

A1

**DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

⑫

**N° 81 08009**

---

⑤④ Association de fours.

⑤① Classification internationale (Int. Cl. <sup>3</sup>). H 05 B 11/00.

⑫② Date de dépôt..... 22 avril 1981.

③③ ③② ③① Priorité revendiquée : *Suède, 25 avril 1980, demandes de brevets, n° 8003140-4 et 3 juillet 1980, n° 8004925-7, au nom de la demanderesse.*

④① Date de la mise à la disposition du  
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 44 du 30-10-1981.

---

⑦① Déposant : Société dite : ASEA AB, résidant en Suède.

⑦② Invention de : Staffan Granström et Sven Ivner.

⑦③ Titulaire : *Idem* ⑦①

⑦④ Mandataire : Cabinet Flechner,  
63, av. des Champs-Élysées, 75008 Paris.

La présente invention se rapporte à une association de fours comprenant au moins un four à arc à courant alternatif ou à courant continu, tel que trois fours à arc monophasés, ou un ou plusieurs fours à arc biphasés ou triphasés reliés à un  
5 réseau de courant alternatif.

Les fours à arc représentent des charges difficiles pour les systèmes d'alimentation de puissance. En particulier, les fluctuations de la puissance réactive sont grandes et provoquent des fluctuations de tension qui peuvent être  
10 gênantes. Ces fluctuations de puissance réactive sont compensées par des agencements tels que des systèmes statiques, comprenant des condensateurs reliés en thyristors, ou des bobines commandées par l'angle de phase, le cas échéant complétées par des filtres pour les harmoniques. Mais ces moyens de compensation  
15 ne peuvent compenser les fluctuations de la puissance active, mais seulement l'équilibrer. Dans des réseaux faibles, les fluctuations de la puissance active donnent lieu à des fluctuations gênantes de puissance en dépit de leur compensation. Quand on relie des fours à arc à des réseaux faibles, au  
20 voisinage du générateur, ces fluctuations de puissance active peuvent être nuisibles au générateur ainsi qu'aux turbines. Les problèmes sont importants en raison des asymétries de courant et des fluctuations de puissance.

L'invention vise à fournir une solution à ces problèmes et à d'autres problèmes qui y sont associés. L'association  
25 de fours suivant l'invention se caractérise en ce qu'au moins un four à induction est relié au même réseau que les fours à arc, en vue de chauffer au préalable la ferraille de laquelle le four à arc doit être ensuite chargé, cette dernière liaison  
30 étant obtenue par l'intermédiaire d'au moins un convertisseur de tension alternative qui peut être commandé. En commandant la puissance qui sort vers le four à induction, ou vers les fours à induction, on peut aplanir plus rapidement et plus efficacement les fluctuations de puissance et on obtient du  
35 réseau une puissance de sortie à peu près constante. Ceci résout les problèmes mentionnés ci-dessus, et en outre on obtient une production plus élevée et des coûts de production plus bas avec, entre autres, une consommation d'électrodes plus faible et des durées de fusion plus brèves dans les fours

à arc.

Dans le cas de fours à courant continu, ceux-ci sont reliés au réseau par l'intermédiaire de convertisseurs.

5 Dans une variante préférée, chaque four à induction (de préférence de type à creuset) est relié au réseau par l'intermédiaire d'un convertisseur de tension alternative.

10 Suivant une autre variante préférée, des dispositifs de compensation des fluctuations de la puissance réactive dues au four , ou aux fours à arc, sont connectées à l'association de fours.

Dans l'association de fours mentionnée ci-dessus, on a résolu les problèmes qui se posent par la liaison d'au moins un four à induction destiné à chauffer au préalable la ferraille de laquelle le four à arc doit être ensuite chargé, cette  
15 dernière liaison étant obtenue par l'intermédiaire d'un convertisseur de tension alternative qui peut être commandé.

La variante préférée mentionnée en dernier est caractérisée en ce que les dispositifs de compensation sont constitués au moins partiellement soit d'un four à induction monophasé relié à chaque phase, soit dans le cas de réseaux triphasés de  
20 plusieurs fours à induction triphasés, auquel cas la ferraille à envoyer au four à arc est disposée de manière à être chauffée au préalable dans les fours à induction. C'est ainsi que, dans ce cas, des bobines commandées par l'angle de phase ou autre  
25 installation semblable, qui se composent normalement d'un certain nombre de bobines monophasées, une pour chaque phase, sont remplacées soit par trois fours à induction monophasés, soit par plusieurs fours à induction triphasés, dans lesquels la ferraille peut être chauffée par induction. Cette solution,  
30 qui est une variante à la solution précédente, signifie qu'une partie considérable de l'énergie requise pour la fusion est fournie à la ferraille en dehors du four à arc, ce qui a pour résultat des durées de fusion abrégées et une consommation plus faible d'électrodes. En plus de la stabilisation de la  
35 tension, ceci donne une augmentation de la production plus grande et une diminution des coûts plus grande qu'un système classique de correction du facteur de puissance à l'aide de bobines à air.

Aux dessins annexés, donnés uniquement à titre

d'exemple :

la figure 1 est un schéma destiné à permettre d'expliquer l'invention ;

la figure 2 est une vue d'un détail du four de chauffage préalable ;

la figure 3 est un schéma du four à induction et de son convertisseur de tension alternative ;

la figure 4 est un graphique illustrant les différents stades de l'utilisation de l'association de fours ;

la figure 5 et la figure 6 représentent, respectivement, trois fours à induction placés au-dessus du récipient pour la ferraille ;

la figure 7a illustre une alimentation commune de plusieurs fours à induction suivant la dernière variante mentionnée, tandis que la figure 7b illustre l'alimentation distincte de divers fours à induction ;

la figure 8 illustre la division du dispositif compensateur, tandis que la figure 9a illustre la connexion de trois fours à induction monophasés ;

la figure 9b illustre la connexion d'un four triphasé à un réseau triphasé ;

la figure 10 illustre un four à induction triphasé ;

la figure 11 illustre la connexion de plusieurs fours triphasés ;

la figure 12 illustre le chargement des fours, tandis que la figure 13 représente une vue d'un détail de ces fours avec un conduit de sortie des gaz de carneaux ; et

la figure 14 est un schéma de circuits pour des fours suivant l'invention.

Suivant la figure 1, l'association de fours se compose de deux fours 2, 3 à arc qui sont reliés respectivement à un réseau 1 de tension alternative par l'intermédiaire de transformateurs 4, 5. Au réseau 1 qui, de préférence est un réseau triphasé, est relié un compensateur 6 de la puissance réactive, en vue de stabiliser la tension et de compenser les puissances respectives, ce compensateur étant relié par un transformateur 7. Ce dernier se compose, par exemple, de condensateurs reliés en thyristors, ou d'un réacteur commandé par l'angle de phase, le cas échéant avec des filtres pour les harmoniques.

Le compensateur des fluctuations de la puissance active est représenté en 8 (figure 1) et est relié au réseau par un transformateur 9. Le compensateur se compose d'un convertisseur de tension alternative et d'un four à induction alimenté par ce convertisseur, de préférence un pour chaque phase, ou d'un convertisseur triphasé avec un four triphasé. Il est aussi possible d'avoir un compensateur par phase et ainsi un four d'induction par phase et, le cas échéant, un four à arc triphasé ou trois fours à arc monophasés.

La figure 3 illustre un four 10 à induction qui est muni d'un condensateur 11 habituel monté en parallèle. Il est relié au réseau par l'intermédiaire d'un convertisseur de tension alternative comprenant deux thyristors 12 montés en opposition (des variantes différentes de liaison avec un nombre différent de thyristors sont possibles) et une bobine 13, le convertisseur étant relié au réseau par un transformateur 9.

Les fluctuations de la puissance qui provient du four ou des fours à arc sont mesurées à la manière classique, et le signal de mesure obtenu commande les thyristors 12 de manière à obtenir une puissance  $P_{ref}$  de sortie totale relativement constante.

Les puissances réactives provenant des fours 2, 3 à arc et du compensateur 8 de puissance active (W) sont compensées phase à phase par le compensateur 6 de puissance réactive qui donne aussi de la symétrie aux puissances P actives provenant du four à arc (four R, S, T, multiphasé ou plusieurs fours monophasés) et des fours à induction, par exemple suivant les équations :

$$\begin{aligned} Q(\text{VAR})_{RS} &= - (Q(U+W)_R + Q(U+W)_S - Q(U+W)_T) \\ Q(\text{VAR})_{ST} &= - (-Q(U+W)_R + Q(U+W)_S + Q(U+W)_T) \\ Q(\text{VAR})_{TR} &= - (Q(U+W)_R - Q(U+W)_S + Q(U+W)_T). \end{aligned}$$

Le convertisseur 12, 13 de tension alternative alimente trois fours 10 monophasés de chauffage de la ferraille par induction, ou un ou plusieurs fours de ce type triphasé, suivant les figures 3, 5 et 6.

Chaque phase du compensateur 8 est commandée de manière

à ce que les puissances actives des fours 2, 3 à arce et des fours 8, 10 de chauffage préalable de la ferraille soient constantes suivant les équations de commande :

$$\begin{aligned} 5 \quad & P_u(t) + P_w(t) = P_{\text{pref}} \\ & \text{ou} \\ & P_{\text{WRS}} = 1/3 P_{\text{pref}} - (P_{\text{UR}} + P_{\text{US}} - P_{\text{UT}}) \\ & P_{\text{WST}} = 1/3 P_{\text{pref}} - (-P_{\text{UR}} + P_{\text{US}} + P_{\text{UT}}) \\ & P_{\text{WTR}} = 1/3 P_{\text{pref}} - (P_{\text{UR}} - P_{\text{US}} + P_{\text{UT}}). \end{aligned}$$

10

$P_u(t)$  est la puissance du four à arc,  $P_w(t)$  est la puissance du four à induction et  $P_{\text{pref}}$  est la puissance totale. R, S et T sont les trois phases.

Pendant le premier stade (A à la figure 4) de fonctionnement de l'association de fours, à savoir le stade de fusion, la puissance envoyée au four, ou aux fours 10 de chauffage préalable est commandée de manière à ce que les crêtes de  $P_u(t)$  soient compensées et que  $P_{\text{pref}}$  devienne relativement constant. La puissance  $P_w(t)$  envoyée au four de chauffage préalable est représentée par la portion hachurée.

Quelque temps après, le traitement final commence, c'est-à-dire que la puissance de l'arc est réduite (stade B) et les crêtes deviennent plus petites. Mais le chauffage préalable de la ferraille de laquelle le four à arc doit être ultérieurement chargé continue (suivant  $P_w$ ). Pendant la coulée (stade de service C), la puissance du four à arc est ramenée à zéro, et seul le chauffage préalable ( $P_w$ ) est effectué.

Le four de chauffage de la ferraille peut se composer de trois fours (14, 15, 16 à la figure 5) d'induction verticaux monophasés, avec des condensateurs (17 à 19) en parallèle reliés au réseau 23 triphasé par l'intermédiaire de convertisseurs 20, 21, 22 distincts de tension alternative, par exemple du même type que ceux illustrés à la figure 3. Les fours 14 à 16 peuvent être aussi un ou plusieurs fours à induction triphasés.

Les fours peuvent être des fours 14 à 16 coniques à induction à creuset suivant la figure 6, à fond 25 ouvrable placés suivant une rangée au-dessus d'un chariot 25 portant des récipients 27 à ferraille. Les fours 14 à 16 sont chargés de ferraille à la manière classique. Quand les fours à arc

doivent être chargés de ferraille, le fond 25 est ouvert et la ferraille chauffée au préalable tombe dans le récipient 27 à ferraille se trouvant en-dessous du four 15, afin d'être avancée vers les fours à arc.

5 Les fours 14 à 16 de chauffage préalable de la ferraille sont coniques et ont un fond qui est plus large que la partie supérieure afin d'empêcher toute retenue de la ferraille. Comme la puissance est développée à la périphérie, l'énergie doit être transportée vers le centre. Ceci est illustré à la  
10 figure 2. Le four est garni de briques dures perforées dans lesquelles sont ménagés des canaux 30 pour de l'air. De l'air est ainsi aspiré de la périphérie vers le centre et est enlevé du four par une cheminée 31. Le repère 32 de référence désigne des noyaux feuilletés, tandis que le repère 28 est la bobine  
15 du four.

Après nettoyage, l'air chauffé peut être utilisé soit pour un chauffage local, soit comme air de combustion, par exemple pour le préchauffage d'une poche.

Les figures 7a et 7b illustrent une association suivant  
20 la variante de l'invention mentionnée en dernier, comprenant plusieurs modules alimentés par un transformateur 41 commun à partir d'un réseau L multiphasé. En variante, on peut utiliser un transformateur pour chaque module. Au secondaire du transformateur 41 est relié un convertisseur 43 commun de tension alternative mais, en variante, on peut utiliser de tels convertisseurs 10 pour les divers fours à induction. Trois fours 44, 45, 46 à induction incorporés dans les divers modules à induction sont reliés au convertisseur 43 de tension alternative et, en parallèle à ce convertisseur 43 et aux fours 44 à 46, sont  
25 montés un ou plusieurs filtres 47 fixes pour des harmoniques, ces filtres étant accordés à des fréquences différentes afin de réduire les harmoniques.

La figure 7b illustre une alimentation distincte des divers modules de fours à induction par un réseau 48 multiphasé. La figure représente aussi les transformateurs 49 et 50  
35 distincts, chacun d'entre eux alimentant respectivement un convertisseur 51 et 52 de tension alternative avec ses fours 53 et 54 à induction et ses filtres 55 et 56 pour les harmoniques montés en parallèle au convertisseur et aux fours.

Pour réduire la puissance nominale du transformateur 41, on peut aussi subdiviser le montage fixe de correction du facteur de correction en deux moitiés égales, l'une reliée au primaire 57 du transformateur et l'autre au secondaire 58 du transformateur 41 (cf. figure 8).

Suivant les figures 9a et 9b, les fours de chauffage de la ferraille peuvent se composer soit de trois fours (cf. figure 9a), 59, 60 et 61, à induction verticale monophasés, qui sont munis chacun d'un fond ouvrable et qui sont connectés chacun à un convertisseur RS, ST, TR, monophasé de tension alternative, ou à des convertisseurs 62, 63, 64 de tension alternative par l'intermédiaire de barres bus RS, ST, TR (+ et -). Il est aussi possible de relier un ou plusieurs fours à induction triphasés ayant un fond ouvrable au réseau, par exemple suivant la figure 9b. Le four à induction est repéré par la référence 65 et les divers convertisseurs de tension alternative par les références 66, 67 et 68. Puisque le compensateur doit être réglé phase par phase en vue de rendre symétriques les puissances actives, provenant des fours à arc, c'est un avantage que d'avoir un ou plusieurs fours triphasés.

Pour réduire l'effet de l'induction mutuelle entre les diverses bobines, on peut agencer les fours en trois sections différentes (cf. figure 10) qui sont entourées par des noyaux de fer et qui sont empilées les unes sur les autres. Ces sections portent les références 69, 70 et 71. Le four est muni d'un garnissage 74 réfractaire et d'un fond 72 ouvrable. Le bas de la figure 10 est une vue en coupe suivant la ligne A-A de la partie supérieure de la figure 10, les noyaux de fer portant la référence 73.

Pour diminuer encore l'induction mutuelle entre les bobines dans le cas de deux ou de plusieurs fours triphasés, on peut les relier, en variante, à des phases différentes, comme illustré à la figure 11. Les fours portent les références 74, 75 et 76.

De la même manière que pour le dispositif suivant la variante décrite ci-dessus, les fours sont munis d'un fond 77 ouvrable et d'un conduit 78 de sortie pour les gaz de carreaux. Les fours sont placés, fonds ouvrables disposés suivant une rangée, au-dessus d'une voie pour un chariot de récipient 79 pour la



ferraille. Les fours sont chargés de ferraille à la manière classique. Quand les fours à arc doivent être chargés de ferraille, on ouvre le fond et la ferraille, chauffée au préalable, tombe dans le récipient se trouvant en-dessous du four, et qui est  
 5 destiné à être avancé vers les fours à arc suivant la figure 12.

Comme la puissance se développe à la périphérie, il faut transporter l'énergie vers le centre. Ceci est fait de la manière suivante.

10 Le four est muni de tubes 80 dits de guidage (cf. figure 13), qui sont rectangulaires et qui ne sont pas magnétiques et qui, en ayant une faible extension radiale, se trouvent entre la bobine et la ferraille. La bobine porte la référence 82 et le noyau de fer la référence 83. Des briques 84 réfrac-  
 15 taires sont disposées entre les tubes 80 de guidage. Ceux-ci sont munis de trous dirigés vers le centre de la bobine (cf. la partie supérieure de la figure 13), par lesquels de l'air est insufflé (cf. les flèches 85). L'air insufflé par le tube 80 de guidage transporte ainsi une partie de l'énergie de la  
 20 périphérie vers le centre. Comme on le voit, le four est garni d'une manière céramique dure, telle que de la brique 83 réfractaire, entre les tubes 80 de guidage.

Au-dessus du four, est placé un couvercle à charnière muni d'un conduit 78 d'échappement des gaz de carneaux (cf.  
 25 figure 12), l'énergie des gaz d'échappement peut être utilisée pour chauffer des équipements ou autres, comme illustré à la figure 13. La charge de ferraille porte la référence 86.

Suivant la figure 14, le compensateur de puissance réactive compensateur VAR est commandé dans les conditions de  
 30 commande suivantes :

$\Sigma Q$  = Puissance réactive dans les fours 87 à arc.

$\Sigma Q_F$  = Puissance réactive dans le dispositif 89 de compensation fixée.

$Q_N$  = Puissance réactive allant au réseau.

35  $Q_V$  = Puissance réactive dans les fours 88 à induction.

On obtient les conditions suivantes :

$$\Sigma Q + Q_V - \Sigma Q_F - Q_N = 0 ;$$

$$Q_V = \Sigma Q_F - \Sigma Q + Q_N.$$

Pour équilibrer la puissance active dans les fours à arc, on peut régler les fours à induction phase par phase suivant les conditions :

$$\begin{aligned} 5 \quad QV_{RS} &= - (QR + QT - QS) \\ QV_{ST} &= - (QR + QS + QT) \\ QV_{TR} &= - (QR - QS + QT) \end{aligned}$$

10 dans lesquelles QR, QS et QT sont les puissances réactives pour les phases R, S et T.

Suivant la composition de la ferraille et l'augmentation de la température, l'impédance dans les fours se modifie d'une charge à l'autre et pendant chaque charge. Les convertis-  
15 seurs de tension alternative sont commandés d'une manière convenable par des variations du rapport de transformation du transformateur ou par tout autre type de commande de l'angle de phase. Comme l'impédance des fours est relativement constante, la puissance active des fours à induction varie propor-  
20 tionnellement à la puissance réactive.

REVENDICATIONS

1. Association de fours comprenant au moins un four à arc à courant alternatif ou à courant continu, tel que trois fours (2, 3) à arc monophasés, ou un ou plusieurs fours (2, 3) à arc biphasés ou triphasés reliés à un réseau (1) de courant alternatif, caractérisée en ce qu'au moins un four (10) à induction est relié au même réseau en vue de chauffer au préalable la ferraille de laquelle le four à arc doit être chargé plus tard, cette dernière liaison étant obtenue par l'intermédiaire d'au moins un convertisseur (12, 13) de tension alternative pouvant être commandé.

2. Association de fours suivant la revendication 1, caractérisée en ce que chaque four (10, 14 à 16) à induction, qui est avantageusement sans noyau, est relié au réseau par l'intermédiaire d'un convertisseur de tension alternative.

3. Association de fours suivant la revendication 1 ou 2, caractérisée en ce que chaque convertisseur (12, 13, 20 à 22) de tension alternative comprend au moins deux thyristors (12) montés en opposition et au moins une bobine (13).

4. Association de fours suivant l'une des revendications 1 à 3, caractérisée en ce que la puissance des fours à induction est commandée de manière à ce que la puissance active totale provenant de l'association de fours soit maintenue constante dans la plus grande mesure possible, suivant des valeurs de référence souhaitées.

5. Association de fours suivant l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce qu'un compensateur (6) de puissance réactive est relié aussi au réseau, en vue de compenser les fluctuations de la puissance réactive.

6. Association de fours suivant l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que chaque four (14 à 16) à induction de chauffage préalable est placé, ou peut être placé, au-dessus d'un récipient (27) à ferraille destiné à être avancé vers le four (2, 3) à arc, ou vers les fours (2, 3) à arc.

7. Association de fours suivant la revendication 6, caractérisée en ce que les fours à induction de chauffage préalable sont munis d'un fond (25) ouvrable et, le cas échéant, d'un tube (31) d'évacuation des gaz.

8. Association de fours suivant la revendication 7, caractérisée en ce que le garnissage du four est muni de briques (29) perforées par lesquelles de l'air est insufflé pour transporter l'énergie de la périphérie vers le centre du four.

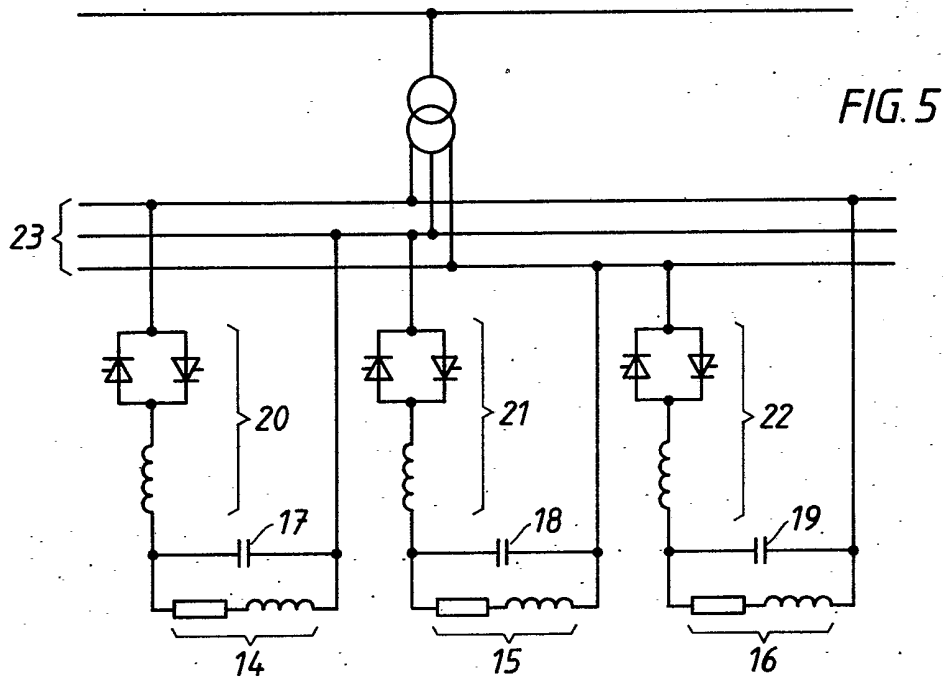
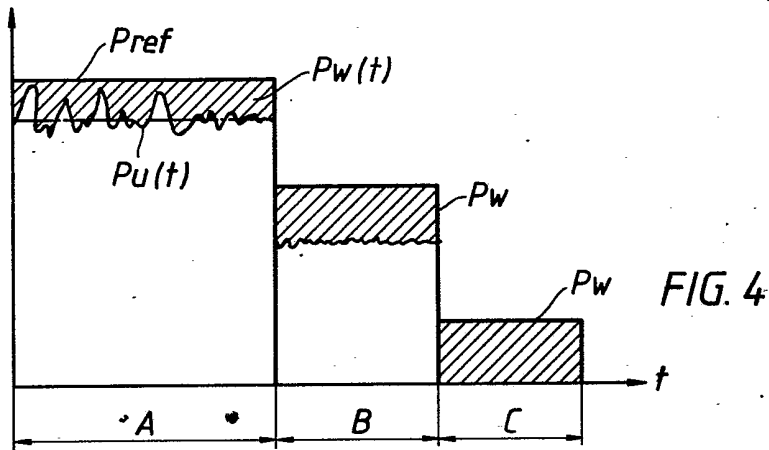
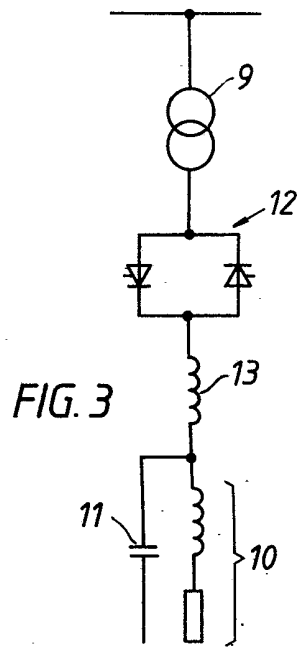
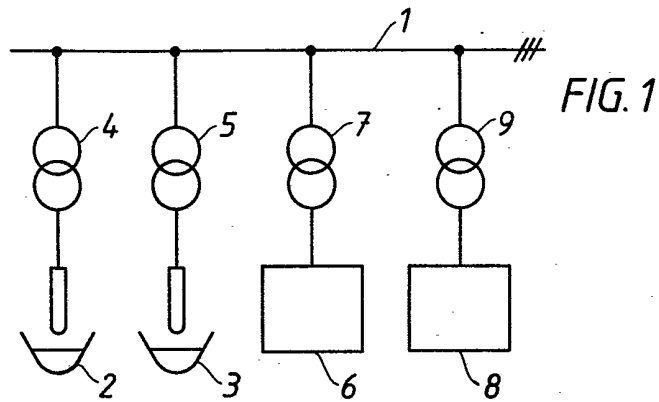
5           9. Association de fours suivant la revendication 1, comprenant des dispositifs destinés à compenser les fluctuations de la puissance réactive provoquées par le four à arc, ou par les fours à arc, caractérisée en ce que ces dispositifs sont constitués au moins partiellement soit de trois fours  
10       (59, 60, 61) à induction monophasés reliés à chaque phase, soit dans le cas d'un réseau triphasé, d'un ou de plusieurs fours (65) à induction triphasés, la ferraille qui est destinée à alimenter ces fours à arc étant placée de manière à être chauffée au préalable dans les fours à induction.

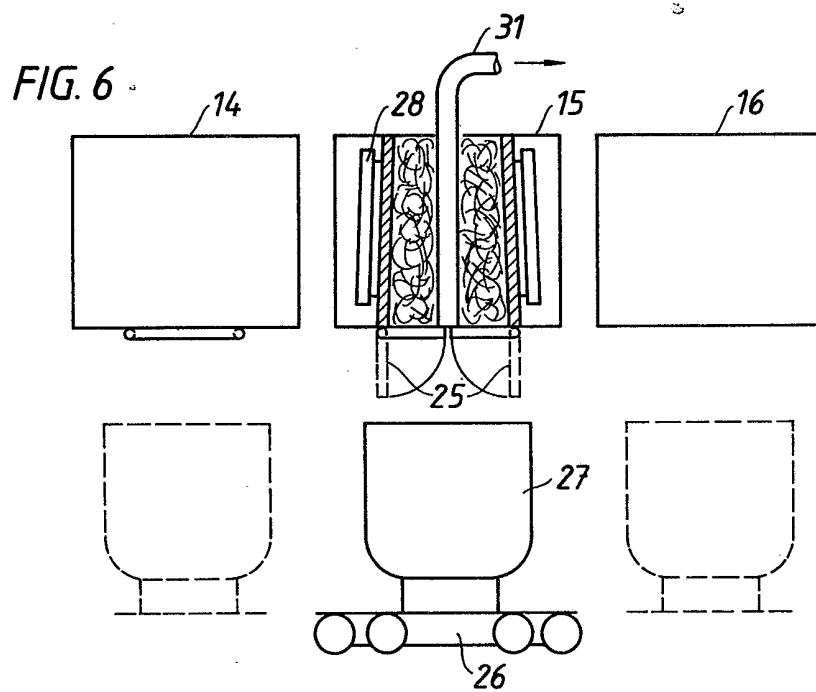
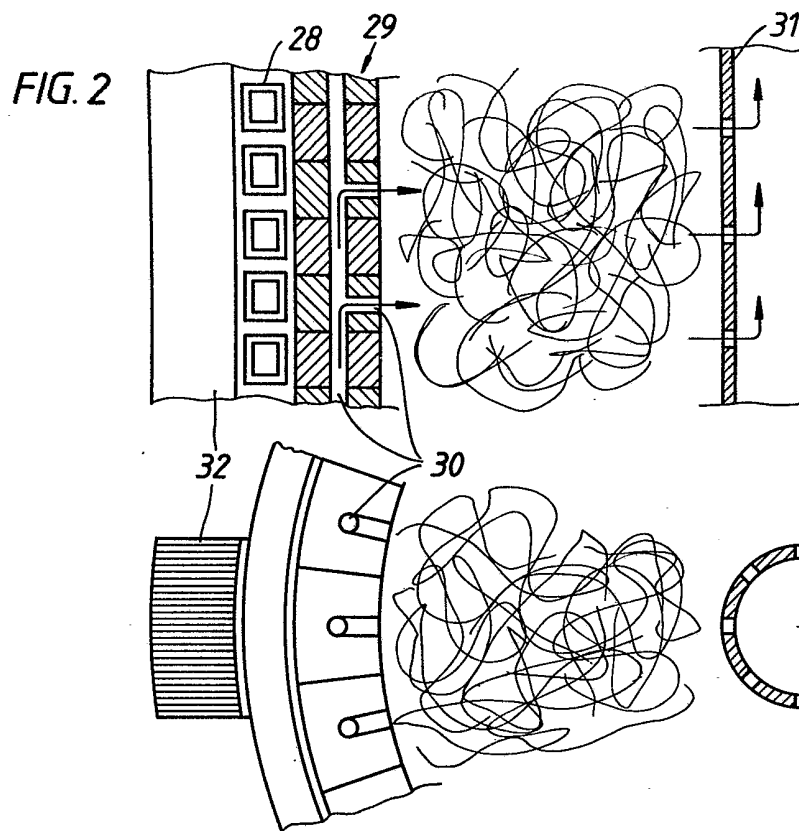
15           10. Association de fours suivant la revendication 9, caractérisée en ce que les fours à induction sont montés de manière à être chargés soit par un transformateur (41) commun et par un convertisseur de tension alternative commun ou distinct, soit par des transformateurs (49, 50) et par des convertisseurs (51, 52) de tension alternative distincts.  
20

          11. Association de fours suivant la revendication 10, caractérisée en ce que des filtres (55, 56) pour les harmoniques sont montés en parallèle avec le four à induction et avec le convertisseur de tension alternative, le cas échéant en  
25       parallèle avec plusieurs dispositifs de ce type, et le cas échéant en parallèle avec le transformateur.

          12. Association de fours suivant la revendication 9, caractérisée en ce que les fours à induction multiphasés sont constitués de plusieurs sections (69 à 71) différentes, par  
30       exemple une par phase, entourées par des noyaux (73) de fer et empilées les unes sur les autres.

          13. Association de fours suivant l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que les fours (74 à 76) à induction multiphasés sont montés de manière à ce que leurs  
35       connexions de phases puissent être modifiées entre les différentes phases ou puissent être différentes d'un four à l'autre.





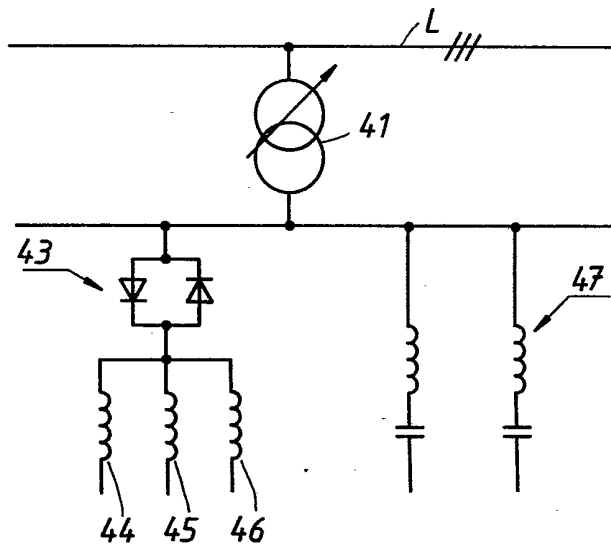


FIG. 7a

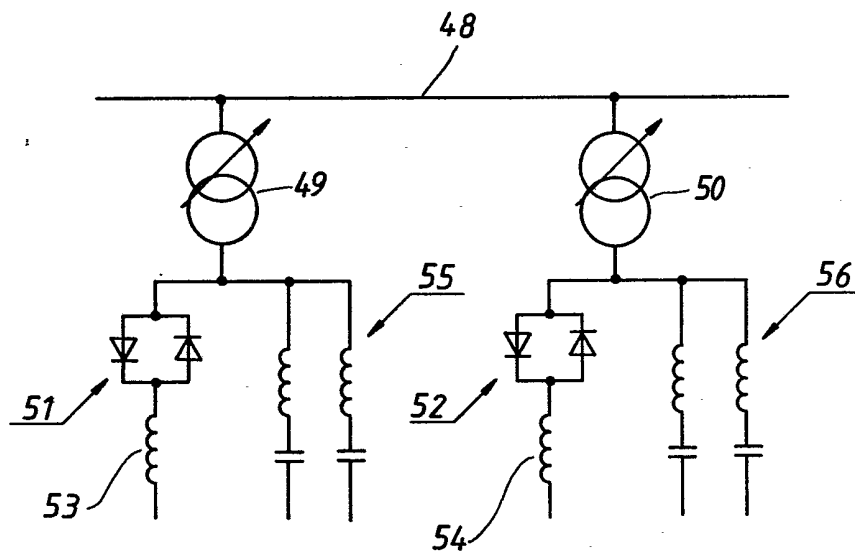


FIG. 7b

FIG. 8

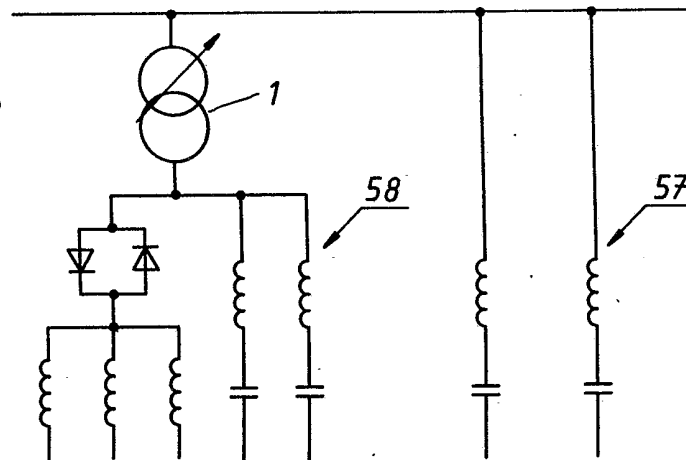


FIG. 9a

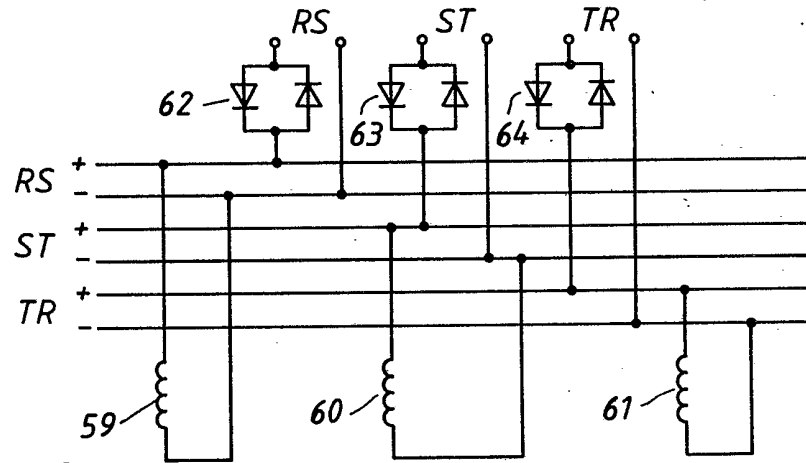
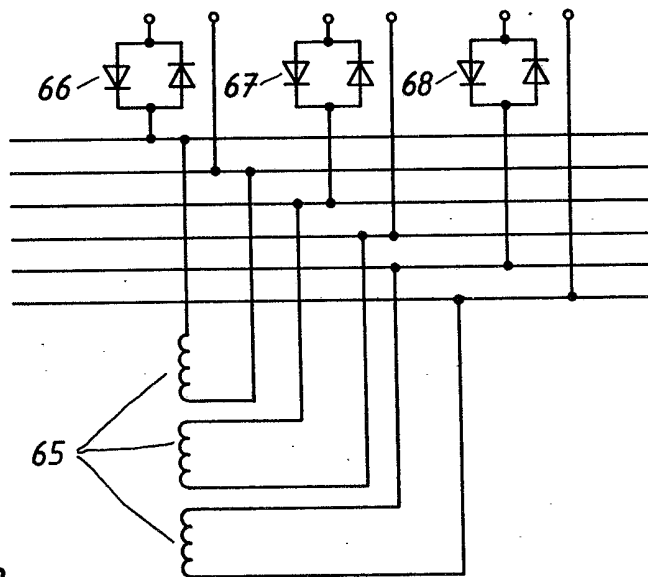


FIG. 9b





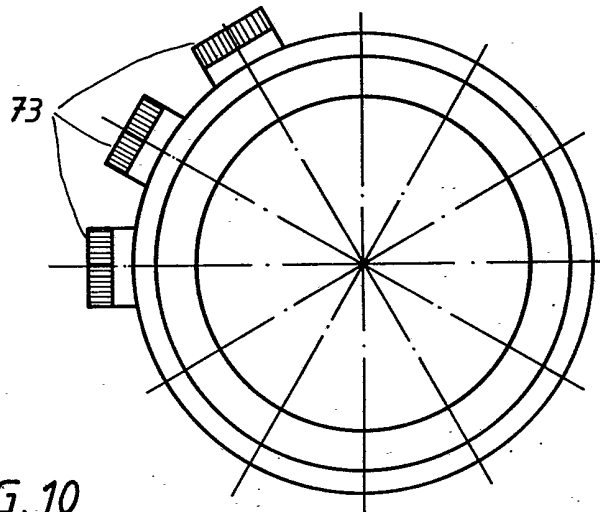
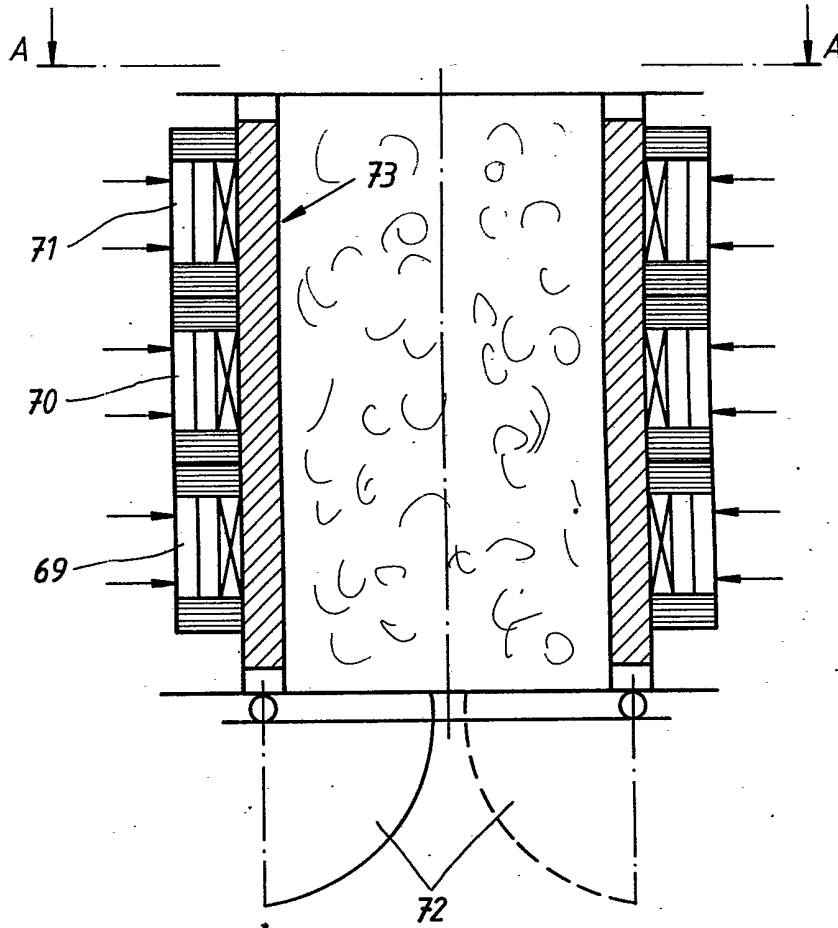


FIG. 10

FIG. 11

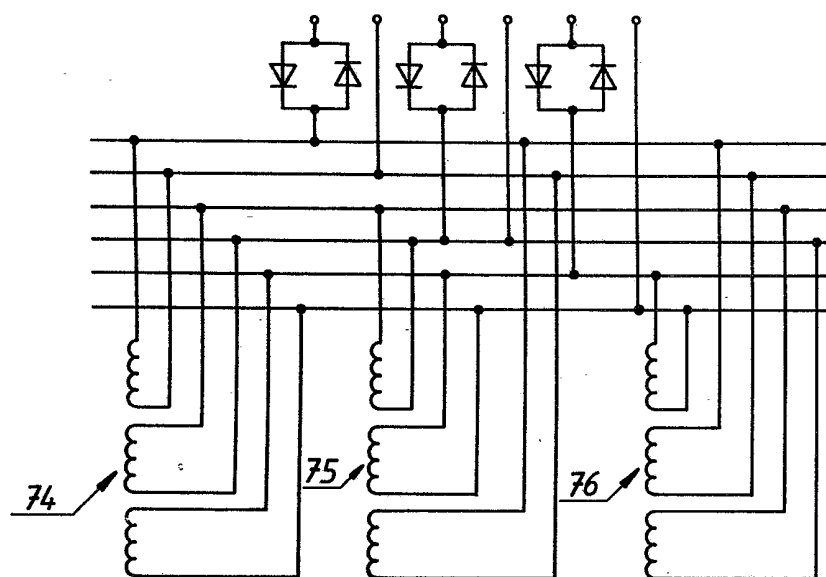
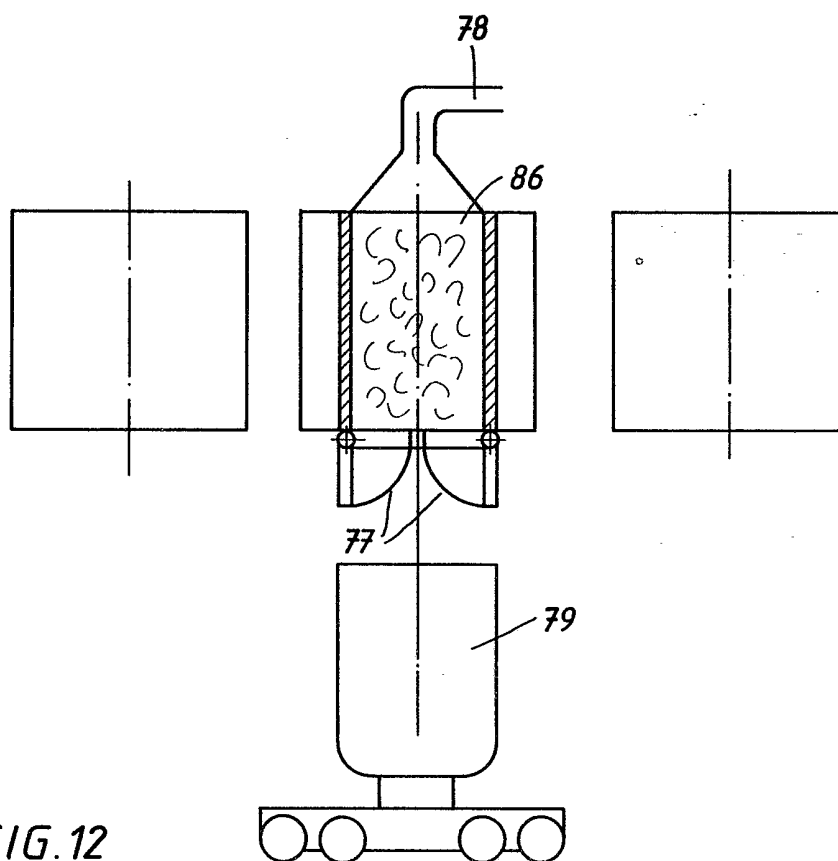


FIG. 12



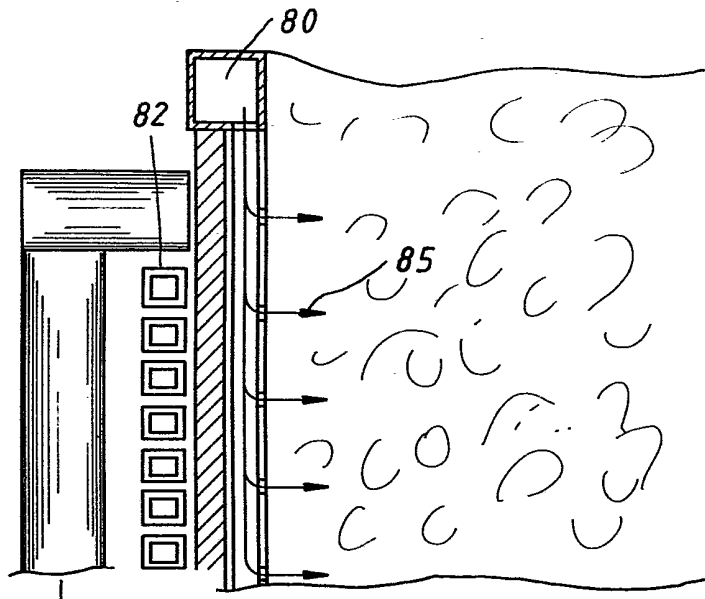


FIG. 13

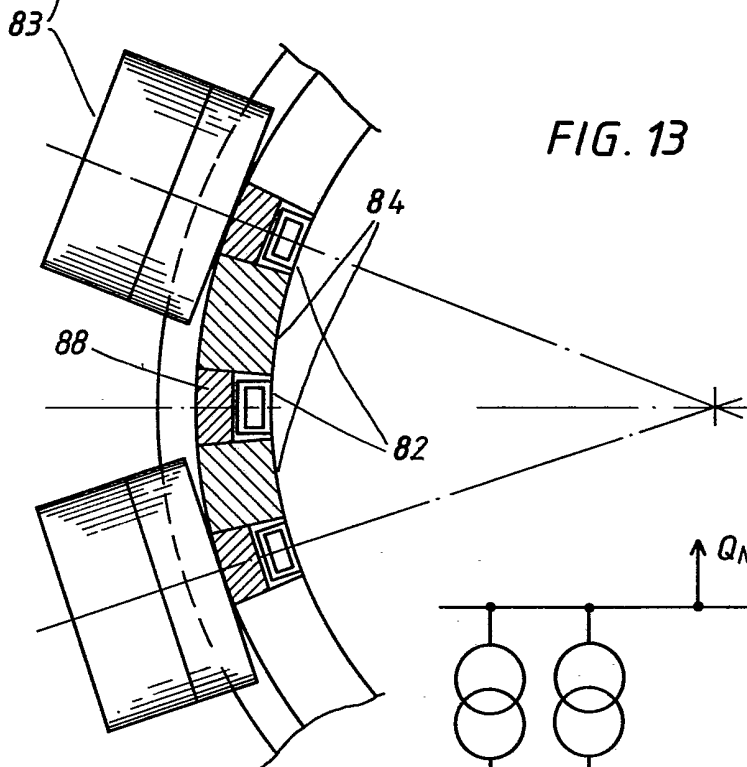


FIG. 14

