



(11)

EP 2 491 760 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
21.01.2015 Bulletin 2015/04

(51) Int Cl.:
H05B 6/02 (2006.01) **H05B 6/06** (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **10785478.8**

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/FR2010/052216

(22) Date de dépôt: **19.10.2010**

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2011/048316 (28.04.2011 Gazette 2011/17)

**(54) PROCEDE DE CHAUFFAGE PAR INDUCTION MIS EN OEUVRE DANS UN DISPOSITIF
COMPRENANT DES INDUCTEURS COUPLES MAGNETIQUEMENT**

INDUKTIONSHETZUENGSMETHODEN BEI EINER VORRICHTUNG VERSEHEN MIT
MAGNETISCHEN GEKOPPELTEN INDUKTOREN

PROCESS FOR INDUCTION HEATING USED IN A DEVICE INCORPORATING
MAGNETICALLY COUPLED INDUCTORS

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

(30) Priorité: **19.10.2009 FR 0957321**

(43) Date de publication de la demande:
29.08.2012 Bulletin 2012/35

(73) Titulaires:
• **Electricité de France
75008 Paris (FR)**
• **Centre National de la Recherche Scientifique
(CNRS)
75794 Paris Cedex 16 (FR)**
• **Institut National Polytechnique de Toulouse
31400 Toulouse (FR)**

(72) Inventeurs:
• **PATEAU, Olivier
F-77250 Ecuelles (FR)**
• **NEAU, Yves
F-77690 Montigny sur Loing (FR)**
• **LEFEVRE, Yvan
F-31240 L'Union (FR)**
• **LADOUX, Philippe
F-31280 Dremil Lafage (FR)**
• **MAUSSION, Pascal
F-31500 Toulouse (FR)**
• **MANOT, Gilbert
F-87100 Limoges (FR)**

(74) Mandataire: **Cabinet Plasseraud
52, rue de la Victoire
75440 Paris Cedex 09 (FR)**

(56) Documents cités:
WO-A1-00/28787

EP 2 491 760 B1

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

Description

[0001] La présente invention se rapporte à un procédé de chauffage par induction mis en oeuvre dans un dispositif de chauffage d'une pièce métallique telle qu'une tôle ou une barre, le dispositif comprenant des inducteurs couplés magnétiquement. Par couplage magnétique, on entend que les inducteurs produisent entre eux des inductions mutuelles.

[0002] Les techniques les plus classiques de chauffage par induction mettent en oeuvre des configurations qui sont satisfaisantes lorsque les pièces à chauffer sont toujours de même nature et de mêmes dimensions. Mais l'industrie exige de plus en plus de souplesse et de productivité. Il est demandé aux lignes de production de s'adapter en fonctionnement continu au changement de la position ou du format des pièces à chauffer, et d'adapter en fonction de ce changement le profil de température désiré.

[0003] Des technologies connues permettent d'avoir un contrôle du chauffage par zone de puissance injectée, mais le contrôle du profil de température dans les zones chauffées reste lié à la conception géométrique des bobines et à leur mode d'alimentation, principalement par la variation d'amplitude des courants que l'on y injecte. La détermination de ces courants et la régulation qui en découle est fortement tributaire du couplage magnétique existant entre les bobines du fait des inductions mutuelles, chaque bobine alimentée ayant une influence sur toutes les autres. Le couplage magnétique rend le contrôle du profil de température de la pièce chauffée extrêmement délicat, sans compter qu'il peut avoir des répercussions néfastes sur les générateurs de fréquence, par exemple une casse de composants.

[0004] La demande de brevet WO 00/28787 A1 décrit un système pour chauffer une pièce métallique tubulaire par des bobines d'induction alimentées par l'intermédiaire d'un circuit d'interruption de type gradateur relié à une source d'alimentation de type onduleur. Un circuit de contrôle permet de faire varier la durée de la puissance injectée par la source d'alimentation à chaque bobine afin de chauffer différemment différentes zones de la pièce métallique en vue d'un profil de température recherché. L'injection de puissance dans une bobine s'effectue donc en « tout ou rien », c'est-à-dire qu'elle peut être empêchée sur un cycle correspondant à plusieurs périodes du signal de l'onduleur. Ce système présente néanmoins des inconvénients, et en particulier il permet de contrôler seulement la puissance moyenne produite par chaque bobine sans pouvoir contrôler précisément le profil de température généré par les bobines dans la pièce chauffée. De plus, il ressort de ce document que la connexion des bobines et des onduleurs doit être dans une certaine mesure définie en fonction de la charge et du profil de température à atteindre. Par ailleurs, ce document ne mentionne pas les couplages magnétiques entre les circuits ni la manière de s'en affranchir ou d'en tenir compte.

[0005] La présente invention vise à résoudre ces inconvénients et à procurer un procédé de chauffage prenant en compte les nombreux couplages, d'une part entre les différents inducteurs et d'autre part entre les inducteurs et la pièce à chauffer, pour permettre de contrôler avec une bonne précision le profil de température généré par les inducteurs. L'invention vise en particulier à pouvoir ajuster le chauffage à différents profils de température recherchés en temps réel, en agissant sur la commande d'onduleurs alimentant les inducteurs et sans avoir besoin d'ajuster la structure des inducteurs.

[0006] A cet effet, l'invention a pour objet un procédé de chauffage par induction mis en oeuvre dans un dispositif de chauffage d'une pièce métallique, le dispositif comprenant des inducteurs couplés magnétiquement, chaque inducteur étant alimenté par un onduleur qui lui est propre et associé à un condensateur pour former un circuit oscillant, lesdits circuits oscillants possédant au moins approximativement la même fréquence de résonance, chaque onduleur étant commandé par une unité de commande de façon à faire varier l'amplitude et la phase du courant traversant l'inducteur correspondant, le dispositif comprenant en outre des moyens de détermination dudit courant ainsi que des moyens de détermination d'un profil de température effectif de ladite pièce métallique, ledit procédé comprenant les étapes suivantes :

a) on compare ledit profil de température effectif à un profil de température de référence, et on calcule un profil de densité de puissance de référence que le dispositif de chauffage doit injecter dans ladite pièce pour atteindre ledit profil de température de référence ;

b) à partir d'une matrice d'impédances déterminée par la connaissance des relations électromagnétiques liant lesdits inducteurs entre eux et à ladite pièce et par la connaissance de fonctions images vectorielles représentatives des relations liant les densités de courant créées par les inducteurs aux courants traversant les inducteurs, on calcule des courants cibles que doivent délivrer les onduleurs afin que les courants des inducteurs atteignent des valeurs cibles appropriées pour injecter dans ladite pièce ledit profil de densité de puissance de référence ;

c) on détermine les courants traversant les inducteurs pour les comparer aux dites valeurs cibles et déterminer des écarts de courants à corriger, et on envoie aux dites unités de commande des instructions de correction en fonction desdits écarts de courants afin de commander les onduleurs de façon à corriger les courants traversant les inducteurs.

[0007] Grâce à ces dispositions, on obtient un pilotage précis du profil de température appliqué à la pièce chauffée, ce qui est idéal pour chauffer avec un même dispositif plusieurs pièces de tailles et de natures différentes.

[0008] Dans des modes de réalisation préférés d'un procédé de chauffage selon l'invention, on a recours notamment

à l'une ou l'autre des dispositions suivantes :

on détermine les capacités desdits condensateurs, et on associe ladite matrice d'impédances à un vecteur des capacités ;

on détermine une valeur initiale de ladite matrice d'impédances pour une température moyenne initiale donnée desdits inducteurs et de ladite pièce, puis on détermine à intervalles variables ou périodiques la matrice d'impédances modifiée pour au moins une valeur augmentée de ladite température moyenne, et on utilise ladite matrice d'impédances modifiée pour recalculer les dites valeurs cibles ;

après avoir effectué successivement les étapes (a) et (b) on effectue au moins une fois l'étape (c) pour diminuer lesdits écarts de courants à corriger, puis on réitère au moins une fois les étapes (a), (b) et (c) en actualisant ledit profil de température effectif par des mesures de température en différentes zones chauffées de la pièce ;

pour la détermination par calcul des dites valeurs cibles à l'étape (b), grâce à la connaissance desdites fonctions images vectorielles, on calcule des fonctions images des densités de puissance selon les caractéristiques spatiales des zones de la pièce dans lesquelles lesdites densités de puissance sont injectées, et on calcule un vecteur optimisé des courants cibles à déterminer en minimisant la différence entre chacune desdites fonctions images des densités de puissance et une fonction densité de puissance de référence correspondant audit profil de densité de puissance de référence ;

on prend comme onduleur de référence un onduleur ayant par rapport aux autres onduleurs le plus fort courant dans le cas d'un onduleur de courant ou la plus forte tension dans le cas d'un onduleur de tension, et on introduit des angles de décalage sur les commandes des autres onduleurs par rapport à un angle de commande sur l'onduleur de référence ;

on règle l'onduleur de référence avec un rapport cyclique égal à 2/3, afin de diminuer les perturbations harmoniques créées par cet onduleur sur ces voisins ;

on règle la valeur efficace du courant dans ledit onduleur de référence en agissant sur une alimentation continue qui alimente les onduleurs.

[0009] L'invention a aussi pour objet un dispositif de chauffage par induction comprenant :

des inducteurs couplés magnétiquement, chaque inducteur étant associé à un condensateur pour former un circuit oscillant, lesdits circuits oscillants possédant au moins approximativement la même fréquence de résonance ;
des onduleurs alimentant chacun un inducteur qui lui est propre, chaque onduleur étant commandé par une unité de commande de façon à faire varier l'amplitude et la phase du courant traversant l'inducteur correspondant ;
caractérisé en ce qu'il comprend en outre :

des moyens de détermination des courants traversant les inducteurs ainsi que des moyens de détermination d'un profil de température effectif d'une pièce métallique chauffée par le dispositif ;

des moyens de comparaison dudit profil de température effectif par rapport à un profil de température de référence ;

des moyens de calcul d'un profil de densité de puissance de référence que le dispositif de chauffage doit injecter dans ladite pièce pour atteindre ledit profil de température de référence ;

des moyens de calcul, basés sur la connaissance d'une matrice des impédances, de courants cibles que doivent délivrer les onduleurs afin que les courants des inducteurs atteignent des valeurs cibles appropriées pour injecter dans ladite pièce ledit profil de densité de puissance de référence ;

des moyens de comparaison des courants traversant les inducteurs par rapport aux dites valeurs cibles, aptes à déterminer des écarts de courants à corriger, et des moyens de traitement desdits écarts de courants aptes à générer des instructions de correction envoyées aux dites unités de commande pour commander les onduleurs de façon à corriger les courants traversant les inducteurs.

[0010] Dans des modes de réalisation préférés d'un dispositif de chauffage selon l'invention, on a recours notamment à l'une ou l'autre des dispositions suivantes :

les onduleurs sont alimentés par une même alimentation source de courant ou source de tension, et lesdits moyens de comparaison desdits courants déterminés traversant les inducteurs comprennent des unités comparatrices recevant chacune des paramètres déterminés d'un courant traversant un inducteur et des paramètres des valeurs cibles correspondantes et étant chacune reliée à une unité de traitement desdits écarts de courants, une desdites unités comparatrices recevant en outre des paramètres représentatifs de ce que délivre ladite alimentation et son unité de traitement associée étant adaptée pour générer des instructions de régulation envoyées à ladite alimentation de façon à modifier le courant ou la tension qu'elle délivre.

[0011] D'autres caractéristiques et avantages ressortent de la description qui va suivre d'exemples non limitatifs de modes de réalisation, en référence aux figures dans lesquelles :

La figure 1 représente schématiquement un premier exemple de dispositif de chauffage par induction dans lequel le procédé de chauffage selon l'invention peut être mis en oeuvre, appliqué au chauffage d'un disque métallique fixe. La figure 2 représente schématiquement une modélisation du système à trois inductances couplées de la figure 1, vu de l'alimentation.

La figure 3 représente schématiquement le dispositif de chauffage par induction de la figure 1, appliqué au chauffage d'une tôle que l'on déplace.

La figure 4 représente schématiquement un deuxième exemple de dispositif de chauffage par induction, appliqué au chauffage d'une barre métallique que l'on déplace.

La figure 5 représente schématiquement un troisième exemple de dispositif de chauffage par induction, appliqué au chauffage d'une tôle que l'on déplace.

La figure 6 représente schématiquement un quatrième exemple de dispositif de chauffage par induction, appliqué au chauffage d'une tôle que l'on déplace.

La figure 7 représente schématiquement une fonction image de la densité de puissance calculée à partir d'un vecteur optimisé des courants permettant de minimiser la différence entre ladite fonction et une fonction référence de densité de puissance.

La figure 8 représente schématiquement un premier mode de réalisation d'un dispositif de chauffage par induction selon l'invention dans lequel l'alimentation des onduleurs est une source de courant.

La figure 9 représente schématiquement un second mode de réalisation d'un dispositif de chauffage par induction selon l'invention dans lequel l'alimentation des onduleurs est une source de tension.

[0012] Sur la figure 1, le dispositif de chauffage montré en exemple concerne une configuration de disque métallique amagnétique chauffé par flux transverse à l'aide de trois couples de bobines jumelles, ce qui a l'avantage de garder l'aspect axisymétrique du problème. Afin de s'assurer de la symétrie de l'ensemble du système, chaque bobine placée d'un côté du disque est connectée en série avec sa bobine jumelle de l'autre face pour former un seul inducteur. De cette façon, le système est invariant par rotation. En outre, afin de travailler avec l'hypothèse de linéarité, on considérera que les matériaux électromagnétiques du système ont une perméabilité constante et unitaire. Chaque inducteur est alimenté par un onduleur qui lui est propre de type série (onduleur de tension) ou de type parallèle (onduleur de courant).

[0013] Sur la figure 2, la modélisation du système sous forme d'inductances couplées permet de représenter les différentes interactions existantes. Cette modélisation permet également l'étude de l'alimentation électrique des inducteurs et le calcul des valeurs des courants qu'il faut injecter.

[0014] Il est nécessaire de déterminer la matrice d'impédances du système pour chaque configuration de chauffage envisagé, afin de refléter l'état magnétique et électrique du système pour une géométrie donnée. La dimension N de la matrice est donnée par le nombre d'inducteurs, ici N=3.

[0015] La matrice d'impédances doit être complète pour tenir compte de tous les effets de couplage. La détermination de cette matrice pouvant être complexe, plusieurs moyens analytiques ou numériques, ou des mesures en ligne et en continu par injection de signaux particuliers, peuvent être mis en oeuvre.

[0016] Ainsi modélisée, l'équation générale du système peut s'écrire :

$$\underline{V} = \underline{Z} \cdot \underline{I}$$

$\underline{V}$: Tensions sinusoïdales aux bornes des inducteurs ;

$\underline{I}$: Courants dans les enroulements des inducteurs ;

$\underline{Z}$: Matrice d'impédances du système.

[0017] Dans notre cas, la matrice Z peut s'écrire sous la forme :

$$Z = \begin{bmatrix} Z_{11}(\omega) & Z_{12}(\omega) & Z_{13}(\omega) \\ Z_{21}(\omega) & Z_{22}(\omega) & Z_{23}(\omega) \\ Z_{31}(\omega) & Z_{32}(\omega) & Z_{33}(\omega) \end{bmatrix}$$

ou encore :

$$Z = \begin{bmatrix} R_{11} + jL_{11}\omega & R_{12} + jL_{12}\omega & R_{13} + jL_{13}\omega \\ R_{21} + jL_{21}\omega & R_{22} + jL_{22}\omega & R_{23} + jL_{23}\omega \\ R_{31} + jL_{31}\omega & R_{32} + jL_{32}\omega & R_{33} + jL_{33}\omega \end{bmatrix}$$

L_{mm} : représente l'inductance propre de chaque inducteur ;

$L_{mn} = L_{nm}$: représente les inductances mutuelles entre inducteurs ;

R_{mm} : représente les résistances propres de chaque inducteur ;

$R_{mn} = R_{nm}$: représente les résistances équivalentes dues aux courants induits.

[0018] Avec la connaissance des relations électromagnétiques entre les bobines et la pièce à chauffer, il est possible de procéder au calcul des courants à injecter dans chacune des bobines afin d'obtenir le chauffage désiré.

[0019] Il est à noter que différentes configurations ou méthodes classiques de calcul essaient de minimiser les termes de couplage non-diagonaux afin de s'affranchir des problèmes liés aux interactions entre les bobines. De plus, pour de nombreux cas où les couplages sont faibles, les résistances propres de chaque inducteur sont souvent grandes devant les résistances équivalentes dues aux courants induits. Les méthodes classiques utilisent ainsi une matrice simplifiée, c'est-à-dire non complète, qui conserve seulement les termes diagonaux. Ceci implique une régulation simplifiée du chauffage, mais au détriment du contrôle précis du profil de température et de la flexibilité de l'installation, en particulier dans la zone située sous les bobines. Au contraire, la présente invention prend en compte la matrice d'impédances complète du système afin d'améliorer la détermination des courants à injecter dans les bobines et donc améliorer le contrôle du profil de température de la pièce chauffée.

[0020] Dans l'exemple décrit, nous avons trois inducteurs alimentés par trois sources de courants différentes. La détermination des courants à injecter dans chaque bobine revient à déterminer cinq variables inconnues, la phase du courant dans l'inducteur Ind1 servant de référence et n'étant donc pas une inconnue. En effet, pour une tôle donnée constituant la pièce à chauffer, les inconnues sont :

- I_1 : Valeur efficace du courant dans l'inducteur Ind1, lequel courant est pris comme référence de phase ;
- I_2 et φ_2 : Valeur efficace du courant dans l'inducteur Ind2, et déphasage de ce courant par rapport à I_1 ;
- I_3 et φ_3 : Valeur efficace du courant dans l'inducteur Ind3, et déphasage de ce courant par rapport à I_1 .

[0021] On comprend de ce qui précède qu'avec la matrice d'impédances complète prise en compte dans la présente invention, le contrôle du profil de température de la pièce chauffée doit s'effectuer non seulement en contrôlant les amplitudes des courants dans les inducteurs mais aussi en contrôlant les déphasages de ces courants les uns par rapport aux autres, ce qui implique que chaque onduleur est commandé de façon à pouvoir faire varier l'amplitude et la phase du courant traversant l'inducteur correspondant.

[0022] Au vu des relations qui précèdent, le vecteur des inconnues peut alors s'écrire :

$$X = \{I_1, I_2, \varphi_2, I_3, \varphi_3\}^T \quad (1)$$

[0023] Il n'est pas possible de déterminer facilement ces inconnues par les méthodes de résolution habituelles. En

effet, à l'exception de cas très simples, la formulation analytique liant les données géométriques, les courants électriques dans les inducteurs, la répartition spatiale du champ électromagnétique et la densité de puissance en tous points est quasi impossible avec autant de variables. Les logiciels classiques de calcul de champ basés sur des techniques numériques de découpage du domaine d'études en mailles élémentaires permettent de connaître la répartition du champ magnétique, et par conséquent de calculer les densités de puissance dans les pièces conductrices en fonction des courants injectés dans les inducteurs. Dans notre cas, une problématique inverse se pose, puisqu'il s'agit de savoir s'il existe une ou plusieurs valeurs du vecteur x permettant d'obtenir un profil de densité de puissance voulu dans la pièce.

[0024] Par l'application de l'équation de la chaleur, il est bien connu que la densité de puissance injectée Dp dans une pièce conductrice donne une bonne image du comportement thermique du produit chauffé. Par exemple, dans le cas d'une chauffe statique où la vitesse de déplacement du matériau traité est nulle, la connaissance de la température instantanée T du matériau traité nécessite classiquement la résolution temporelle d'une forme simplifiée de l'équation de la chaleur:

$$\rho \cdot C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div}(\lambda \cdot \text{grad} T) + Dp$$

ρ : représente la masse volumique ;

C_p : représente la capacité thermique massique ;

λ : représente la conductivité thermique.

[0025] La résolution de cette équation implique une intégration en temps réel, ce qui n'est pas très difficile. De plus, dans le cas d'un chauffage « flash », c'est-à-dire si le temps de chauffe est petit de telle sorte que l'on peut négliger la diffusion thermique de la chaleur au sein du matériau pendant cette durée, l'expression se simplifie encore de la sorte :

$$\rho \cdot C_p \frac{\partial T}{\partial t} = Dp \quad (2)$$

[0026] Nous obtenons donc une expression simplifiée classique permettant de relier la densité de puissance injectée Dp et l'élévation de la température. Ainsi, à partir du profil thermique souhaité pour la pièce chauffée, on obtient le profil de densité de puissance recherché.

[0027] Dans l'exemple en référence à la figure 1, le système est invariant suivant l'axe de révolution du disque en tôle et dans l'épaisseur de la tôle. On prend donc en compte une seule dimension du disque, à savoir la direction radiale de la zone considérée du disque. Pour la détermination du vecteur x des inconnues, on sait que la densité de puissance suivant le rayon de la zone considérée se calcule par l'équation suivante :

$$Dp(r, x) = \frac{1}{\sigma} |\underline{J}|^2, \text{ soit : } Dp(r, x) = \frac{1}{\sigma} (J_R^2(r, x) + J_I^2(r, x)) \quad (3)$$

où σ représente la conductivité électrique, $\underline{J}$ représente le vecteur densité de courant défini sur le rayon r dans la pièce, $J_R(r, x)$ et $J_I(r, x)$ représentant les composantes réelle et imaginaire de ce vecteur en fonction du rayon de la zone considérée.

[0028] Le système pris en exemple est complètement linéaire, c'est-à-dire en particulier sans matériaux ferromagnétiques ni hystérésis. Nous pouvons donc appliquer le théorème de superposition des sources pour chacune des alimentations des trois inducteurs. On notera qu'un principe similaire peut être mis en oeuvre dans un système non linéaire. Nous obtenons ainsi des fonctions images des densités de courant en fonction du rayon r de la zone annulaire considérée du disque chauffé, chaque fonction image f_k étant représentative de la relation liant la densité de courant $J_k(r)$, créée par un inducteur, au courant I_k alimentant cet inducteur. Ces fonctions images sont vectorielles et ont des composantes réelle et imaginaire définies de la manière suivante :

$$f_{kR}(r) = \frac{J_{kR}(r)}{I_k} \quad f_{kI}(r) = \frac{J_{kI}(r)}{I_k}$$

[0029] Au final, dans notre exemple à trois inducteurs, le calcul vectoriel de la densité totale de courant induit dans la zone annulaire de rayon r du disque peut s'exprimer ainsi :

$$\underline{J}(r, x) = \sum_{k=1}^3 (f_{kR}(r) + j f_{kI}(r)) \cdot I_k \cdot e^{j\varphi_k}$$

avec $j^2 = -1$, soit :

$$\underline{J}(r, x) = \sum_{k=1}^3 (f_{kR}(r) + j f_{kI}(r)) \cdot (I_{kR} + j I_{kI})$$

d'où

$$\underline{J}(r, x) = \underbrace{\sum_{k=1}^3 (f_{kR}(r) \cdot I_{kR} - f_{kI}(r) \cdot I_{kI})}_{J_R(r, x)} + j \underbrace{\sum_{k=1}^3 (f_{kR}(r) \cdot I_{kI} + f_{kI}(r) \cdot I_{kR})}_{J_I(r, x)}$$

Ce qui peut s'écrire aussi

$$\underline{J}(r, x) = J_R(r, x) + j J_I(r, x) \quad (4)$$

[0030] On obtient donc une relation entre le vecteur densité de courant induit dans la zone considérée de la pièce et les vecteurs des courants dans les inducteurs. Avec d'une part la matrice d'impédances liant les grandeurs électriques entre inducteurs, et d'autre part les fonctions images des densités de courant dans la pièce, nous disposons ainsi de toutes les informations nécessaires au calcul du vecteur des inconnues x à partir d'un profil de densité de puissance déterminé. On notera que l'on peut aussi faire intervenir dans ce calcul le vecteur des condensateurs, c'est-à-dire le vecteur des capacités des circuits oscillants, puisque ces capacités ne sont généralement pas rigoureusement égales du fait des tolérances de fabrication et qu'elles peuvent en outre dériver quelque peu. Pour le calcul, on pourra utiliser des logiciels de résolution des équations aux dérivées partielles, avec diverses techniques numériques possibles telles que les éléments finis, les différences finies, les volumes finis, les intégrales de frontière, les éléments de circuits partiels, ou tout autre technique du même genre.

[0031] Cette méthode a été décrite pour un exemple donné d'un système magnétiquement couplé relativement simple, mais est néanmoins transposable à tout système plus complexe et non symétrique. Le nombre de bobines n'est pas limité, et diverses formes et configurations des bobines ou des pièces à chauffer sont envisageables, comme dans les exemples visibles sur les figures 3 à 6.

[0032] Une fois que la fonction image de la densité de courant est déterminée, la fonction image de la densité de puissance $D_p(r, x)$ est déterminée par les relations des équations (3) et (4) ci-dessus. Il est avantageux en outre d'optimiser

par le calcul le vecteur des inconnues x . Le problème d'optimisation consiste à calculer un vecteur optimisé x permettant de minimiser la différence entre la fonction image de la densité de puissance et une fonction densité de puissance de référence $Dp^{ref}(r)$ qui correspond à un profil de densité de puissance de référence que l'on cherche à injecter dans le disque métallique. Cette fonction densité de puissance de référence prend par exemple une valeur constante si nous

recherchons une homogénéité de température sur le disque. Il est cependant possible d'avoir une fonction non constante afin d'obtenir des profils particuliers de chauffe. Avec l'appareillage de la figure 1, la demanderesse a réalisé des essais avec différentes fonctions densités de puissances de références correspondant par exemple à des profils sinusoïdaux ou triangulaires dans la direction radiale du disque, et les résultats sont très satisfaisants.

[0033] L'optimisation consiste donc à minimiser la fonction $g(r,x)=|Dp(r,x)-Dp^{ref}(r)|$ tout en fixant des limites hautes et basses X_i^H et X_i^B sur les inconnues recherchées. Cela nous permet d'éliminer entre autres les solutions aberrantes ou qui n'ont pas de réalité physique. La formulation du problème d'optimisation revient donc à minimiser $g(r, X)$ avec $x=\{x_1, \dots, x_n\}^T$ et $x_i \in [X_i^B, X_i^H], i=1, \dots, n$.

[0034] Après résolution du problème, nous obtenons un vecteur optimisé x contenant toutes les amplitudes des vecteurs des courants dans les inducteurs et leurs phases respectives, pour le disque métallique donné. Un des résultats pour un exemple de disque de 650 mm de diamètre, avec une référence de densité de puissance $|Dp^{ref}|$ égale à 10MW/m³, donne un écart relatif maximal de 3% sur la fonction image de la densité de puissance comme représenté $Dp(r,x)$ sur la figure 7.

[0035] Cette méthode de résolution peut facilement être élargie afin de prendre en compte plusieurs dimensions d'un disque, par exemple trois si outre le rayon on tient compte de la position angulaire et de l'épaisseur de matière de la zone considérée, tout en tenant compte également de l'égalité de la compensation réactive nécessaire aux bornes de chaque bobine pour que les trois circuits oscillants oscillent à des fréquences très voisines. Nous passerions ainsi d'un vecteur à cinq inconnues à un vecteur à dix-huit inconnues, sans changer le système physique.

[0036] La méthode expliquée ci-dessus pour la détermination du vecteur optimisé x est avantageusement utilisée dans le procédé de chauffage par induction selon l'invention, ce procédé pouvant être mis en oeuvre en particulier dans l'un ou l'autre des dispositifs de chauffage représentés sur les figures 8 et 9.

[0037] Sur la figure 8 est représenté schématiquement un premier mode de réalisation d'un dispositif de chauffage par induction selon l'invention, dans lequel l'alimentation 1 des onduleurs est une source de courant continu.

[0038] Le dispositif de chauffage comprend des inducteurs Ind1, Ind2, ..., Indp, couplés magnétiquement, chaque inducteur étant alimenté par un onduleur de courant O1, O2, ..., Op, qui lui est propre et associé à un condensateur C₁, C₂, ..., Cp, pour former un circuit oscillant OC1, OC2, ..., OCp. Les onduleurs de courant sont mis en série avec l'alimentation 1. Chaque onduleur comprend généralement des interrupteurs électroniques bidirectionnels, et est commandé par une unité de commande aussi appelée modulateur M1, M2, ..., Mp. Chaque modulateur conçoit des ordres de commande des interrupteurs sous la forme d'impulsions, et le décalage dans le temps de ces ordres permet de faire varier l'amplitude A₁, A₂, ..., A_p, et la phase φ_1 , φ_2 , ..., φ_p , du courant I₁, I₂, ..., I_p, traversant l'inducteur correspondant. La variation de l'amplitude du fondamental de courant en sortie de chaque onduleur s'effectue en introduisant un angle de décalage sur le signal généré par le modulateur commandant l'onduleur. En choisissant un onduleur de référence comme expliqué plus loin, les angles de décalage sur les autres onduleurs pourront être introduits par rapport à un angle de commande sur l'onduleur de référence. La commande sur l'onduleur de référence peut être effectuée par exemple avec un rapport cyclique égal à 2/3 c'est-à-dire un angle de commande de 30°.

[0039] Les circuits oscillants possèdent au moins approximativement la même fréquence de résonance, ce qui permet de maximiser l'efficacité de l'induction puisque les inducteurs travaillent sensiblement à cette fréquence, et permet aussi de diminuer les pertes dans les onduleurs. Les signaux périodiques de commande des onduleurs générés par les modulateurs ont donc sensiblement la même fréquence. Pour faire varier la phase φ_1 , φ_2 , ..., φ_p , d'un courant I₁, I₂, ..., I_p, traversant un inducteur, il suffit de décaler dans le temps le signal de commande de l'onduleur correspondant, c'est-à-dire d'appliquer un même décalage temporel à la totalité des ordres de commande des interrupteurs de l'onduleur. Le décalage peut aussi bien se faire en retard ou en avance par rapport au signal de commande de l'onduleur d'un autre inducteur pris comme référence.

[0040] Pour contrôler en temps réel la densité de puissance à injecter dans la pièce chauffée en vue d'atteindre le profil de température recherché, il faut prévoir des moyens de détermination des paramètres d'amplitude et de phase des courants traversant les inducteurs afin de pouvoir corriger la commande des onduleurs. Des moyens de détermination des paramètres d'amplitude et de phase des courants I₁, I₂, ..., I_p, des inducteurs, non représentés sur la figure, sont prévus pour fournir ces paramètres à des unités comparatrices ε_1 , ε_2 , ..., ε_p . Ces moyens de détermination peuvent consister par exemple en des transformateurs de courant disposés chacun en série avec un inducteur, mais d'autres moyens sont envisageables. On pourrait par exemple mesurer le courant actif fourni par l'onduleur au circuit oscillant, et calculer le courant dans l'inducteur à l'aide des paramètres d'inductance et de capacité.

[0041] On prévoit en outre des moyens de détermination d'un profil de température effectif de la pièce métallique

chauffée 10, non représentés sur la figure, en disposant par exemple des thermocouples sur un nombre n de zones chauffées et en relevant les températures $\theta_{1\text{ mes}}, \theta_{2\text{ mes}}, \dots, \theta_{n\text{ mes}}$, mesurées. On peut aussi déterminer ces températures en utilisant une caméra thermique, ou encore procéder par des calculs à partir des courants induits si par exemple des zones chauffées sont trop confinées pour une mesure directe.

[0042] Le profil de température effectif est par exemple déterminé en continu pendant la chauffe et est régulièrement comparé à un profil de température de référence $\theta_{1\text{ ref}}, \theta_{2\text{ ref}}, \dots, \theta_{n\text{ ref}}$, correspondant au profil final de chauffe souhaité pour la pièce et préalablement entré dans une mémoire. Cette comparaison est effectuée par un comparateur 2, qui peut intégrer ladite mémoire. Le résultat est traité par un calculateur qui, à partir d'une équation déduite de l'équation de la chaleur et éventuellement simplifiée comme l'équation (2) précédente, calcule le profil de densité de puissance de référence $Dp_{1\text{ ref}}, Dp_{2\text{ ref}}, \dots, Dp_{n\text{ ref}}$ que le dispositif de chauffage doit injecter dans la pièce pour atteindre le profil de température de référence. Le calculateur peut consister en une mémoire dans laquelle est rentré un tableau de profils précalculés de densité de puissance de référence correspondants à différents profils de température effectifs pour une ou plusieurs configurations de pièces et un ou plusieurs profils de densité de puissance de référence.

[0043] Un calculateur établit des courants cibles que doivent délivrer les onduleurs afin que les courants des inducteurs atteignent des valeurs cibles appropriées $I_{1\text{ ref}}, I_{2\text{ ref}}, \dots, I_{p\text{ ref}}$, pour injecter dans la pièce le profil de densité de puissance de référence. Ce calcul utilise la matrice d'impédances Z avec les fonctions images vectorielles f_k et préféablement le vecteur des capacités des circuits oscillants, définis précédemment. Les unités comparatrices $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_p$ comparent les paramètres des courants mesurés ou calculés $I_{1\text{ mes}}, I_{2\text{ mes}}, \dots, I_{p\text{ mes}}$, des inducteurs aux valeurs cibles $I_{1\text{ ref}}, I_{2\text{ ref}}, \dots, I_{p\text{ ref}}$, et déterminent les écarts de courants $\delta I_{1\text{ corr}}, \delta I_{2\text{ corr}}, \dots, \delta I_{p\text{ corr}}$ à corriger, aussi appelés courants de correction. Des unités de traitement $\text{CORR}_1, \text{CORR}_2, \dots, \text{CORR}_p$, des paramètres d'amplitude et de phase de ces courants de correction génèrent des instructions de correction envoyées aux modulateurs pour commander les onduleurs de façon à corriger les amplitudes et les déphasages des courants traversant les inducteurs.

[0044] Il est entendu que par le contrôle des déphasages des courants dans les inducteurs, on ne cherche pas à obtenir un déphasage nul ou constant. On cherche au contraire à utiliser les déphasages comme des paramètres de réglage en temps réel de la densité de puissance à injecter dans la pièce chauffée, ce qui est rendu possible par la prise en compte de la matrice d'impédances complète comme expliqué dans ce qui précède. En d'autres termes, on utilise les déphasages comme des paramètres de contrôle du profil de température. Par exemple, on peut prévoir de contrôler en temps réel les déphasages des courants dans les inducteurs tous les quarts de période des signaux de commande des onduleurs générés par les modulateurs, pour contrôler finement la température selon différents profils, par exemple un profil plat, ou encore un profil montant ou décroissant linéairement (polynôme d'ordre 1) ou non linéairement (polynôme d'ordre >1).

[0045] Avantagusement, on peut déterminer une valeur initiale Z_{ini} de la matrice d'impédances Z pour une température moyenne initiale θ_{ini} donnée des inducteurs et de la pièce à chauffer, puis déterminer à intervalles variables ou périodiques la matrice d'impédances modifiée $Z_{\text{mod}}(\theta)$ pour au moins une valeur augmentée θ_{mod} de la température moyenne θ , et on utilise la matrice d'impédances modifiée pour recalculer les courants cibles. Dans le cas d'intervalles variables d'échantillonnage, le calcul des courants cibles peut s'effectuer à chaque fois que la température moyenne θ mesurée atteint sensiblement une nouvelle valeur augmentée θ_{mod} parmi une série de valeurs prédéterminées.

[0046] Avantagusement, l'onduleur de courant alimentant l'inducteur de plus faible impédance, par exemple la bobine Ind1 dans l'exemple de la figure 1, est choisi comme onduleur de référence puisque le courant dans cet inducteur, plus grand que celui dans les autres inducteurs, est pris préféablement comme référence de phase. L'onduleur de courant ayant le plus fort courant, ou l'onduleur de tension ayant la plus forte tension dans le cas où l'alimentation 1 des onduleurs est une source de tension comme représenté sur la figure 9, pourra être pris comme onduleur de référence. De plus, l'onduleur de référence peut être réglé avantagusement avec un rapport cyclique de 2/3, c'est à dire qu'il est commandé de façon à générer une onde carrée de 120° ON et 60° OFF par demi-période. Ceci a pour but d'annuler l'harmonique d'ordre 3 et ses multiples afin de diminuer les perturbations harmoniques créées par cet onduleur sur ses voisins. Il est entendu que le rapport cyclique de l'onduleur de référence n'est pas nécessairement réglé à la valeur 2/3. Par exemple, une commande en pleine onde pourra être préférée dans certains cas.

[0047] La valeur efficace du courant dans l'onduleur de référence pourra être réglée par action sur l'alimentation 1 continue en courant ou en tension. Ceci présente l'avantage notamment d'avoir un vecteur des inconnues (cf. relation 1 précédente) dans lequel on a éliminé la phase du courant dans l'inducteur Ind1, ce qui simplifie l'obtention du vecteur optimisé x comme dans l'exemple décrit précédemment. Il est entendu qu'on peut alternativement régler la valeur efficace du courant dans l'onduleur de référence en introduisant des angles de décalage sur la commande de cet onduleur. Sur la figure 8, le courant I_1 étant pris comme référence de phase, il est avantageux que l'unité comparatrice correspondante ε_1 reçoive les paramètres du courant $I_{\text{c mes}}$ délivré par l'alimentation continue 1. De cette façon, l'unité de traitement CORR_1 associée sera adaptée pour générer des instructions de régulation envoyées à l'alimentation 1 via un modulateur de pilotage M'1, de façon à modifier le courant délivré par l'onduleur O1 au circuit oscillant OC1, ce qui permet de contrôler l'amplitude de ce courant et donc de modifier l'amplitude du courant I_1 dans l'inducteur Ind1.

[0048] Pour chauffer une pièce métallique avec le dispositif de chauffage décrit ci-dessus, on utilise le procédé com-

prenant les étapes suivantes:

- a) on compare le profil de température effectif de la pièce au profil prédéterminé de température de référence, et on calcule le profil de densité de puissance de référence que le dispositif doit injecter dans la pièce pour atteindre le profil de température de référence ;
- b) à partir de la matrice d'impédances Z du système, préférablement associée au vecteur des capacités des circuits oscillants, et par la connaissance des fonctions images vectorielles f_k , on calcule les courants cibles que doivent délivrer les onduleurs afin que les courants des inducteurs atteignent les valeurs cibles appropriées pour injecter dans la pièce le profil de densité de puissance de référence ;
- c) on détermine par mesure ou par calcul les courants traversant les inducteurs pour les comparer aux valeurs cibles de ces courants et déterminer les écarts de courants à corriger, et on envoie aux modulateurs les instructions de correction afin de commander les onduleurs de façon à corriger les courants.

[0049] Bien entendu, les courants cibles ainsi que les courants des inducteurs mesurés ou calculés sont des vecteurs courants, par conséquent on prend en compte non seulement l'amplitude mais aussi la phase.

[0050] Avantagusement, après avoir effectué successivement les étapes (a) et (b), on effectue au moins une fois l'étape (c) pour diminuer les écarts de courants à corriger, puis on réitère au moins une fois les étapes (a), (b) et (c) en actualisant le profil de température effectif par des mesures de température en différentes zones chauffées de la pièce.

[0051] Sur la figure 9 est représenté schématiquement un deuxième mode de réalisation d'un dispositif de chauffage par induction selon l'invention, dans lequel l'alimentation 1 des onduleurs est une source de tension continue.

[0052] Le dispositif de chauffage est analogue à celui du premier mode de réalisation de la figure 8, mais les onduleurs de courant sont mis en parallèle avec la source de tension. Ce mode de réalisation présente certains avantages, notamment celui de diminuer les pertes par conduction dans les onduleurs. Par contre, le paramètre de courant $I_{c\text{ calc}}$ représentatif du courant que délivre l'alimentation 1 à l'onduleur O1 doit être calculé à partir de la tension d'alimentation à l'aide d'une matrice d'impédances Z' .

Revendications

1. Procédé de chauffage par induction mis en oeuvre dans un dispositif de chauffage d'une pièce métallique, le dispositif comprenant des inducteurs (I_{nd1} , I_{nd2} , ..., I_{ndp}) couplés magnétiquement, chaque inducteur étant alimenté par un onduleur ($O1$, $O2$, ..., O_p) qui lui est propre et associé à un condensateur ($C1$, $C2$, ..., C_p) pour former un circuit oscillant ($OC1$, $OC2$, ..., OC_p), lesdits circuits oscillants possédant au moins approximativement la même fréquence de résonance, chaque onduleur étant commandé par une unité de commande ($M1$, $M2$, ..., M_p) de façon à faire varier l'amplitude (A_1 , A_2 , ..., A_p) et la phase (φ_1 , φ_2 , ..., φ_p) du courant (I_1 , I_2 , ..., I_p) traversant l'inducteur correspondant, le dispositif comprenant en outre des moyens de détermination dudit courant (I_1 , I_2 , ..., I_p) ainsi que des moyens de détermination d'un profil de température effectif ($\theta_{1\text{ mes}}$, $\theta_{2\text{ mes}}$, ..., $\theta_{n\text{ mes}}$) de ladite pièce métallique, ledit procédé comprenant les étapes suivantes :

a) on compare ledit profil de température effectif ($\theta_{1\text{ mes}}$, $\theta_{2\text{ mes}}$, ..., $\theta_{n\text{ mes}}$) à un profil de température de référence ($\theta_{1\text{ ref}}$, $\theta_{2\text{ ref}}$, ..., $\theta_{n\text{ ref}}$), et on calcule un profil de densité de puissance de référence (Dp^{ref}_1 , Dp^{ref}_2 , ..., Dp^{ref}_n) que le dispositif de chauffage doit injecter dans ladite pièce pour atteindre ledit profil de température de référence ;

b) à partir d'une matrice d'impédances (Z) déterminée par la connaissance des relations électromagnétiques liant lesdits inducteurs entre eux et à ladite pièce et par la connaissance de fonctions images vectorielles (f_k) représentatives des relations liant les densités de courant créées par les inducteurs aux courants (I_1 , I_2 , ..., I_p) traversant les inducteurs, on calcule des courants cibles que doivent délivrer les onduleurs afin que les courants des inducteurs atteignent des valeurs cibles ($I_{1\text{ ref}}$, $I_{2\text{ ref}}$, ..., $I_{p\text{ ref}}$) appropriées pour injecter dans ladite pièce ledit profil de densité de puissance de référence (Dp^{ref}_1 , Dp^{ref}_2 , ..., Dp^{ref}_n) ;

c) on détermine les courants ($I_{1\text{ mes}}$, $I_{2\text{ mes}}$, ..., $I_{p\text{ mes}}$) traversant les inducteurs pour les comparer aux dites valeurs cibles ($I_{1\text{ ref}}$, $I_{2\text{ ref}}$, ..., $I_{p\text{ ref}}$) et déterminer des écarts de courants ($\delta I_{1\text{ corr}}$, $\delta I_{2\text{ corr}}$, ..., $\delta I_{p\text{ corr}}$) à corriger, et on envoie aux dites unités de commande ($M1$, $M2$, ..., M_p) des instructions de correction en fonction desdits écarts de courants afin de commander les onduleurs de façon à corriger les courants traversant les inducteurs.

2. Procédé de chauffage selon la revendication 1, dans lequel on détermine les capacités desdits condensateurs ($C1$, $C2$, ..., C_p) et on associe ladite matrice d'impédances (Z) à un vecteur (C) des capacités.

3. Procédé de chauffage selon la revendication 1 ou 2, dans lequel on détermine une valeur initiale (Z_{ini}) de ladite

matrice d'impédances (Z) pour une température moyenne initiale (θ_{ini}) donnée desdits inducteurs et de ladite pièce, puis on détermine à intervalles variables ou périodiques la matrice d'impédances modifiée ($Z_{mod}(\theta)$) pour au moins une valeur augmentée (θ_{mod}) de ladite température moyenne, et on utilise ladite matrice d'impédances modifiée pour recalculer les dites valeurs cibles ($I_{1\text{ ref}}, I_{2\text{ ref}}, \dots, I_{p\text{ ref}}$).

4. Procédé de chauffage selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel après avoir effectué successivement les étapes (a) et (b) on effectue au moins une fois l'étape (c) pour diminuer lesdits écarts de courants ($\delta I_{1\text{ corr}}, \delta I_{2\text{ corr}}, \dots, \delta I_{p\text{ corr}}$) à corriger, puis on réitère au moins une fois les étapes (a), (b) et (c) en actualisant ledit profil de température effectif ($\theta_{1\text{ mes}}, \theta_{2\text{ mes}}, \dots, \theta_{n\text{ mes}}$) par des mesures de température en différentes zones chauffées de la pièce.
5. Procédé de chauffage selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel pour la détermination par calcul des dites valeurs cibles ($I_{1\text{ ref}}, I_{2\text{ ref}}, \dots, I_{p\text{ ref}}$) à l'étape (b), grâce à la connaissance desdites fonctions images vectorielles (f_k) on calcule des fonctions images des densités de puissance ($Dp(r, x)$) selon les caractéristiques spatiales (r) des zones de la pièce dans lesquelles lesdites densités de puissance sont injectées, et on calcule un vecteur optimisé (x) des courants cibles à déterminer en minimisant la différence entre chacune desdites fonctions images des densités de puissance ($Dp(r, x)$) et une fonction densité de puissance de référence ($Dp^{\text{ref}}(r)$) correspondant audit profil de densité de puissance de référence ($Dp^{\text{ref}}_1, Dp^{\text{ref}}_2, \dots, Dp^{\text{ref}}_n$).
6. Procédé de chauffage selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel on prend comme onduleur de référence un onduleur (O1) ayant par rapport aux autres onduleurs (O2, ..., Op) le plus fort courant dans le cas d'un onduleur de courant ou la plus forte tension dans le cas d'un onduleur de tension, et on introduit des angles de décalage sur les commandes des autres onduleurs par rapport à un angle de commande sur l'onduleur de référence.
7. Procédé de chauffage selon la revendication 6, dans lequel on règle l'onduleur de référence (O1) avec un rapport cyclique égal à 2/3, afin de diminuer les perturbations harmoniques créées par cet onduleur sur ces voisins (O2, ..., Op).
8. Procédé de chauffage selon la revendication 6 ou 7, dans lequel on règle la valeur efficace du courant dans ledit onduleur de référence (O1) en agissant sur une alimentation continue (1) qui alimente les onduleurs (O1, O2, ..., Op).
9. Dispositif de chauffage par induction comprenant :

des inducteurs ($Ind1, Ind2, \dots, Indp$) couplés magnétiquement, chaque inducteur étant associé à un condensateur ($C1, C2, \dots, Cp$) pour former un circuit oscillant ($OC1, OC2, \dots, OCp$), lesdits circuits oscillants possédant au moins approximativement la même fréquence de résonance ;

des onduleurs (O1, O2, ..., Op) alimentant chacun un inducteur ($Ind1, Ind2, \dots, Indp$) qui lui est propre, chaque onduleur étant commandé par une unité de commande ($M1, M2, \dots, Mp$) de façon à faire varier l'amplitude ($A_1, A_2, \dots, A_p$) et la phase ($\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_p$) du courant ($I_1, I_2, \dots, I_p$) traversant l'inducteur correspondant ;

caractérisé en ce qu'il comprend en outre :

des moyens de détermination des courants ($I_1, I_2, \dots, I_p$) traversant les inducteurs ainsi que des moyens de détermination d'un profil de température effectif ($\theta_{1\text{ mes}}, \theta_{2\text{ mes}}, \dots, \theta_{n\text{ mes}}$) d'une pièce métallique chauffée par le dispositif ;

des moyens de comparaison dudit profil de température effectif ($\theta_{1\text{ mes}}, \theta_{2\text{ mes}}, \dots, \theta_{n\text{ mes}}$) par rapport à un profil de température de référence ($\theta_{1\text{ ref}}, \theta_{2\text{ ref}}, \dots, \theta_{n\text{ ref}}$) ;

des moyens de calcul d'un profil de densité de puissance de référence ($Dp^{\text{ref}}_1, Dp^{\text{ref}}_2, \dots, Dp^{\text{ref}}_n$) que le dispositif de chauffage doit injecter dans ladite pièce pour atteindre ledit profil de température de référence ;

des moyens de calcul, basés sur la connaissance d'une matrice des impédances (Z), de courants cibles que doivent délivrer les onduleurs afin que les courants des inducteurs atteignent des valeurs cibles ($I_{1\text{ ref}}, I_{2\text{ ref}}, \dots, I_{p\text{ ref}}$) appropriées pour injecter dans ladite pièce ledit profil de densité de puissance de référence ($Dp^{\text{ref}}_1, Dp^{\text{ref}}_2, \dots, Dp^{\text{ref}}_n$) ;

des moyens de comparaison ($\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_p$) des courants ($I_{1\text{ mes}}, I_{2\text{ mes}}, \dots, I_{p\text{ mes}}$) traversant les inducteurs par rapport aux dites valeurs cibles ($I_{1\text{ ref}}, I_{2\text{ ref}}, \dots, I_{p\text{ ref}}$), aptes à déterminer des écarts de courants ($\delta I_{1\text{ corr}}, \delta I_{2\text{ corr}}, \dots, \delta I_{p\text{ corr}}$) à corriger, et des moyens de traitement ($CORR_1, CORR_2, \dots, CORR_p$) desdits écarts de courants aptes à générer des instructions de correction envoyées aux dites unités de commande ($M1, M2, \dots, Mp$) pour commander les onduleurs de façon à corriger les courants traversant les inducteurs.

10. Dispositif de chauffage par induction selon la revendication 9, dans lequel les onduleurs (O1, O2,..., Op) sont alimentés par une même alimentation (1) source de courant ou source de tension, et dans lequel lesdits moyens de comparaison desdits courants déterminés ($I_{1\text{ mes}}, I_{2\text{ mes}}, \dots, I_{p\text{ mes}}$) traversant les inducteurs comprennent des unités comparatrices ($\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_p$) recevant chacune des paramètres déterminés ($A_1, \varphi_1; A_2, \varphi_2; \dots; A_p, \varphi_p$) d'un courant traversant un inducteur ($I_{1\text{ mes}}, I_{2\text{ mes}}, \dots, I_{p\text{ mes}}$) et des paramètres des valeurs cibles correspondantes ($I_{1\text{ ref}}, I_{2\text{ ref}}, \dots, I_{p\text{ ref}}$) et étant chacune reliée à une unité de traitement ($\text{CORR}_1, \text{CORR}_2, \dots, \text{CORR}_p$) desdits écarts de courants, une (ε_1) desdites unités comparatrices recevant en outre des paramètres ($I_{c\text{ mes}}, I_{c\text{ calc}}$) représentatifs de ce que délivre ladite alimentation (1) et son unité de traitement associée (CORR_1) étant adaptée pour générer des instructions de régulation envoyées à ladite alimentation (1) de façon à modifier le courant ou la tension qu'elle délivre.

Patentansprüche

1. Induktionsheizverfahren, das in einer Heizvorrichtung eines Metallteils eingesetzt wird, wobei die Vorrichtung magnetisch gekoppelte Induktoren ($\text{Ind}_1, \text{Ind}_2, \dots, \text{Ind}_p$) umfasst, wobei jeder Induktor von einem Wechselrichter (O1, O2, ... Op) gespeist wird, der ihm eigen ist und mit einem Kondensator (C1, C2, ... Cp) verbunden ist, um einen Schwingkreis (OC1, OC2, ... OCp) zu bilden, wobei die Schwingkreise zumindest annähernd dieselbe Resonanzfrequenz besitzen, wobei jeder Wechselrichter von einer Steuereinheit (M1, M2, ... Mp) derart gesteuert wird, dass die Amplitude ($A_1, A_2, \dots, A_p$) und die Phase ($\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_p$) des Stroms ($I_1, I_2, \dots, I_p$), der den entsprechenden Induktor durchströmt, variiert werden, wobei die Vorrichtung ferner Mittel zur Bestimmung des Stroms ($I_1, I_2, \dots, I_p$) sowie Mittel zur Bestimmung eines tatsächlichen Temperaturprofils ($\theta_{1\text{ mes}}, \theta_{2\text{ mes}}, \dots, \theta_{n\text{ mes}}$) des Metallteils umfasst, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:
 - a) Vergleichen des tatsächlichen Temperaturprofils ($\theta_{1\text{ mes}}, \theta_{2\text{ mes}}, \dots, \theta_{n\text{ mes}}$) mit einem Referenztemperaturprofil ($\theta_{1\text{ ref}}, \theta_{2\text{ ref}}, \dots, \theta_{n\text{ ref}}$) und Berechnen eines Dichtheitsprofils einer Referenzleistung ($\text{Dp}^{\text{ref}}_1, \text{Dp}^{\text{ref}}_2, \dots, \text{Dp}^{\text{ref}}_n$), die die Heizvorrichtung in das Teil einleiten muss, um das Referenztemperaturprofil zu erreichen;
 - b) auf Basis einer Impedanzmatrix (Z), die durch die Kenntnis der elektromagnetischen Beziehungen zwischen den Induktoren untereinander und mit dem Teil und durch die Kenntnis von vektoriellen Bildfunktionen (f_k), bestimmt wird, wobei die Bildfunktionen für die Beziehungen repräsentativ sind, die die durch die Induktoren erzeugten Stromdichten mit den Strömen ($I_1, I_2, \dots, I_p$), die die Induktoren durchströmen, verbinden, Berechnen von Zielströmen, die die Wechselrichter liefern müssen, damit die Ströme der Induktoren Zielwerte ($I_{1\text{ ref}}, I_{2\text{ ref}}, \dots, I_{p\text{ ref}}$) erreichen, die geeignet sind, um in das Teil das Dichtheitsprofil der Referenzleistung ($\text{Dp}^{\text{ref}}_1, \text{Dp}^{\text{ref}}_2, \dots, \text{Dp}^{\text{ref}}_n$) einzuleiten;
 - c) Bestimmen der Ströme ($I_{1\text{ mes}}, I_{2\text{ mes}}, \dots, I_{p\text{ mes}}$), die die Induktoren durchströmen, um sie mit den Zielwerten ($I_{1\text{ ref}}, I_{2\text{ ref}}, \dots, I_{p\text{ ref}}$) zu vergleichen und zu korrigierende Stromabweichungen ($\delta I_{1\text{ corr}}, \delta I_{2\text{ corr}}, \dots, \delta I_{p\text{ corr}}$) zu bestimmen, und Senden von Korrekturbefehlen an die Steuereinheiten (M1, M2, ... Mp) in Abhängigkeit von den Stromabweichungen, um die Wechselrichter derart zu steuern, dass die die Induktoren durchströmenden Ströme korrigiert werden.
2. Heizverfahren nach Anspruch 1, bei dem die Kapazitäten der Kondensatoren (C1, C2, ... Cp) bestimmt werden und die Impedanzmatrix (Z) einem Vektor (C) der Kapazitäten zugeordnet wird.
3. Heizverfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem ein Ausgangswert (Z_{ini}) der Impedanzmatrix (Z) für eine gegebene durchschnittliche Ausgangstemperatur (θ_{ini}) der Induktoren und des Teils bestimmt wird, dann in variablen oder periodischen Intervallen die abgeänderte Impedanzmatrix ($Z_{\text{mod}}(\theta)$) für mindestens einen erhöhten Wert (θ_{mod}) der durchschnittlichen Temperatur bestimmt wird und die abgeänderte Impedanzmatrix verwendet wird, um die Zielwerte ($I_{1\text{ ref}}, I_{2\text{ ref}}, \dots, I_{p\text{ ref}}$) neu zu berechnen.
4. Heizverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem, nachdem nacheinander die Schritte (a) und (b) durchgeführt wurden, mindestens einmal der Schritt (c) durchgeführt wird, um die zu korrigierenden Stromabweichungen ($\delta I_{1\text{ corr}}, \delta I_{2\text{ corr}}, \dots, \delta I_{p\text{ corr}}$) zu verringern, dann mindestens einmal die Schritte (a), (b) und (c) reiteriert werden, wobei das tatsächliche Temperaturprofil ($\theta_{1\text{ mes}}, \theta_{2\text{ mes}}, \dots, \theta_{n\text{ mes}}$) durch Temperaturmessungen an verschiedenen erhitzten Zonen des Teils aktualisiert wird.
5. Heizverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem für die Bestimmung der Zielwerte ($I_{1\text{ ref}}, I_{2\text{ ref}}, \dots, I_{p\text{ ref}}$) durch Berechnung in Schritt (b) dank der Kenntnis der vektoriellen Bildfunktionen (f_k) Bildfunktionen der Leistungsdichten ($\text{Dp}(r, x)$) nach den Raummerkmalen (r) der Zonen des Teils, in die die Leistungsdichten eingeleitet werden,

berechnet werden, und ein optimierter Vektor (x) der zu bestimmenden Zielströme durch Minimierung der Differenz zwischen jeder der Bildfunktionen der Leistungsdichten ($Dp(r,x)$) und einer Funktion einer Referenzleistungsdichte ($Dp^{ref}(r)$) entsprechend dem Dichtheitsprofil einer Referenzleistung ($Dp^{ref}_1, Dp^{ref}_2, \dots Dp^{ref}_n$) berechnet wird.

6. Heizverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem als Referenzwechselrichter ein Wechselrichter (O1) herangezogen wird, der im Vergleich mit den anderen Wechselrichtern (O2, ... Op) den stärksten Strom im Falle eines Stromwechselrichters und die stärkste Spannung im Falle eines Spannungswechselrichters hat, und in Bezug zu einem Steuerwinkel am Referenzwechselrichter versetzte Winkel an den Steuerungen der anderen Wechselrichter eingeleitet werden.

7. Heizverfahren nach Anspruch 6, bei dem der Referenzwechselrichter (O1) mit einem zyklischen Verhältnis gleich 2/3 eingestellt wird, um die harmonischen Störungen, die durch diesen Wechselrichter an diesen Nachbarn (O2, ... Op) hervorgerufen werden, zu verringern.

8. Heizverfahren nach Anspruch 6 oder 7, bei dem der Wirkungswert des Stroms in dem Referenzwechselrichter (O1) durch Einwirken auf eine kontinuierliche Einspeisung (1), die die Wechselrichter (O1, O2, ... Op) speist, eingestellt wird.

9. Induktionsheizvorrichtung, umfassend:

- magnetisch gekoppelte Induktoren ($Ind1, Ind2, \dots Indp$), wobei jeder Induktor mit einem Kondensator (C1, C2, ... Cp) verbunden ist, um einen Schwingkreis (OC1, OC2, ... OCp) zu bilden, wobei die Schwingkreise zumindest annähernd dieselbe Resonanzfrequenz besitzen;

- Wechselrichter (O1, O2, ... Op), die jeweils einen Induktor ($Ind1, Ind2, \dots Indp$), der ihm eigen ist, speisen, wobei jeder Wechselrichter von einer Steuereinheit (M1, M2, ... Mp) derart gesteuert wird, dass die Amplitude ($A_1, A_2, \dots A_p$) und die Phase ($\varphi_1, \varphi_2, \dots \varphi_p$) des Stroms ($I_1, I_2, \dots I_p$), der den entsprechenden Induktor durchströmt, variiert werden;

dadurch gekennzeichnet, dass sie ferner umfasst:

- Mittel zur Bestimmung der Ströme ($I_1, I_2, \dots I_p$), die die Induktoren durchströmen, sowie Mittel zur Bestimmung eines tatsächlichen Temperaturprofils ($\theta_{1mes}, \theta_{2mes}, \dots \theta_{nmes}$) eines Metallteils, das durch die Vorrichtung erhitzt wurde;

- Mittel zum Vergleichen des tatsächlichen Temperaturprofils ($\theta_{1mes}, \theta_{2mes}, \dots \theta_{nmes}$) mit einem Referenztemperaturprofil ($\theta_{1ref}, \theta_{2ref}, \dots \theta_{nref}$);

- Mittel zum Berechnen eines Dichtheitsprofils einer Referenzleistung ($Dp^{ref}_1, Dp^{ref}_2, \dots Dp^{ref}_n$), die die Heizvorrichtung in das Teil einleiten muss, um das Referenztemperaturprofil zu erreichen;

- Mittel zum Berechnen von Zeitströmen auf Basis der Kenntnis einer Impedanzmatrix (Z), die Zielströme, die Wechselrichter liefern müssen, damit die Ströme der Induktoren Zielwerte ($I_{1ref}, I_{2ref}, \dots I_{pref}$) erreichen, die geeignet sind, um in das Teil das Dichtheitsprofil der Referenzleistung ($Dp^{ref}_1, Dp^{ref}_2, \dots Dp^{ref}_n$) einzuleiten;

- Mittel zum Vergleichen ($\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots \varepsilon_p$) der Ströme ($I_{1mes}, I_{2mes}, \dots I_{pmes}$), die die Induktoren durchströmen, mit den Zielwerten ($I_{1ref}, I_{2ref}, \dots I_{pref}$), die geeignet sind, zu korrigierende Stromabweichungen ($\delta I_{1corr}, \delta I_{2corr}, \dots \delta I_{pcorr}$) zu bestimmen, und Mittel zur Bearbeitung ($CORR_1, CORR_2, \dots CORR_p$) der Stromabweichungen, die geeignet sind, Korrekturbefehle zu erzeugen, die an die Steuereinheiten (M1, M2, ... Mp) gesandt werden, um die Wechselrichter derart zu steuern, dass die die Induktoren durchströmenden Ströme korrigiert werden.

10. Induktionsheizvorrichtung nach Anspruch 9, bei der die Wechselrichter (O1, O2, ... Op) von einer selben Einspeisung (1), die eine Stromquelle oder eine Spannungsquelle ist, gespeist werden, und bei der die Mittel zum Vergleichen der bestimmten Ströme ($I_{1mes}, I_{2mes}, \dots I_{pmes}$), die die Induktoren durchströmen, Vergleichseinheiten ($\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots \varepsilon_p$) umfassen, die jeweils bestimmte Parameter ($A_1, \varphi_1; A_2, \varphi_2; \dots A_p, \varphi_p$) eines Stroms, der einen Induktor durchströmt, ($I_{1mes}, I_{2mes}, \dots I_{pmes}$) und Parameter der entsprechenden Zielwerte ($I_{1ref}, I_{2ref}, \dots I_{pref}$) empfangen und jeweils mit einer Bearbeitungseinheit ($CORR_1, CORR_2, \dots CORR_p$) der Stromabweichungen verbunden sind, wobei eine (ε_1) der Vergleichseinheiten ferner Parameter (I_{cmes}, I_{ccalc}) empfängt, die für das, was die Einspeisung (1) liefert, repräsentativ sind, und ihre zugehörige Bearbeitungseinheit ($CORR_1$) dazu vorgesehen ist, Befehle zur Regelung zu erzeugen, die an die Einspeisung (1) gesandt werden, um den Strom oder die Spannung, die sie liefert, zu verändern.

Claims

1. Induction heating method implemented in a device for heating a metal part, the device including magnetically coupled

inductors ($I_{nd1}, I_{nd2}, \dots, I_{ndp}$), each inductor being powered by a dedicated inverter ($O1, O2, \dots, Op$) associated with a capacitor ($C1, C2, \dots, Cp$) such as to form an oscillating circuit ($OC1, OC2, \dots, OCp$), said oscillating circuits having at least approximately the same resonance frequency, each inverter being controlled by a control unit ($M1, M2, \dots, Mp$) such as to vary the amplitude ($A_1, A_2, \dots, Ap$) and the phase ($\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_p$) of the current ($I_1, I_2, \dots, I_p$) passing through the corresponding inductor, the device also including means for determining said current ($I_1, I_2, \dots, I_p$) as well as means for determining an actual temperature profile ($\theta_{1\text{ mes}}, \theta_{2\text{ mes}}, \dots, \theta_{n\text{ mes}}$) of said metal part, said method including the following steps:

a) comparing said actual temperature profile ($\theta_{1\text{ mes}}, \theta_{2\text{ mes}}, \dots, \theta_{n\text{ mes}}$) with a reference temperature profile ($\theta_{1\text{ ref}}, \theta_{2\text{ ref}}, \dots, \theta_{n\text{ ref}}$) and calculating a profile of the reference power density ($Dp^{\text{ref}}_1, Dp^{\text{ref}}_2, \dots, Dp^{\text{ref}}_n$) which the heating device must inject into said part in order to achieve said reference temperature profile;
 b) from a matrix of impedances (Z) determined by knowledge of the electromagnetic relationships linking said inductors with each other and with said part and by knowledge of vector image functions (f_k) representing the relationships between the current densities created by the inductors and the currents ($I_1, I_2, \dots, I_p$) passing through the inductors, calculating the target currents which the inverters must produce in order for the currents of the inductors to reach target values ($I_{1\text{ ref}}, I_{2\text{ ref}}, \dots, I_{p\text{ ref}}$) that are suitable for injecting said reference power density profile ($Dp^{\text{ref}}_1, Dp^{\text{ref}}_2, \dots, Dp^{\text{ref}}_n$) into said part;
 c) determining the currents ($I_{1\text{ mes}}, I_{2\text{ mes}}, \dots, I_{p\text{ mes}}$) passing through the inductors in order to compare them with said target values ($I_{1\text{ ref}}, I_{2\text{ ref}}, \dots, I_{p\text{ ref}}$) and to determine current deviations ($\delta I_{1\text{ corr}}, \delta I_{2\text{ corr}}, \dots, \delta I_{p\text{ corr}}$) to be corrected, and sending correction instructions to said control units ($M1, M2, \dots, Mp$) in accordance with said current deviations in order to control the inverters such as to correct the currents passing through the inductors.

2. Heating method according to claim 1, in which the capacitances of said capacitors ($C1, C2, \dots, Cp$) are determined, and said matrix of impedances (Z) is associated with a vector (C) of the capacitances.

3. Heating method according to claim 1 or 2, in which the initial value (Z_{ini}) of said matrix of impedances (Z) is determined for a given initial average temperature (θ_{ini}) of said inductors and of said part, then the matrix of impedances ($Z_{\text{mod}}(\theta)$) modified for at least one increased value (θ_{mod}) of said average temperature is determined at variable or periodic intervals, and said modified matrix of impedances is used for recalculating said target values ($I_{1\text{ ref}}, I_{2\text{ ref}}, \dots, I_{p\text{ ref}}$).

4. Heating method according to any one of claims 1 to 3, in which after having successively carried out steps (a) and (b), step (c) is carried out at least once in order to reduce the current deviations ($\delta I_{1\text{ corr}}, \delta I_{2\text{ corr}}, \dots, \delta I_{p\text{ corr}}$) to be corrected, then steps (a), (b) and (c) are reiterated at least once on updating said actual temperature profile ($\theta_{1\text{ mes}}, \theta_{2\text{ mes}}, \dots, \theta_{n\text{ mes}}$) with temperature measurements in different heated zones of the part.

5. Heating method according to any one of claims 1 to 4, in which for the determination by calculation of said target values ($I_{1\text{ ref}}, I_{2\text{ ref}}, \dots, I_{p\text{ ref}}$) in step (b), because of knowledge of said vector image functions (f_k), image functions ($Dp(r, x)$) of the power densities are calculated according to the spatial characteristics (r) of the zones of the part into which said power densities are injected, and an optimized vector (x) of the target currents to be determined is calculated by minimizing the difference between each of said image functions of the power densities ($Dp(r, x)$) and a reference power density function ($Dp^{\text{ref}}(r)$) corresponding to said reference power density profile ($Dp^{\text{ref}}_1, Dp^{\text{ref}}_2, \dots, Dp^{\text{ref}}_n$).

6. Heating method according to any one of claims 1 to 5, in which an inverter ($O1$) having, in comparison with the other inverters ($O2, \dots, Op$), the highest current in the case of a current inverter or the highest voltage in the case of a voltage inverter is chosen as the reference inverter and shift angles are introduced in the controls of the other inverters with respect to a control angle of the reference inverter.

7. Heating method according to claim 6, in which the reference inverter ($O1$) is adjusted with a duty cycle equal to 2/3, in order to reduce the harmonic interference created by this inverter on its neighbours ($O2, \dots, Op$).

8. Heating method according to claim 6 or 7, in which the RMS value of the current in said reference inverter ($O1$) is adjusted by acting on a DC power supply (1) which powers the inverters ($O1, O2, \dots, Op$).

9. Induction heating device comprising:

magnetically coupled inductors ($I_{nd1}, I_{nd2}, \dots, I_{ndp}$), each inductor being associated with a capacitor ($C1, C2, \dots, Cp$) in order to form an oscillating circuit ($OC1, OC2, \dots, OCp$), said oscillating circuits having at least approxi-

mately the same resonance frequency;

inverters (O1, O2,..., Op), each powering a dedicated inductor (Ind1, Ind2,..., Indp), each inverter being controlled by a control unit (M1, M2,..., Mp) in such a way as to vary the amplitude ($A_1, A_2, \dots, A_p$) and the phase ($\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_p$) of the current ($I_1, I_2, \dots, I_p$) passing through the corresponding inductor;

characterized in that it comprises moreover:

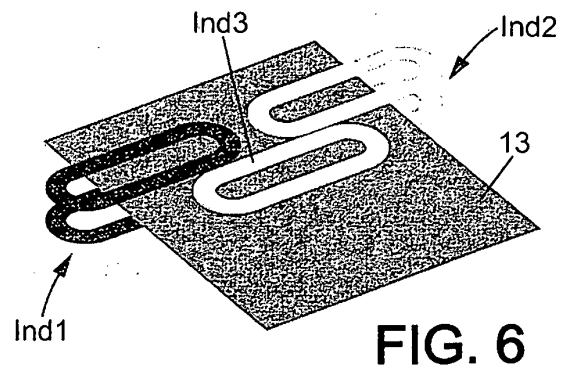
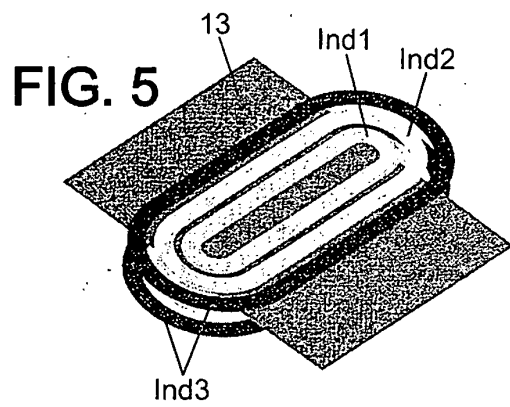
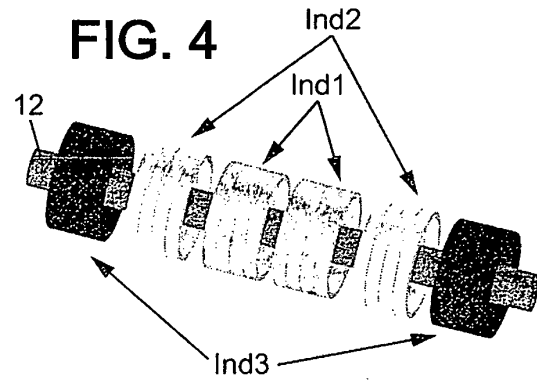
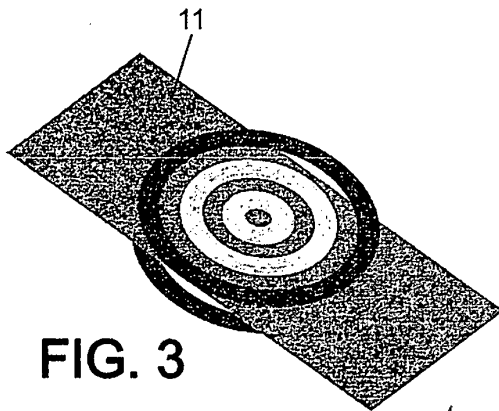
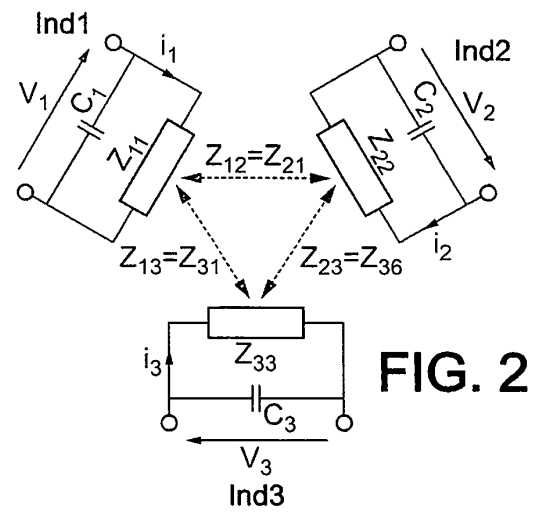
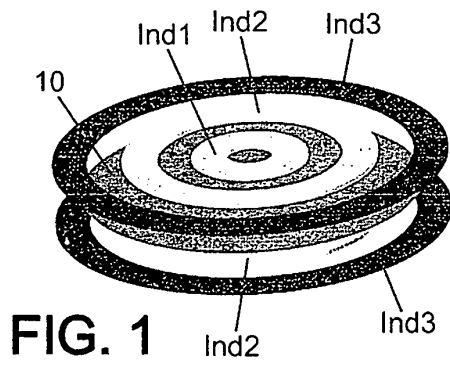
means of determination of the currents ($I_1, I_2, \dots, I_p$) passing through the inductors as well as means of determination of an actual temperature profile ($\theta_{1\text{ mes}}, \theta_{2\text{ mes}}, \dots, \theta_{n\text{ mes}}$) of a metal part heated by the device; means of comparison of said actual temperature profile ($\theta_{1\text{ mes}}, \theta_{2\text{ mes}}, \dots, \theta_{n\text{ mes}}$) with respect to a reference temperature profile ($\theta_{1\text{ ref}}, \theta_{2\text{ ref}}, \dots, \theta_{n\text{ ref}}$);

means of calculating a reference power density profile ($Dp^{\text{ref}}_1, Dp^{\text{ref}}_2, \dots, Dp^{\text{ref}}_n$) that the heating device must inject into said part in order to achieve said reference temperature profile;

means of calculating, based on knowledge of a matrix of the impedances (Z), target currents that the inverters must deliver in order that the inductor currents reach appropriate target values ($I_{1\text{ ref}}, I_{2\text{ ref}}, \dots, I_{p\text{ ref}}$) for injecting said reference power density profile ($Dp^{\text{ref}}_1, Dp^{\text{ref}}_2, \dots, Dp^{\text{ref}}_n$) into said part;

means of comparison ($\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_p$) of the currents ($I_{1\text{ mes}}, I_{2\text{ mes}}, \dots, I_{p\text{ mes}}$) passing through the inductors with respect to said target values ($I_{1\text{ ref}}, I_{2\text{ ref}}, \dots, I_{p\text{ ref}}$), capable of determining current deviations ($\delta I_{1\text{ corr}}, \delta I_{2\text{ corr}}, \dots, \delta I_{p\text{ corr}}$) to be corrected, and means of processing (CORR₁, CORR₂, ..., CORR_p) said current deviations capable of generating correction instructions sent to said control units (M1, M2, ..., Mp) for controlling the inverters in such a way as to correct the currents passing through the inductors.

- 10.** Induction heating device according to claim 9, in which the inverters (O1, O2,..., Op) are powered by the same current source or voltage source power supply (1), and in which said means of comparison of said determined currents ($I_{1\text{ mes}}, I_{2\text{ mes}}, \dots, I_{p\text{ mes}}$) passing through the inductors include comparator units ($\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_p$) each receiving determined parameters ($A_1, \varphi_1; A_2, \varphi_2; \dots; A_p, \varphi_p$) of a current ($I_{1\text{ mes}}, I_{2\text{ mes}}, \dots, I_{p\text{ mes}}$) passing through an inductor and parameters of the corresponding target values ($I_{1\text{ ref}}, I_{2\text{ ref}}, \dots, I_{p\text{ ref}}$) and each being connected to a unit (CORR₁, CORR₂, ..., CORR_p) for processing said current deviations, one (ε_1) of said comparator units furthermore receiving parameters ($I_{c\text{ mes}}, I_{c\text{ calc}}$) representative of what said power supply (1) delivers and its associated processing unit (CORR₁) being adapted to generate regulation instructions sent to said power supply (1) in order to modify the current or the voltage that it delivers.



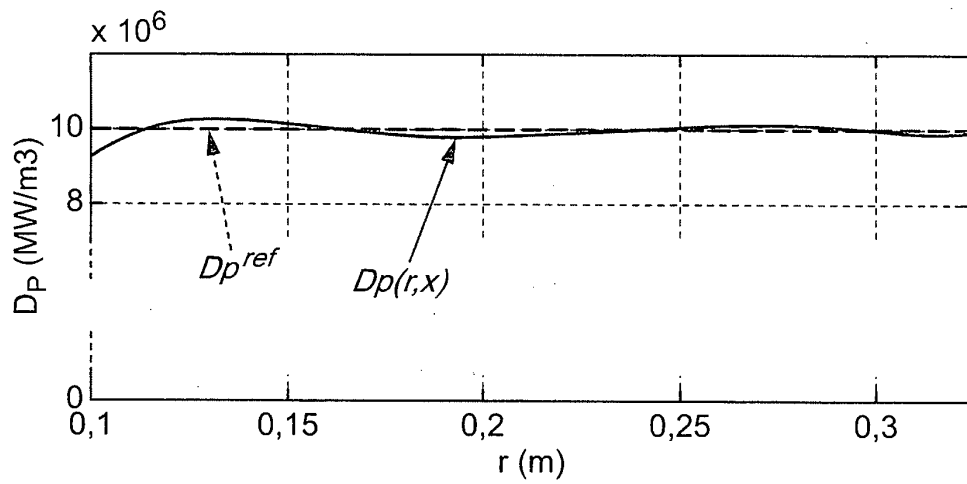
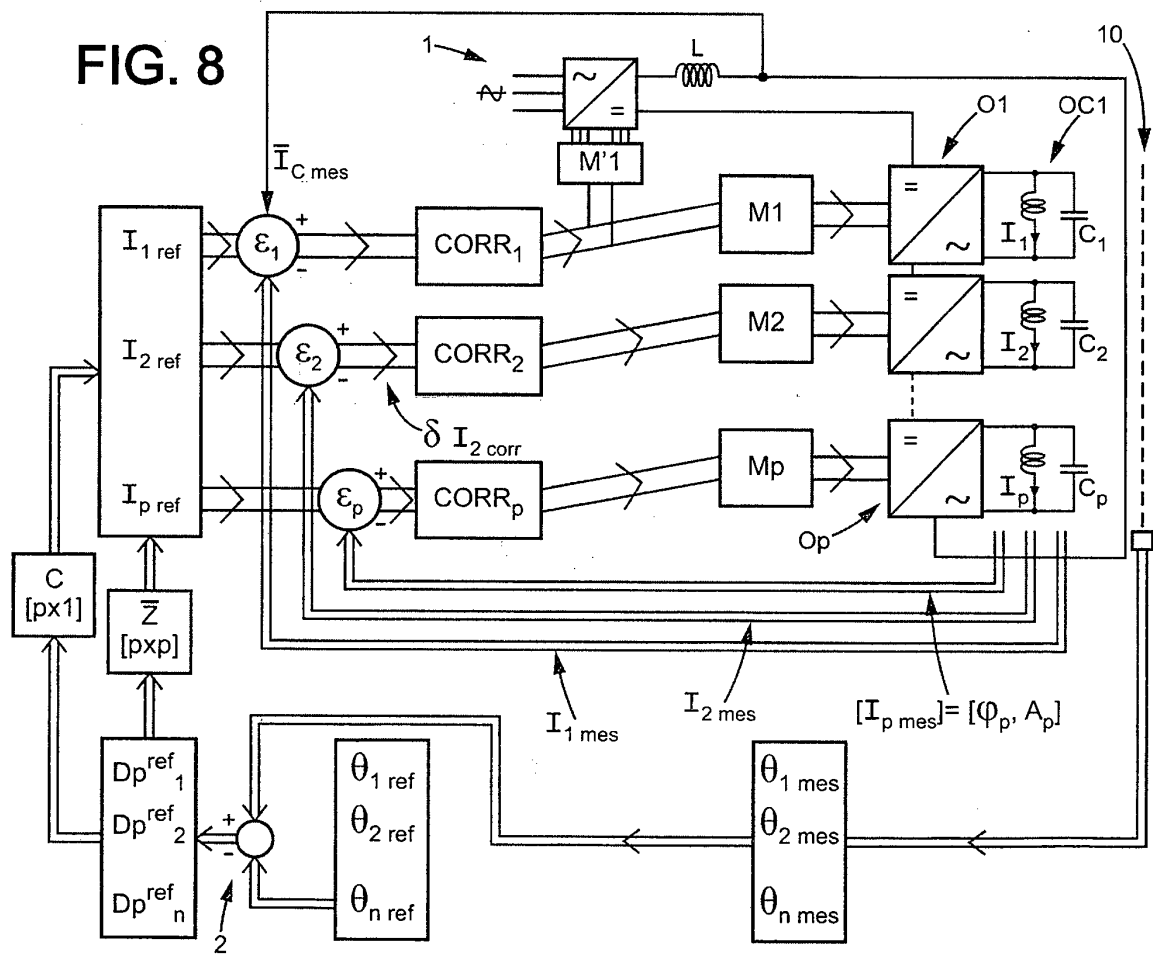


FIG. 7



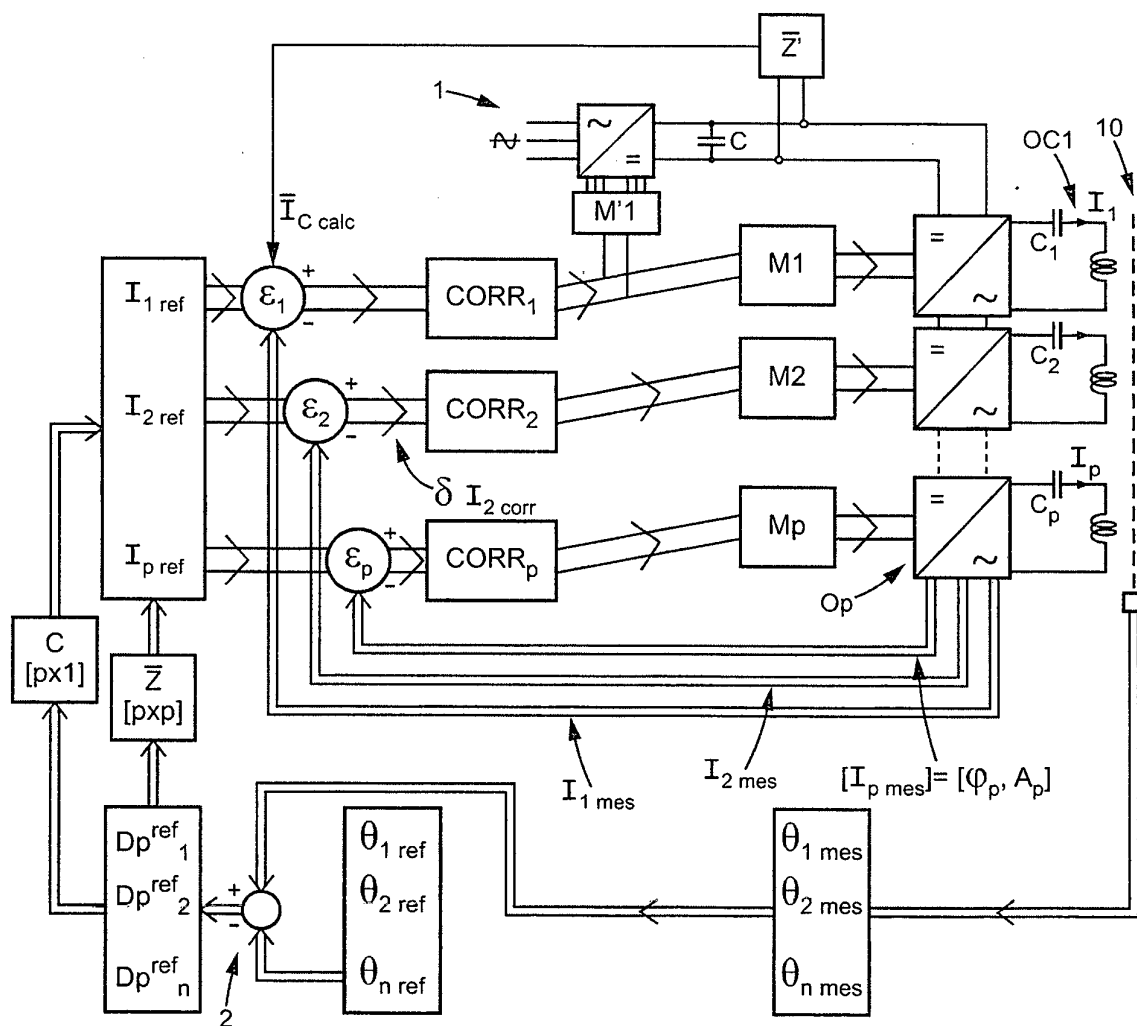


FIG. 9

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

- WO 0028787 A1 [0004]