés et des barreaux horizontaux accolés peut être fortement réduit.

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 .

30 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.

Par exemple, la cellule C'_j est identique à la cellule C'_i .

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.

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.

Dans la cellule A''_i , le bobinage 64 est enroulé autour du bobinage 62 et, de préférence, autour de la périphérie du bobinage 62.

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.

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.

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 ,
5 deux circuits magnétiques fermés annulaires s'établissent par des chemins différents.

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
10 qu'un coupleur magnétique 72 pour raccorder les N phases de la source 16 au dipôle 4.

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
15 point commun 24.

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.

Le coupleur 72 est réalisé par accolement de cinq
20 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.

Dans cet exemple, la cellule B_i comporte un noyau magnétique 74 ayant une section transversale annulaire. Ce
25 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
30 l'un des barreaux comporte un entrefer 75 pour empêcher la saturation du noyau 74 provoquée par une composante continue du flux magnétisant.

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.

10 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.

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 π rad.

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 .

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_i 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.

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.

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

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

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.

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} .

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.

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

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 .

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

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.

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.

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.

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

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 .

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

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.

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

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.

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 .

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 .

Le redresseur 130 est ici un redresseur bidirectionnel en courant.

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.

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.

De nombreux autres modes de réalisation sont
5 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
10 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
15 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
20 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} .
25 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
30 doit être raccordé pour minimiser le flux magnétique maximal dans les barreaux accolés.

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
5 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
10 les barreaux accolés.

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

Ici, le coupleur magnétique comprend autant de
15 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
20 de bobinages e_{1ik} et e_{2ik} raccordés en série reste, de préférence, inférieur à N .

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
25 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
30 du coupleur magnétique.

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

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.

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

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

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 π rad.

ANNEXE

Table 1

C ₀		C ₁		C ₂		C ₃		C ₄		C ₅		C ₆		C ₇		C ₈		C ₉		C ₁₀		C ₁₁	
V ₀	-V ₅	V ₅	-V ₁₀	V ₁₀	-V ₃	V ₃	-V ₈	V ₈	-V ₁	V ₁	-V ₆	V ₆	-V ₁₁	V ₁₁	-V ₄	V ₄	-V ₉	V ₉	-V ₂	V ₂	-V ₇	V ₇	-V ₀

Table 4

C ₀		C ₆		C ₅		C ₁₁		C ₁₀		C ₄		C ₃		C ₉		C ₈		C ₂		C ₁		C ₇	
V ₀	-V ₅	V ₁₁	-V ₆	V ₁	-V ₆	V ₀	-V ₇	V ₂	-V ₇	V ₁	-V ₈	V ₃	-V ₈	V ₂	-V ₉	V ₄	-V ₉	V ₃	-V ₁₀	V ₅	-V ₁₀	V ₄	-V ₁₁

Table 5

C ₀		C ₆		C ₅		C ₁₁		C ₁₀		C ₄		C ₃		C ₉		C ₈		C ₂		C ₁		C ₇	
V ₀	-V ₅	-V ₆	V ₁₁	V ₁	-V ₆	-V ₇	V ₀	V ₂	-V ₇	-V ₈	V ₁	V ₃	-V ₈	-V ₉	V ₂	V ₄	-V ₉	-V ₁₀	V ₃	V ₅	-V ₁₀	-V ₁₁	V ₄

Tableau 6

Nombre de cellules multiple de 4																				
N	C ₀	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅	C ₁₆	C ₁₇	C ₁₈	C ₁₉
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

Tableau 7

Nombre de cellules impair																			
N	C ₀	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅	C ₁₆	C ₁₇	C ₁₈
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 7	7-1								
13	1-7	-7 13	13-6	-6 12	12-5	-5 11	11-4	-4 10	10-3	-3 9	9-2	-2 8	8-1						
15	1-8	-8 15	15-7	-7 14	14-6	-6 13	13-5	-5 12	12-4	-4 11	11-3	-3 10	10-2	-2 9	9-1				
17	1-9	-9 17	17-8	-8 16	16-7	-7 15	15-6	-6 14	14-5	-5 13	13-4	-4 12	12-3	-3 11	11-2	-2 10	10-1		
19	1-10	-10 19	19-9	-9 18	18-8	-8 17	17-7	-7 16	16-6	-6 15	15-5	-5 14	14-4	-4 13	13-3	-3 12	12-2	-2 11	11-1

Table 8

C ₀		C ₆		C ₅		C ₁₁		C ₁₀		C ₄		C ₃		C ₉		C ₈		C ₂		C ₁		C ₇	
V ₀	-V ₅	-V ₆	V ₁₁	-V ₁	V ₆	V ₇	-V ₀	V ₂	-V ₇	-V ₈	V ₁	-V ₃	V ₈	V ₉	-V ₂	V ₄	-V ₉	-V ₁₀	V ₃	-V ₅	V ₁₀	V ₁₁	-V ₄

REVENDICATIONS

1. Procédé d'alimentation d'un coupleur magnétique décomposable en au moins quatre cellules magnétiques
5 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
10 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,

15 . 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
20 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
25 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 2π rad, N étant un nombre entier supérieur ou égal à quatre et 2π rad
30 représentant une période de la tension ou du courant périodique, et plus précisément 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
5 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 ,
10 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
15 élémentaires, chaque cellule comportant :

. un noyau magnétique (n_i) propre à former uniquement un premier et un second circuits magnétiques fermés (E_{Hi} , E_{Si}) annulaires ayant une portion commune, ce noyau comportant un barreau magnétique central (B_{Ci}) par
20 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
25 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,
30 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 $\underline{N}$ tensions ou courants d'alimentation périodiques décalés angulairement les uns par rapport aux autres, les décalages angulaires entre les $\underline{N}$ tensions ou courants d'alimentation utilisés étant uniformément distribués entre 0 et 2π rad, $\underline{N}$ étant un nombre entier supérieur ou égal à quatre et 2π rad représentant une période de la tension ou du courant périodique, et plus précisément 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.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, 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 cellules.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel chaque bobinage d'une cellule est _____

raccordé en série avec au moins un autre bobinage d'une autre cellule.

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

5 - une source (16 ; 126 ; 142) d'alimentation à N phases, les décalages angulaires entre les phases étant uniformément réparties entre 0 et 2π rad, N étant supérieur ou égal à quatre et 2π rad représentant une période de la tension ou du courant périodique,

10 - un coupleur magnétique (72) 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
15 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
20 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
25 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
30 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

5 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
10 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.

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

- une source d'alimentation (16 ; 126 ; 142) à N phases, les décalages angulaires entre les phases étant uniformément répartis entre 0 et 2π rad, N étant supérieur ou égal à quatre et 2π rad représentant une période de la
20 tension ou du courant périodique,

- un coupleur magnétique (18 ; 50 ; 92 ; 128 ; 148) décomposable en au moins quatre cellules magnétiques élémentaires, chaque cellule comportant :

. un noyau magnétique (n_i) propre à former
25 uniquement un premier et un second circuits magnétiques fermés (E_{Hi} , E_{Si}) 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
30 (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
5 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
10 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
15 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
20 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 ,
25 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
30 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
5 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
10 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
15 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 $\pi + \frac{2\pi}{N}$.

1/14

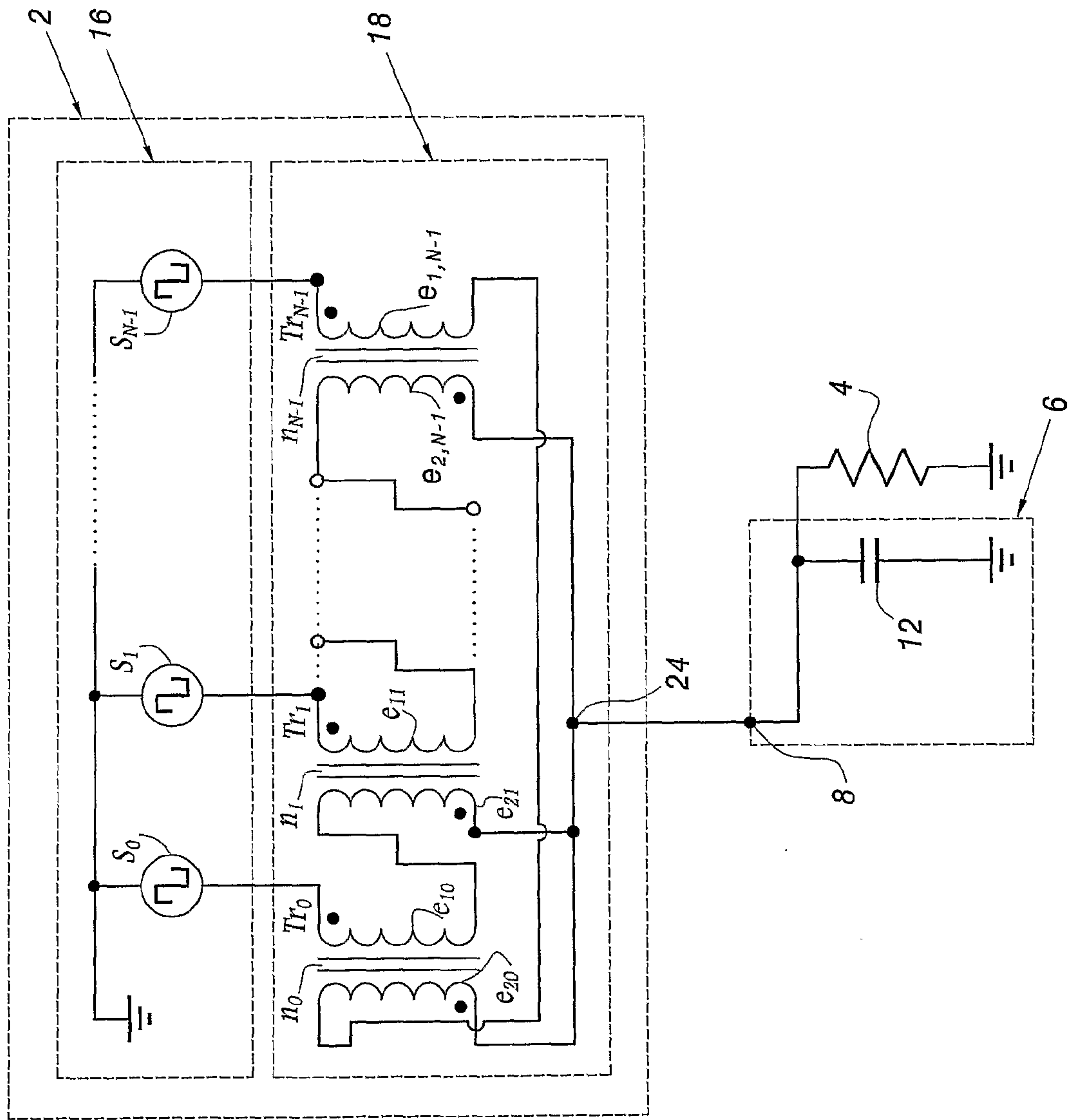
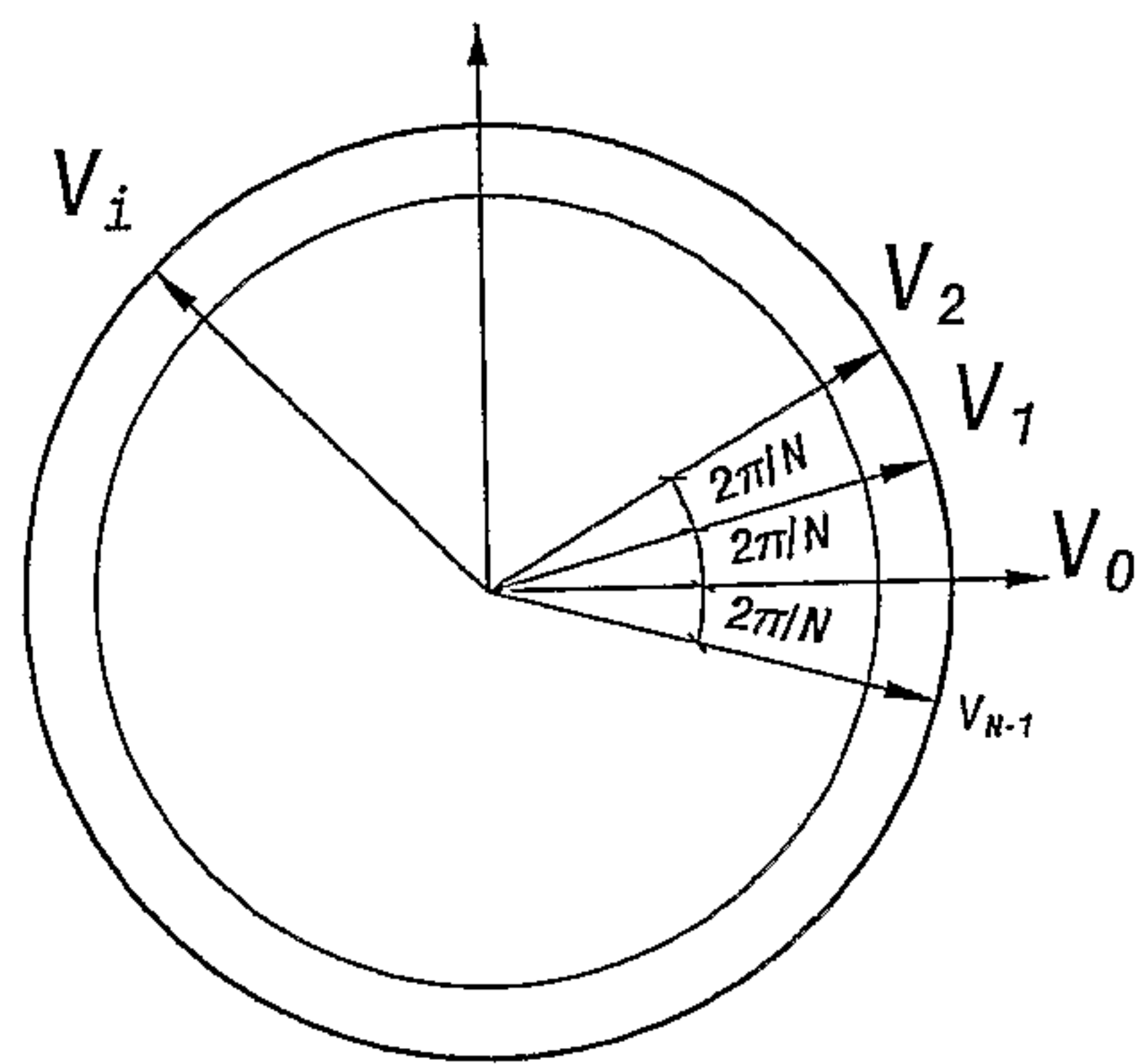


Fig. 1

2/14

*Fig. 2*

3/14

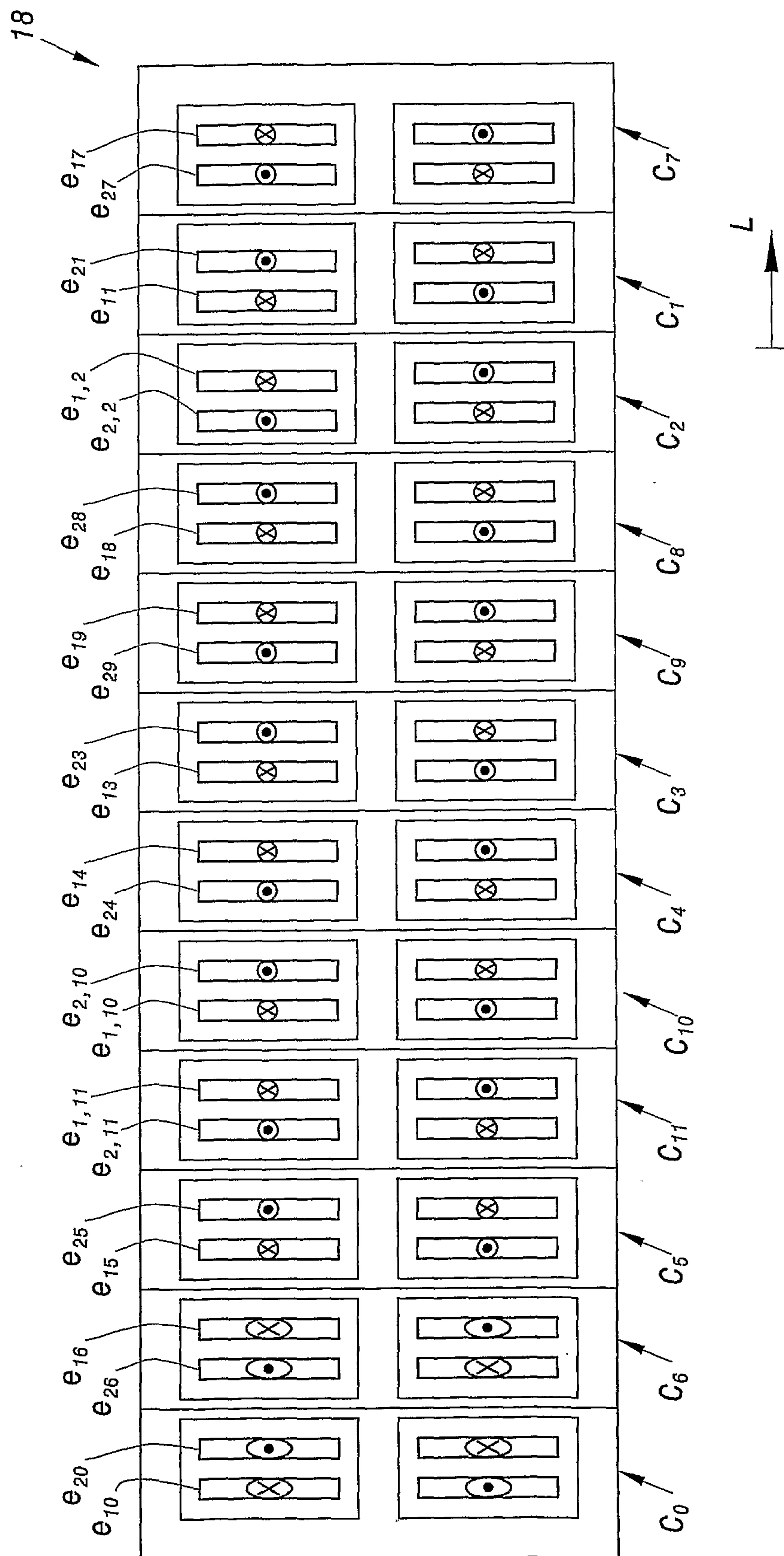


Fig. 3

4/14

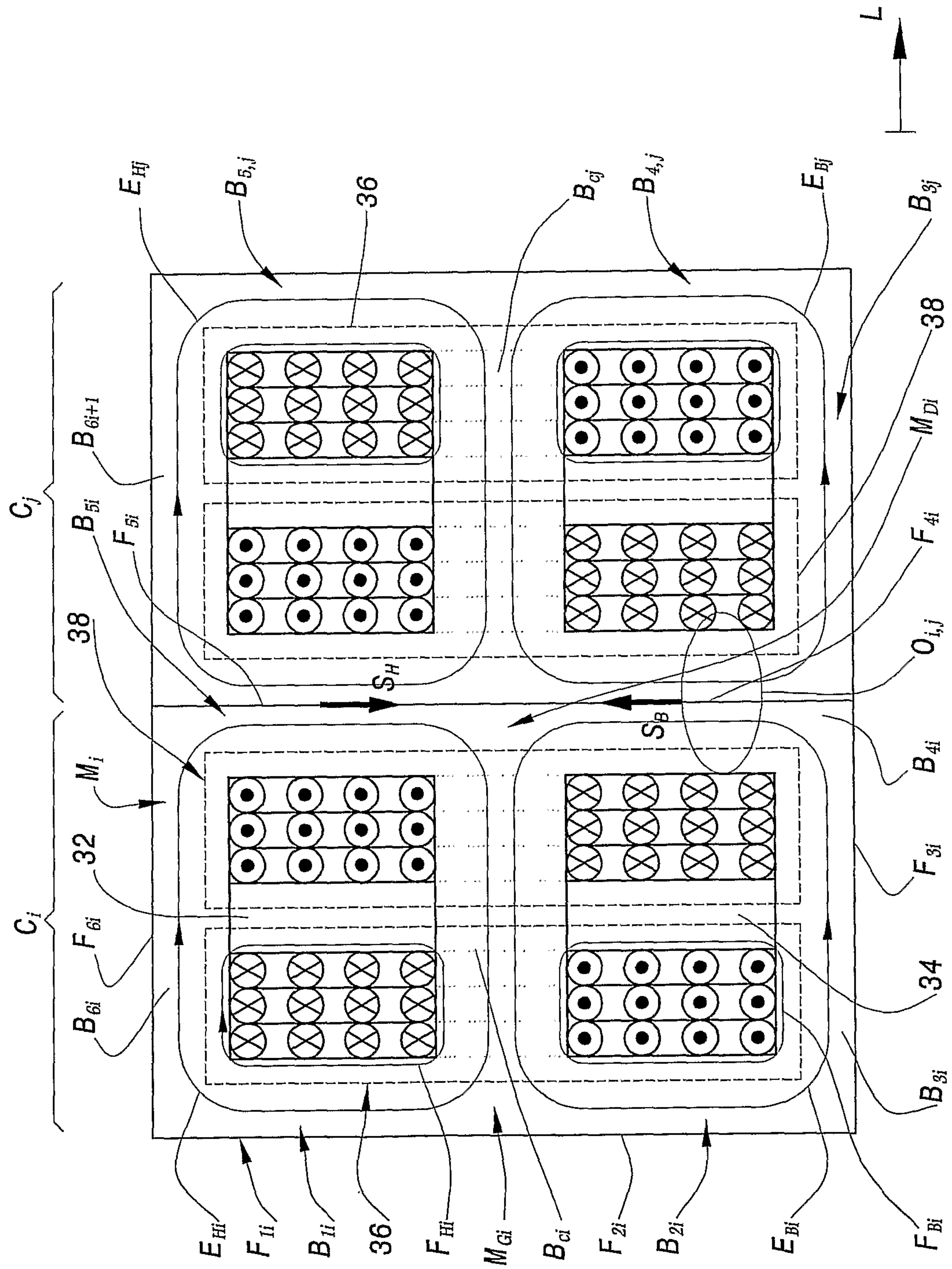
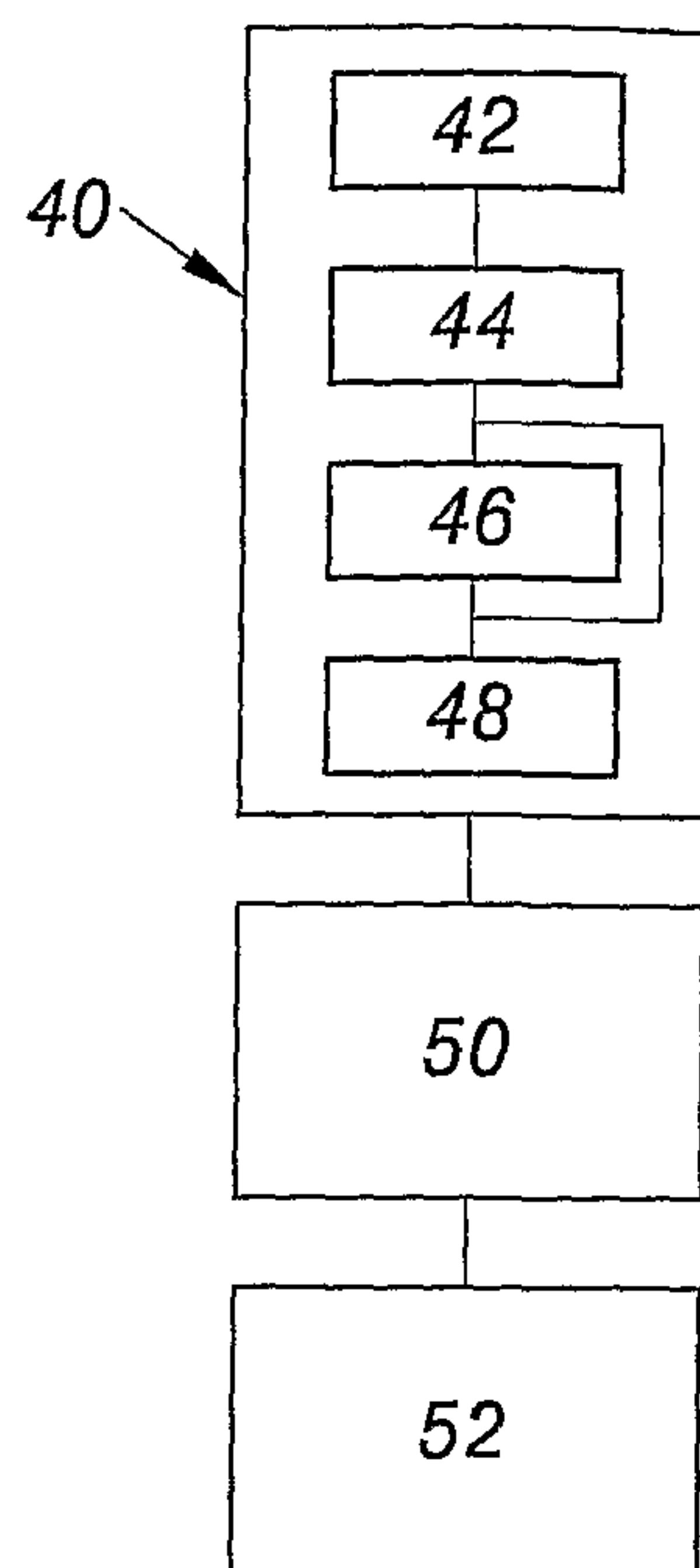
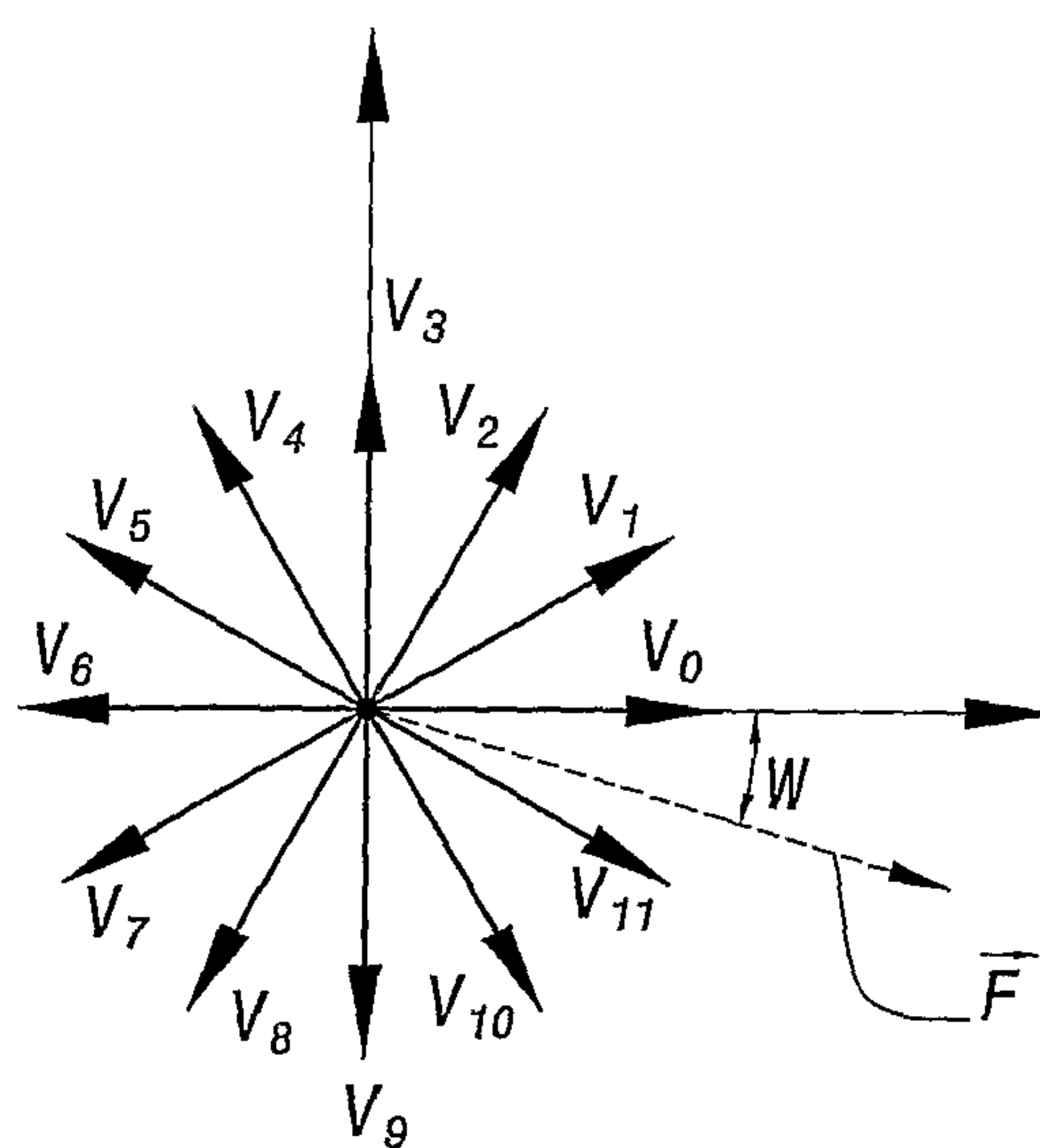


Fig. 4

5/14

*Fig.5**Fig.6*

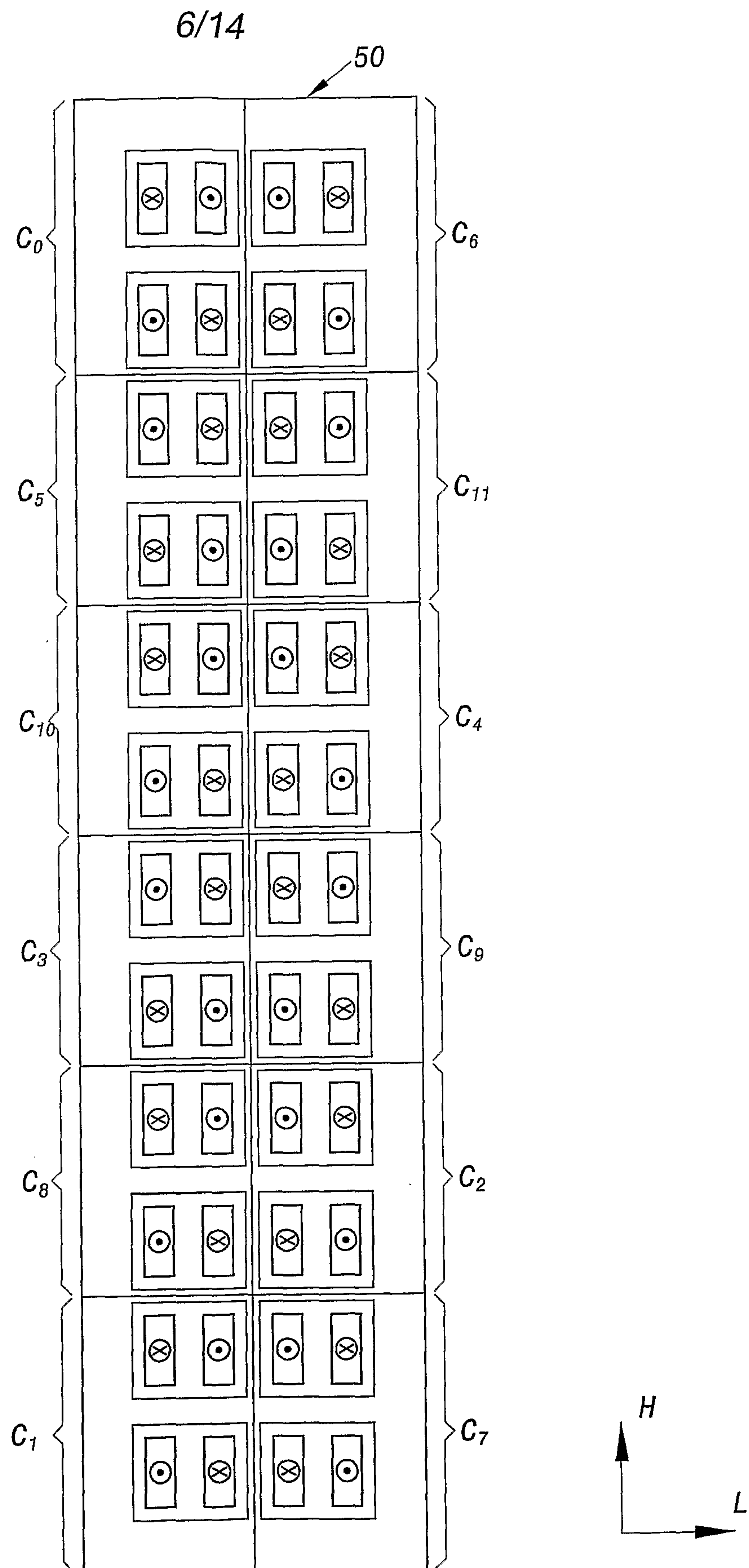
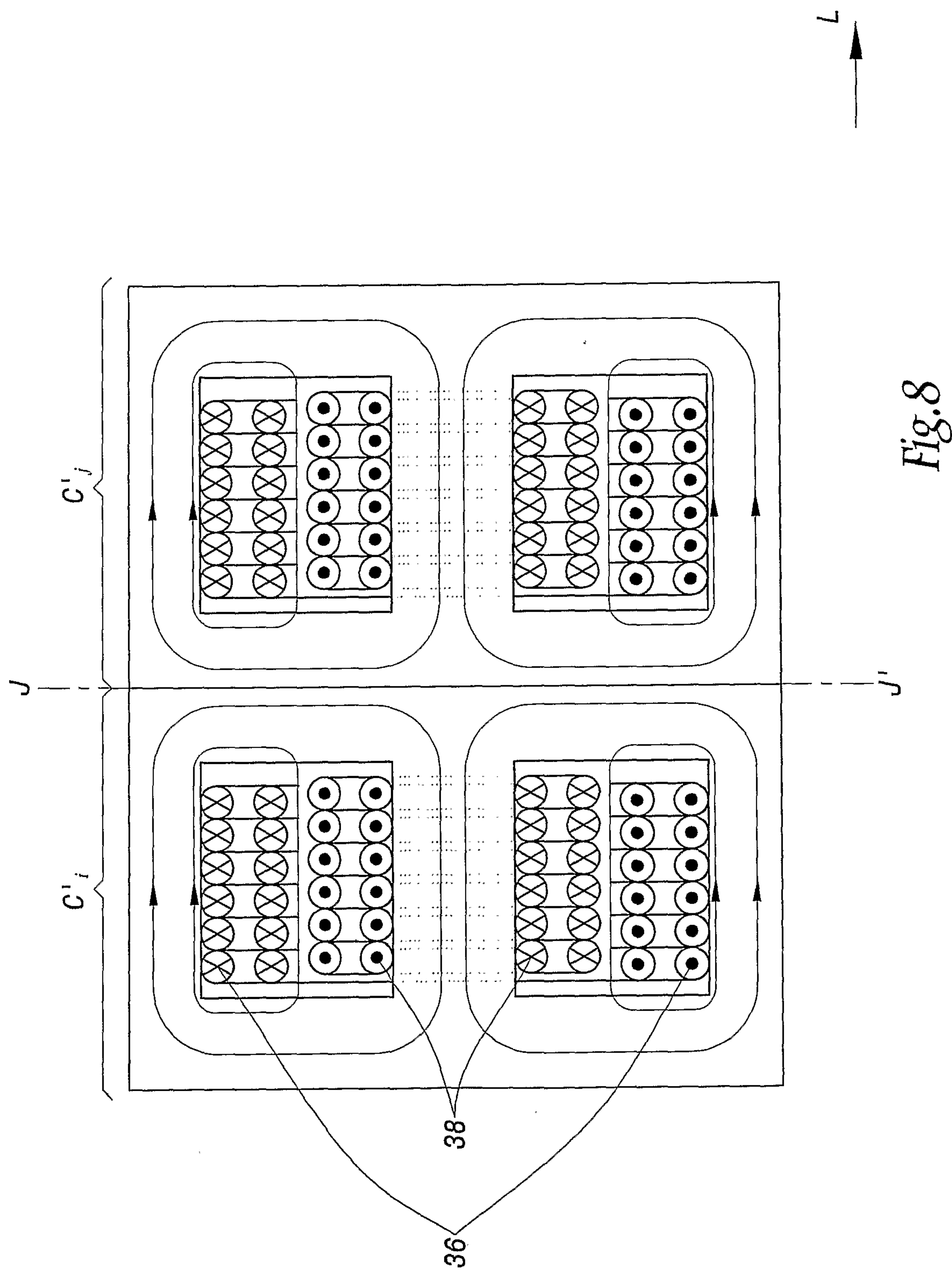


Fig. 7

7/14



8/14

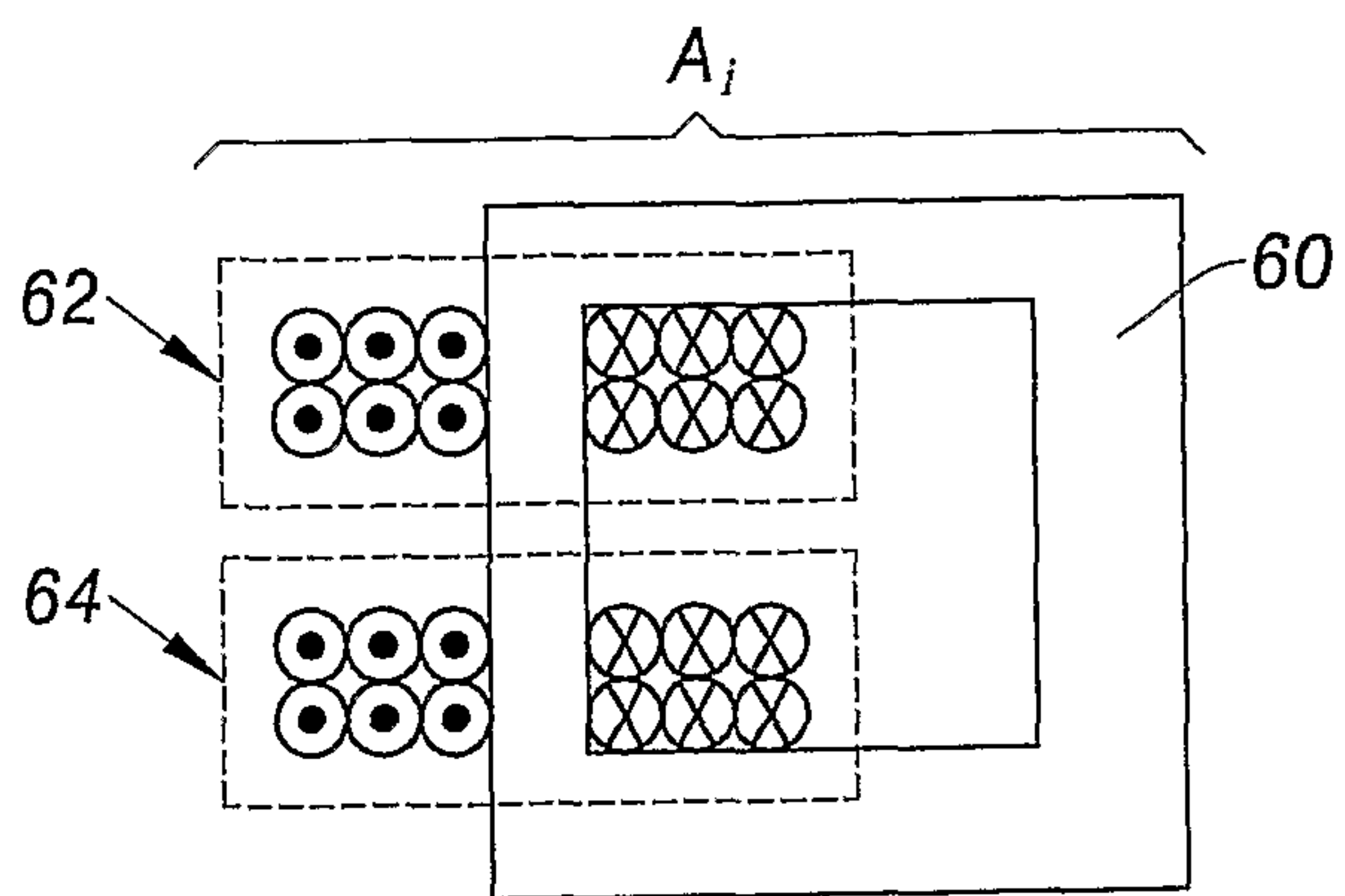


Fig. 9

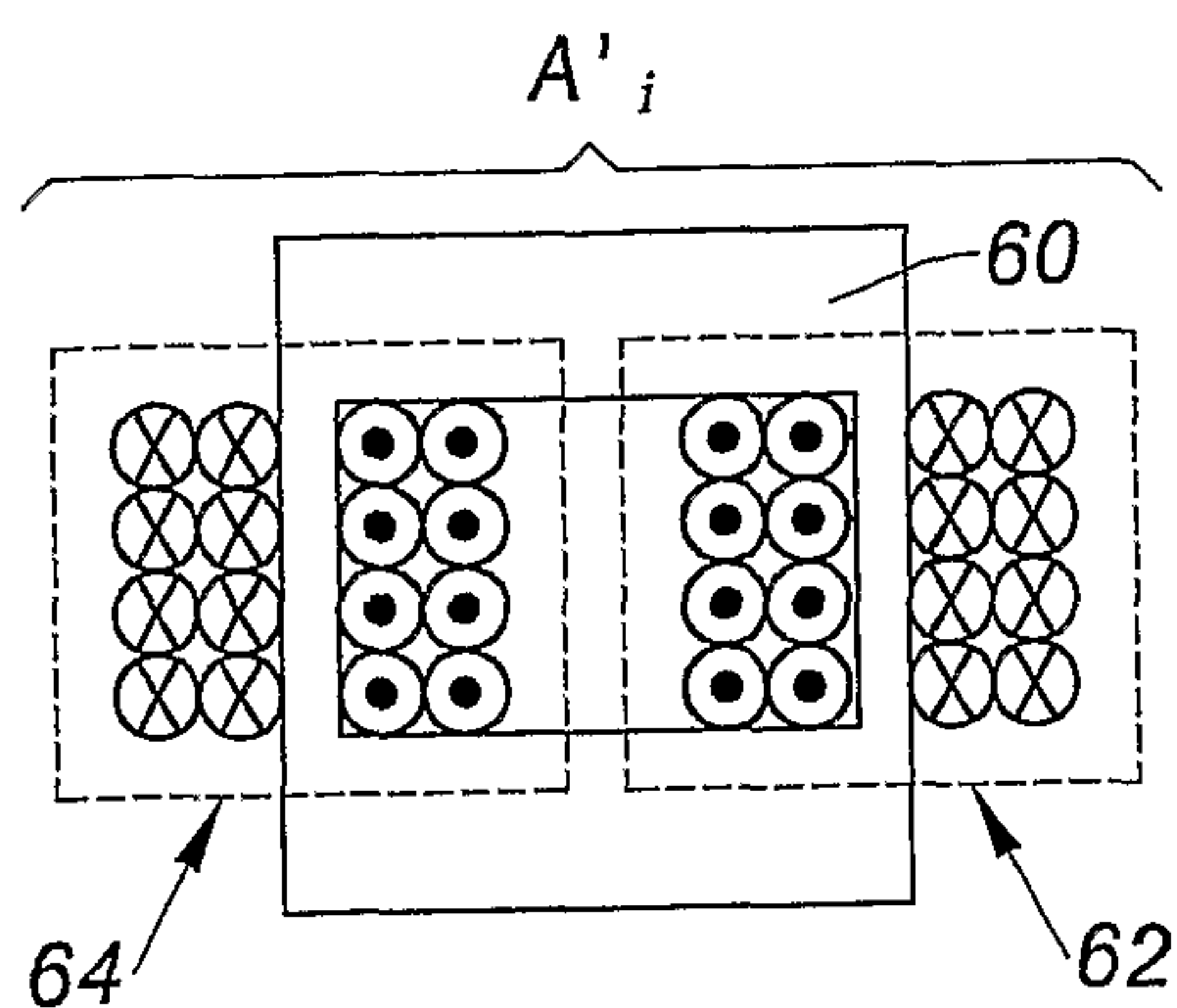


Fig. 10

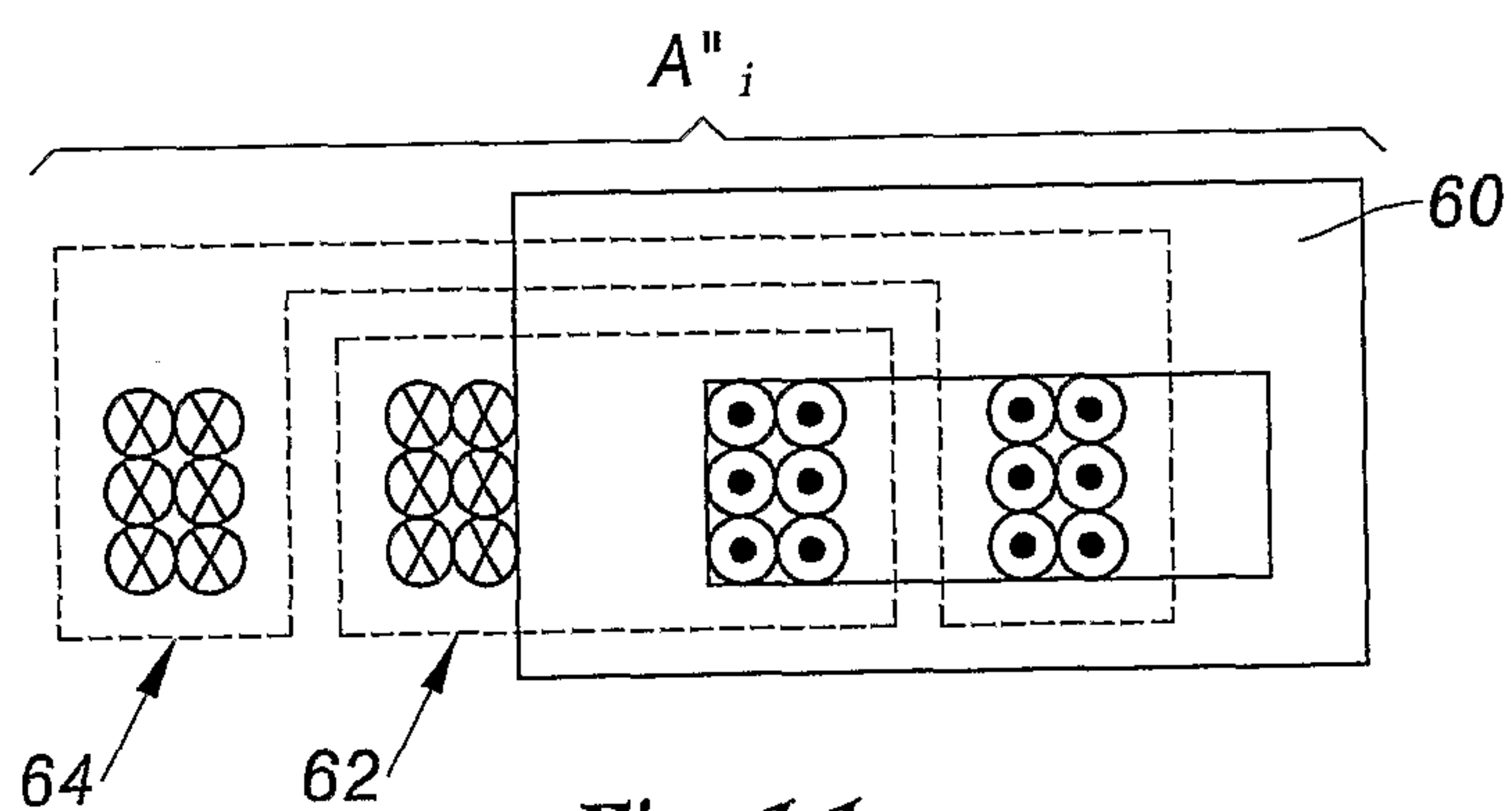


Fig. 11

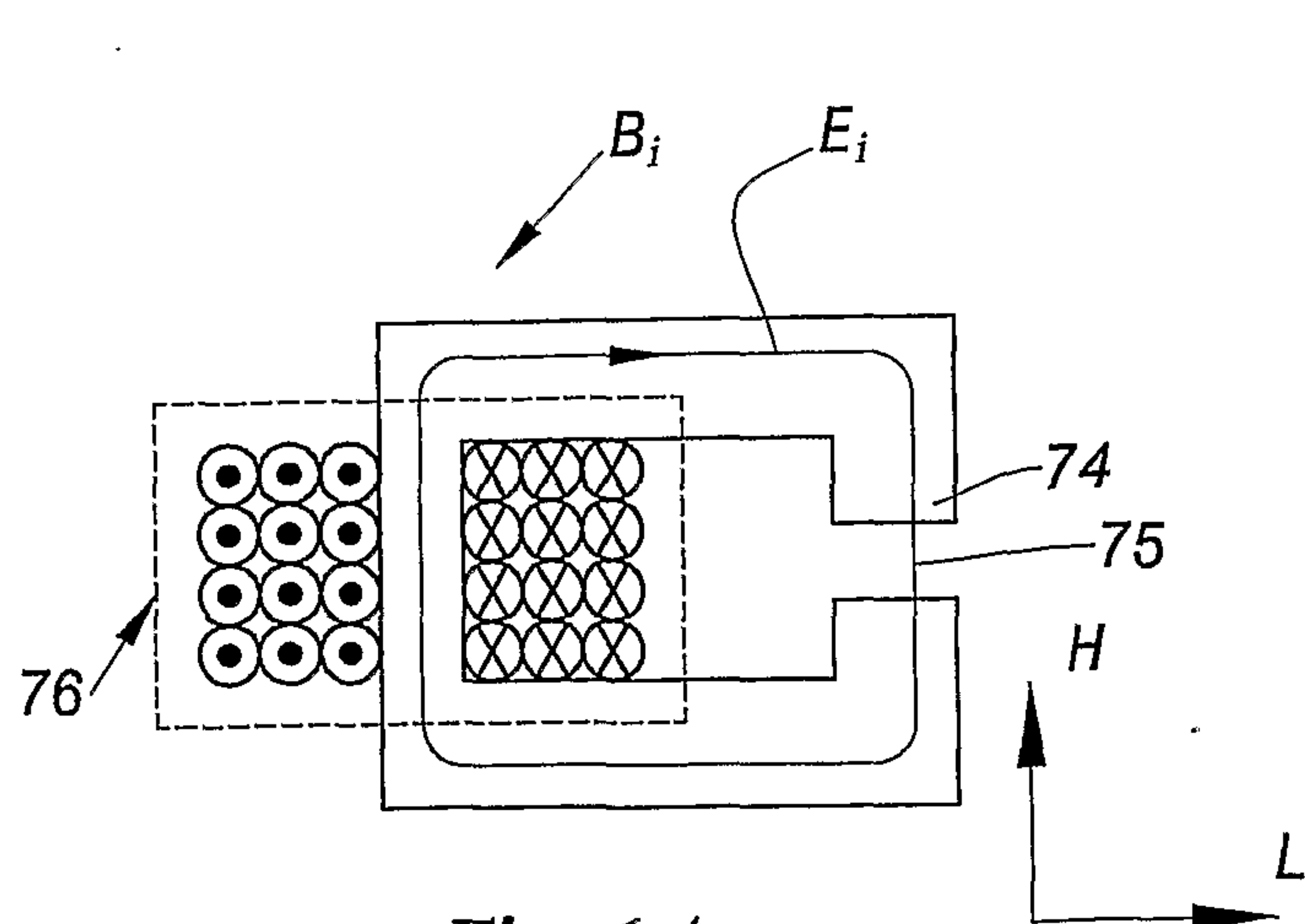


Fig. 14

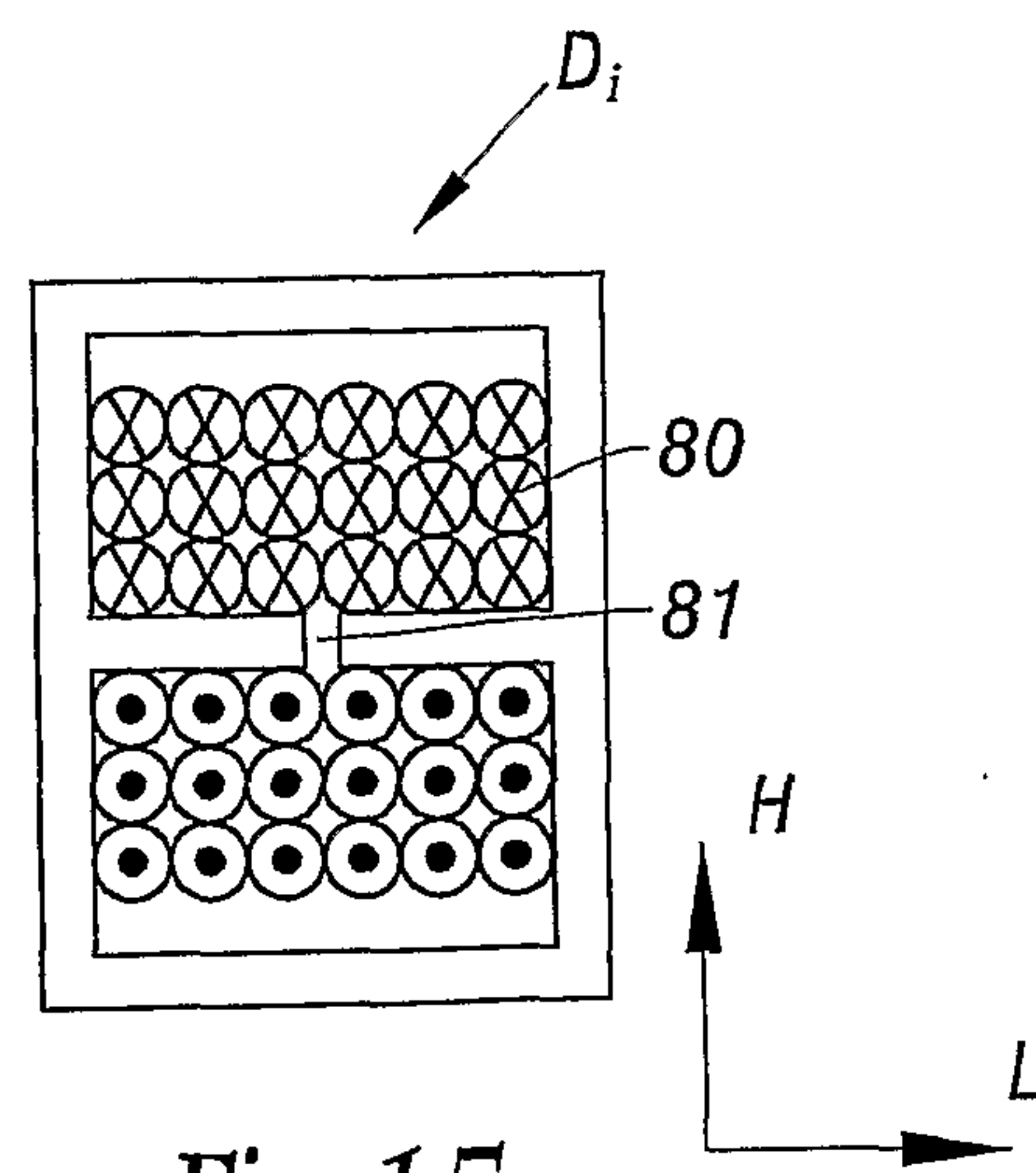


Fig. 15

9/14

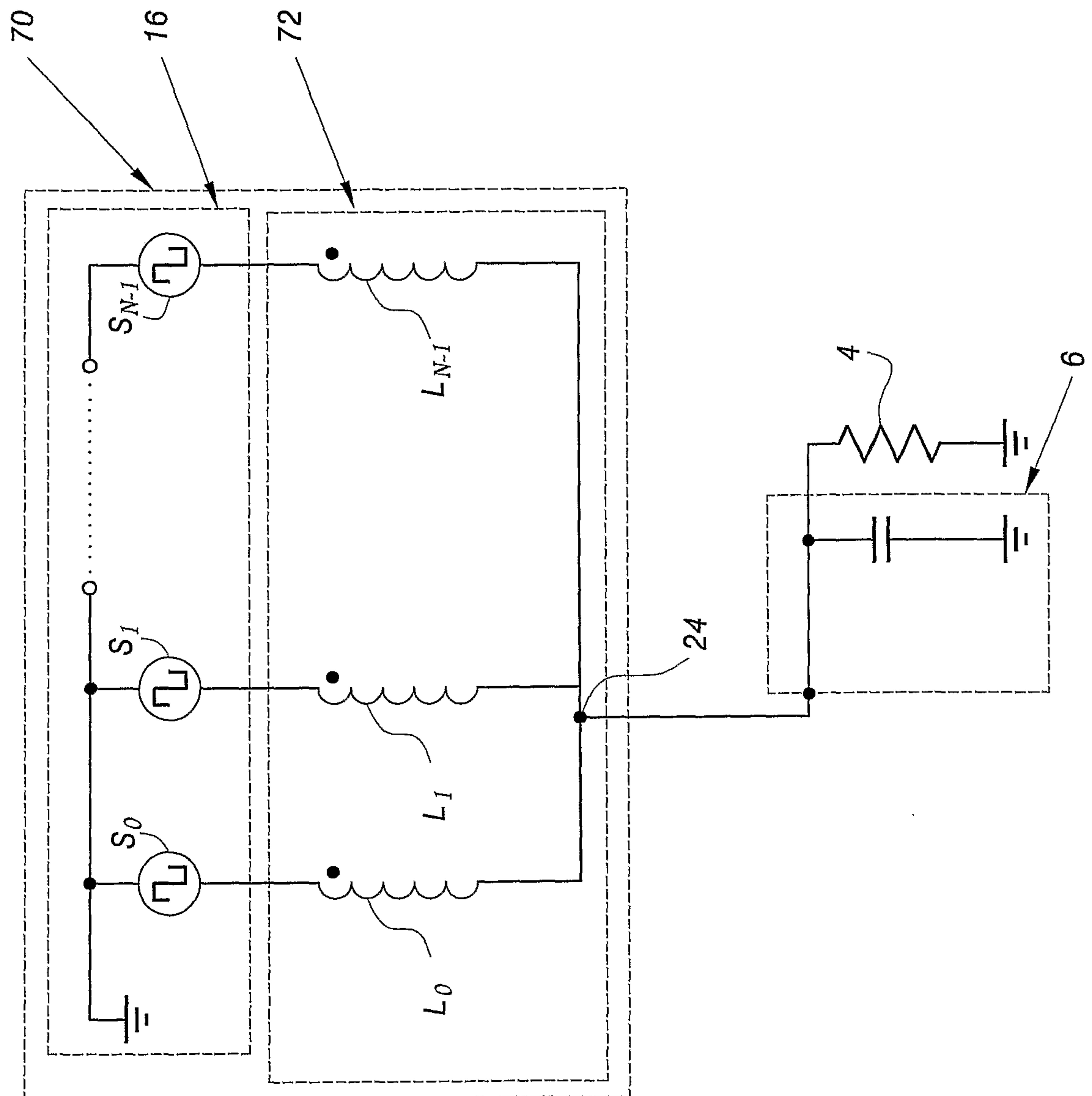


Fig. 12

10/14

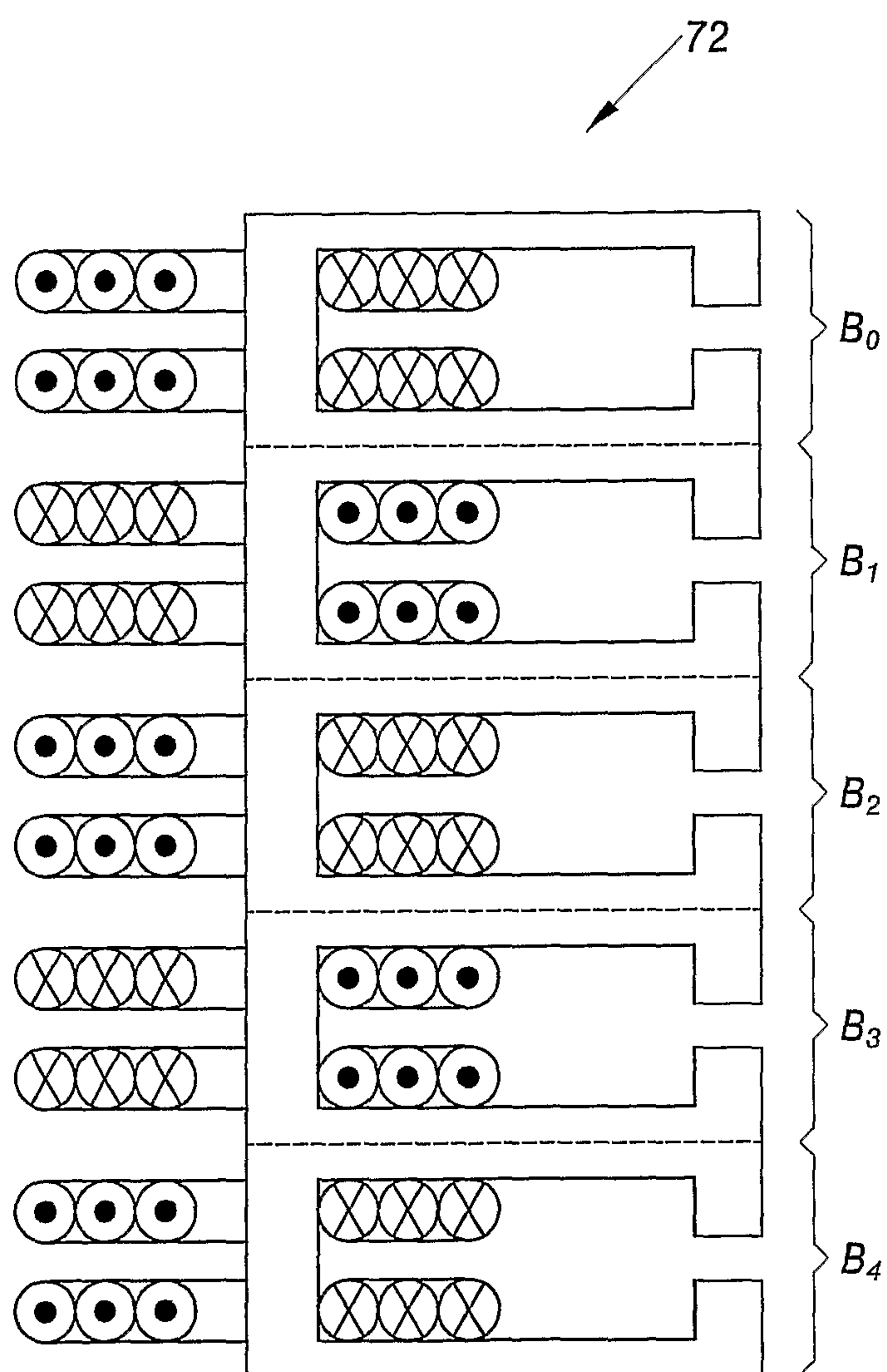


Fig. 13

11/14

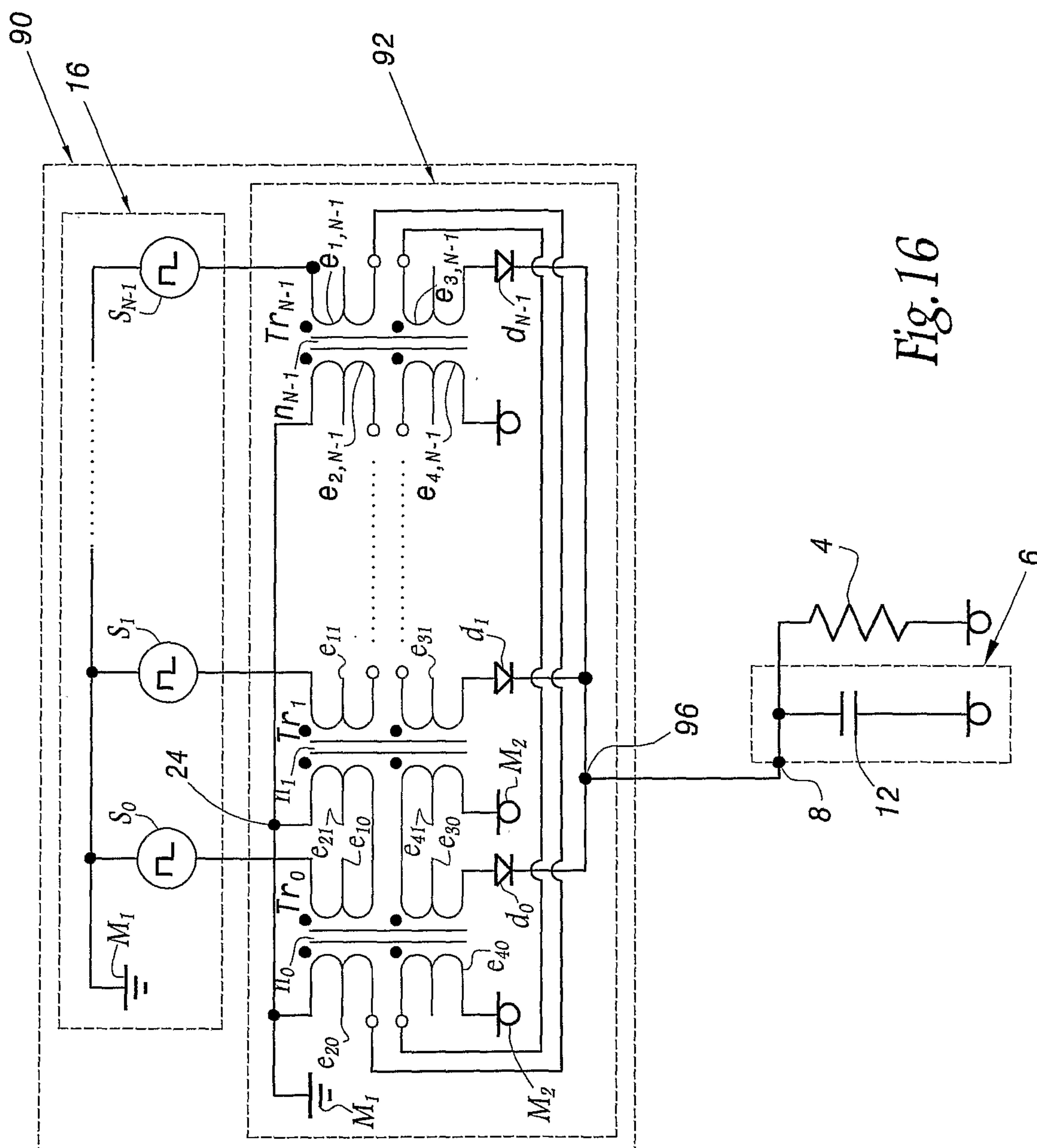


Fig. 16

12/14

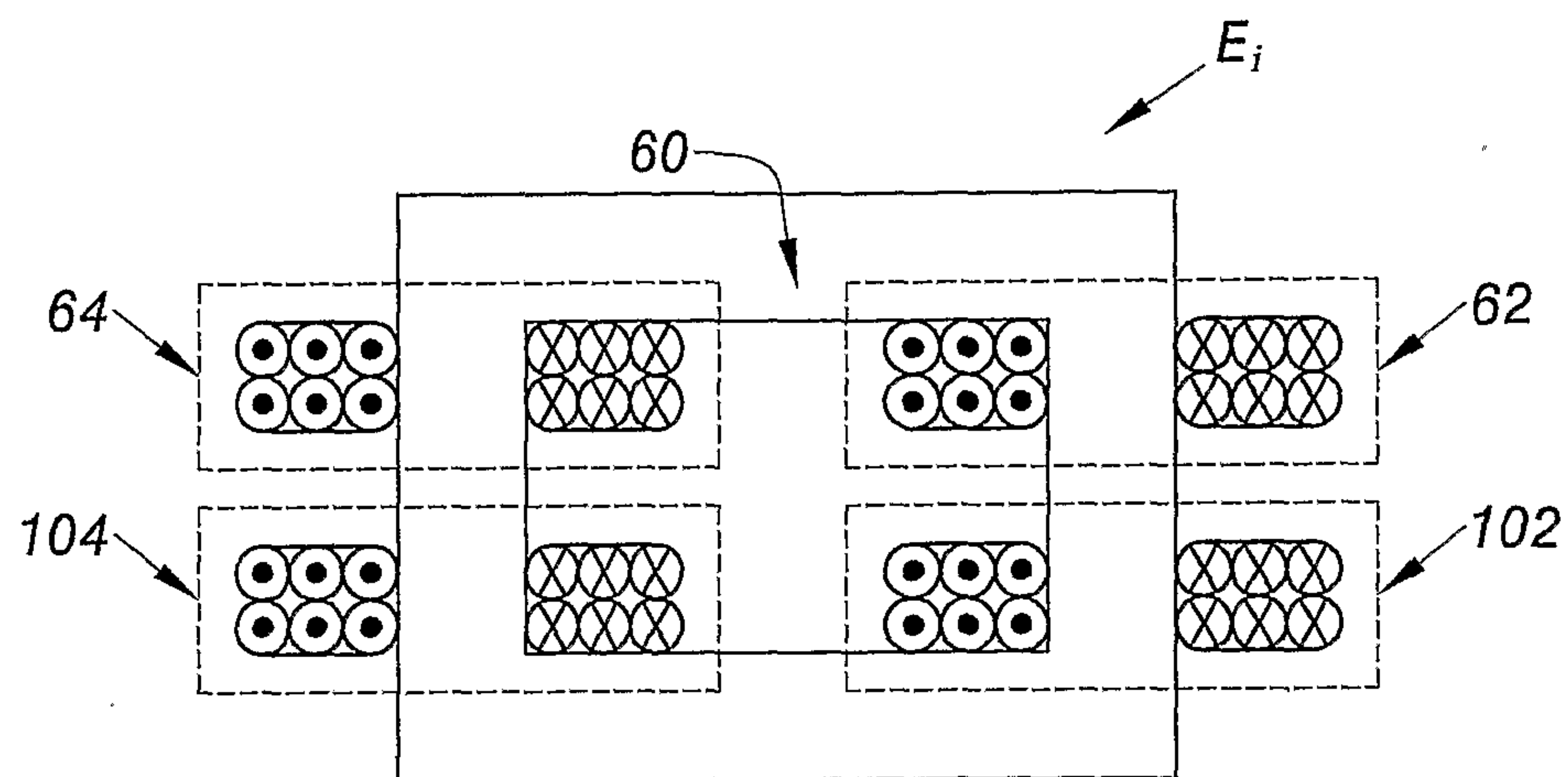


Fig. 17

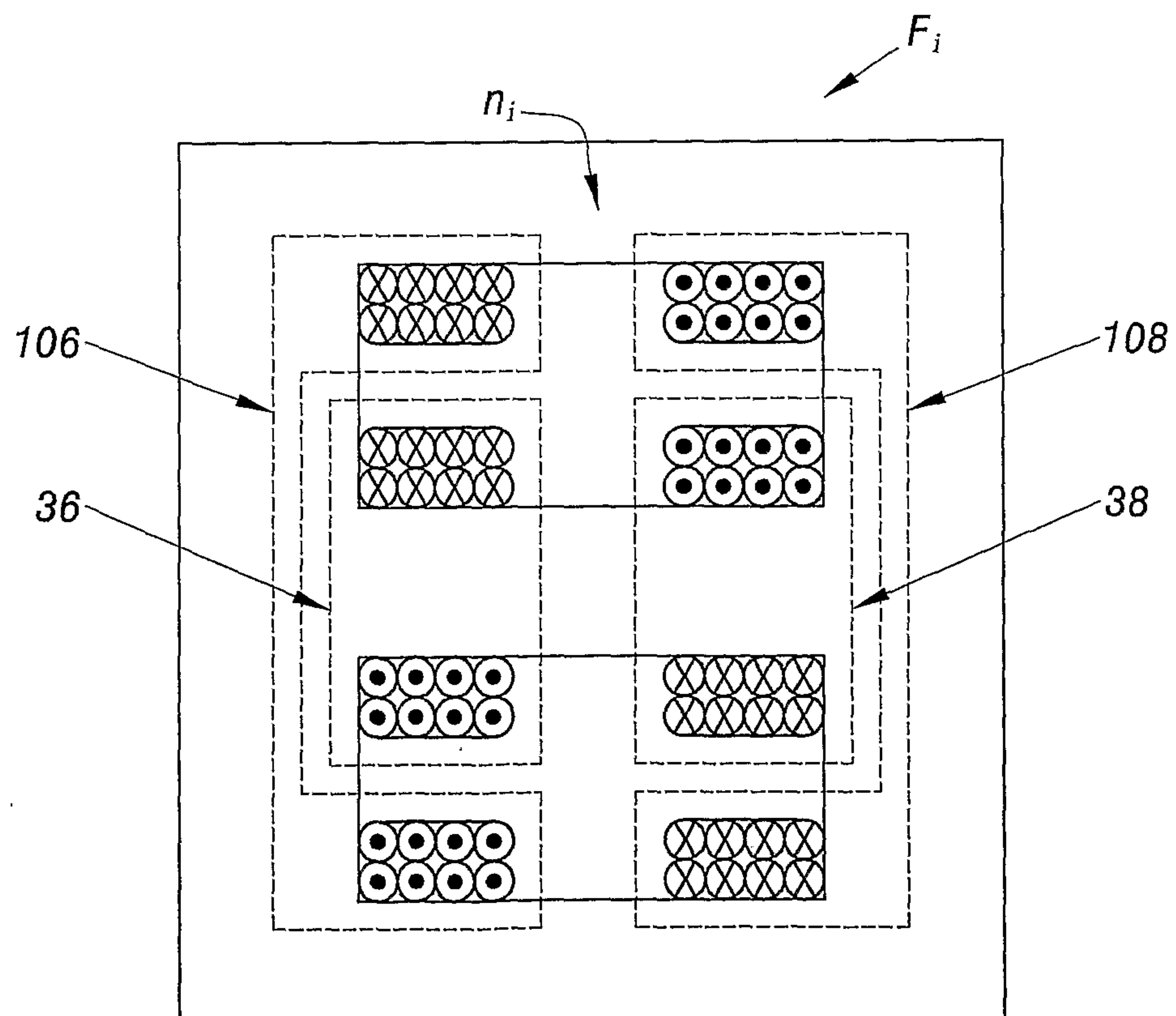


Fig. 18

13/14

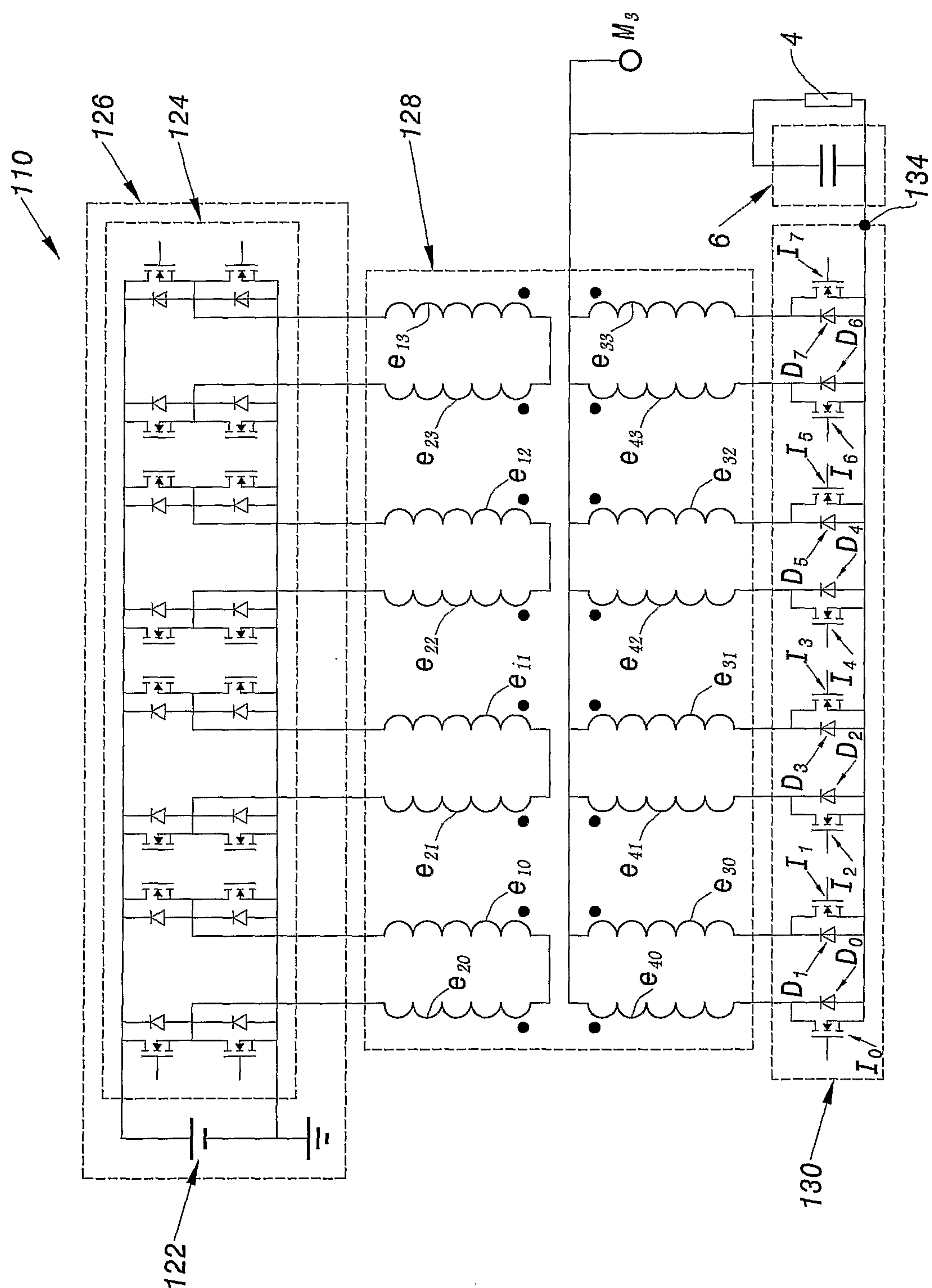


Fig. 19

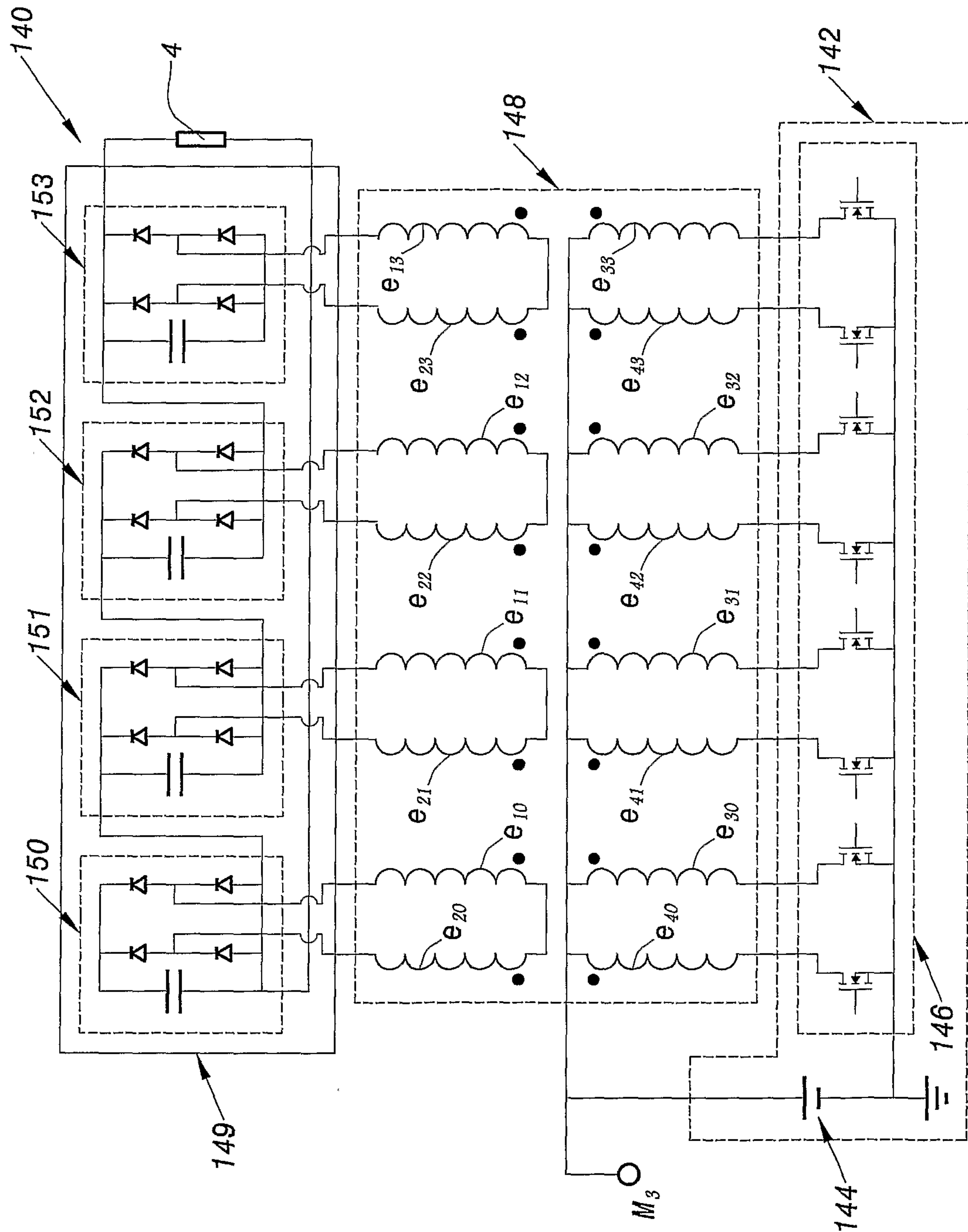


Fig. 20

40

