

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

⑫

N° 80 22770

⑤④ Procédé de réglage de la répartition d'intensité du champ électrique dans l'espace isolant d'un appareil à induction électrique de puissance haute tension et dispositif pour la mise en œuvre de ce procédé.

⑤① Classification internationale (Int. Cl.³). H 01 F 27/34.

②② Date de dépôt..... 24 octobre 1980.

③③ ③② ③① Priorité revendiquée :

④① Date de la mise à la disposition du
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 17 du 30-4-1982.

⑦① Déposant : DOLJUK Roman Petrovich, résidant en URSS.

⑦② Invention de : Roman Petrovich Doljuk.

⑦③ Titulaire : *Idem* ⑦①

⑦④ Mandataire : Cabinet Lavoix,
2, place d'Estienne-d'Orves, 75441 Paris Cedex 09.

La présente invention concerne l'électrotechnique et elle concerne plus particulièrement un procédé de réglage de la répartition d'intensité du champ électrique dans l'espace isolant d'un appareil à induction électrique de puissance haute tension et un dispositif pour la mise en oeuvre dudit procédé.

L'invention est applicable dans les transformateurs d'énergie haute tension et de grande puissance aussi bien que dans les inductances intercalées dans les lignes de transport électriques.

Les progrès enregistrés dans la technique des courants forts se caractérisent par une augmentation de la puissance de génératrices et aussi par une augmentation de la tension dans les lignes de transport. Le transformateur en tant que maillon reliant les génératrices aux lignes doit satisfaire à ces deux tendances c'est-à-dire qu'on doit augmenter à la fois et sa puissance et sa tension.

La consommation spécifique de matériaux (conducteurs de cuivre et acier pour emplois électrotechniques) est fonction, comme on le sait, des dimensions des espaces isolants à l'intérieur du transformateur. Ces espaces sont constitués par l'espace entre les enroulements à haute et à basse tensions, les espaces près de l'extrémité de l'enroulement, les espaces entre les bobines de l'enroulement à haute tension, les espaces entre l'enroulement extérieur et la cuve du transformateur et autres.

On sait que la réduction des espaces isolants apporte d'une manière naturelle et sans se répercuter sur la fiabilité une réduction de la consommation spécifique des matériaux et permet de réduire l'encombrement, le poids et les pertes d'énergie dans les transformateurs.

On connaît deux techniques principales pour diminuer les espaces isolants. L'une d'elles est basée sur la limitation d'amplitude des surtensions de foudre et de manoeuvre en dehors du transformateur et sur les bornes de celui-ci. Les

dispositifs-limiteurs d'amplitude des surtensions ont une capacité naturelle de limitation d'amplitude qui dépend du niveau de la tension de travail. Un tel dispositif ne doit pas entraver les fonctions de travail du transformateur, c'est-à-dire qu'il ne doit pas réagir à des hausses de tension de service.

La seconde conception est basée sur l'égalisation du champ électrique à l'intérieur du transformateur, c'est-à-dire qu'elle suppose de mettre à profit la réserve dont disposent les espaces isolants mêmes grâce à une répartition plus régulière de l'intensité du champ électrique dans les différentes zones de l'espace. Cette conception suppose également l'emploi de matériaux isolants plus résistants au point de vue électrique. Les procédés et les dispositifs d'égalisation du champ électrique et de consolidation des espaces isolants sont efficaces aussi bien dans le cas de surtensions que dans le cas des tensions de service. Au fur et à mesure de la limitation des amplitudes les plus grandes des surtensions c'est le régime de travail qui devient de plus en plus déterminant quant au choix des dimensions des espaces isolants tandis que l'importance de l'égalisation du champ électrique ne cesse de croître.

C'est ainsi que dans l'espace isolant entre enroulements l'irrégularité de ce champ est due à la présence d'angles de bobines ainsi qu'à l'effet de la tension induite dans deux ou trois bobines et se produisant entre les spires d'extrémité des bobines. D'autre part, la couche d'isolation adjacente à la surface de l'enroulement de bobine présente l'intensité électrique la plus petite par rapport aux couches suivantes éloignées. Ceci s'explique par la présence, dans cette couche, des faces de joints isolants séparant les bobines et formant des espaces isolants entre bobines dans l'enroulement. C'est pourquoi la couche d'isolation adjacente à l'enroulement qui a la plus haute intensité effective a la plus petite rigidité diélectrique.

On connaît un procédé d'égalisation des champs électriques dans l'espace isolant près de l'extrémité de l'enroulement et la structure d'un tel espace isolant dans un transformateur fabriqué selon ce procédé (cf. brevet de RFA
5 N° 1488234).

Ce procédé consiste à confectionner à l'avance des électrodes annulaires ouvertes à la dimension radiale correspondant à celle de l'enroulement et à placer ces électrodes dans ledit espace.

10 Pourtant ce procédé ne résout qu'en partie le problème de l'égalisation du champ électrique : le petit nombre d'électrodes placées dans ledit espace s'approprie les potentiels électriques appartenant pratiquement aux mêmes surfaces équipotentielles qui existaient dans ledit espace avant l'intro-
15 duction des électrodes.

On connaît également un procédé et un dispositif d'égalisation de champ électrique (cf. brevet de Grande-Bretagne N° 850645) destinés à égaliser le champ électrique dans l'espace isolant entre les enroulements de bobines à haute et à
20 basse tensions. Ce même brevet décrit la structure de l'espace isolant réalisé selon ledit procédé.

Le procédé en question suppose : la réalisation d'électrodes cylindriques ; leur mise en place en une couche concentrique à la surface d'enroulement de façon que la couche
25 isolante à la plus petite rigidité diélectrique soit comprise entre la couche d'électrodes et la surface d'enroulement ; le raccordement à l'aide d'une barrette de chacune des électrodes avec la jonction entre bobines opposées.

Cependant le procédé donné et la structure de l'espace
30 isolant dans le transformateur fabriqué selon ce procédé n'ont pas trouvé d'application dans la construction des transformateurs étant donné qu'on n'a pas résolu le problème de l'égalisation de champ électrique dans l'espace entre enroulements aussi bien qu'à cause de difficultés technologiques de réali-
35 sation. Ces inconvénients s'expliquent par ce qui suit : c'est

la tension de deux ou trois bobines qui se manifeste entre les électrodes voisines étant donné que celles-ci sont raccordées aux jonctions entre bobines ; une intensité élevée apparaît aux angles d'électrodes.

5 Quant aux difficultés technologiques, elles ont leur origine dans les opérations de fabrication des électrodes (fabrication de la bague isolante, enroulement sur cette dernière du clinquant en laissant un jeu pour prévenir des courts-circuits, application de l'isolant sur le clinquant), dans la
10 fabrication et le soudage des barrettes, dans la mise en place des électrodes sous forme d'une couche.

Le transformateur réalisé selon le procédé qui vient d'être décrit ne permet pas d'augmenter la rigidité diélectrique de l'espace isolant entre enroulements en le remplis-
15 sant avec un matériau isolant solide étant donné qu'une intensité accrue de champ électrique se manifeste aux angles d'électrodes, surtout dans les endroits desdits jeux.

Le procédé et le dispositif pour sa réalisation, qui viennent d'être décrits se caractérisent par une contradiction
20 telle que pour faire diminuer la différence de tension entre les électrodes voisines, on doit augmenter leur nombre. Mais alors on voit croître en flèche la quantité des travaux de fabrication, de mise en place, de formage et de connexion des électrodes.

25 L'invention vise à mettre au point un procédé de réglage de répartition d'intensité du champ électrique dans l'espace isolant d'un appareil à induction électrique de puissance haute tension et un dispositif pour la mise en oeuvre de ce procédé qui permettent, grâce à un champ électrique à écran
30 induit par le flux magnétique du dispositif, d'assurer une répartition régulière d'intensité dans lesdits espaces et de réduire ainsi leurs dimensions.

Ce problème est résolu du fait que dans le procédé de réglage de répartition d'intensité de champ électrique dans
35 l'espace isolant d'un appareil à induction électrique de puis-

sance haute tension, consistant à mettre sous écran les enroulements de celui-ci et à créer, dans l'espace isolant, un champ électrique égalisé à l'aide d'électrodes auxquelles on donne des tensions électriques, selon l'invention, les tensions électriques sur lesdites électrodes sont engendrées en composant les tensions induites dans les électrodes par le flux magnétique dudit appareil.

Un tel procédé qui ne fait pas appel aux couplages capacitif et galvanique permet d'obtenir une répartition régulière d'intensités dans lesdits espaces, voire même de réduire les dimensions de ces espaces.

Ce problème est également résolu en ce que même un appareil à induction électrique de puissance haute tension, comprenant au moins un enroulement, dans l'espace isolant duquel sont installées des électrodes concentriques à l'enroulement et isolées de celui-ci, destinées à égaliser le champ électrique dans ledit espace, selon l'invention, lesdites électrodes sont réalisées en un conducteur continu et enroulées de façon à entourer au moins une partie de l'enroulement, le sens de bobinage coïncidant avec celui des enroulements.

Le flux magnétique de l'enroulement induit, dans la couche des spires, des tensions coïncidant avec celles de l'enroulement à écran et réparties régulièrement sur la couche, la tension entre les spires voisines étant égale à la valeur minimale possible : force électromotrice d'une spire.

La surface unie de la couche des spires ainsi que la régularité de répartition des tensions sur les spires assurent l'égalisation de la répartition de l'intensité du champ électrique dans l'espace isolant adjacent à la couche des spires. Ceci à son tour permet de réduire les dimensions de ces espaces grâce à quoi il devient possible de diminuer les encombrements d'appareils à induction électrique.

Il est souhaitable que la couche des spires soit disposée le long de la surface de l'enroulement orientée vers l'espace isolant, le nombre de spires étant égal à celui de la par-

tie de l'enroulement auquel cette couche sert d'écran.

Un tel mode de réalisation permet de réduire l'espace isolant entre les enroulements ce qui à son tour procure une diminution de l'encombrement et du poids du dispositif selon
5 l'invention. Ceci permet également de réduire le flux magnétique de dispersion, ce qui assure une diminution des pertes d'énergie électrique dans les enroulements.

Il est utile que ladite couche de spires soit formée d'un conducteur plat avec superposition réciproque des spires
10 mitoyennes et que le degré de superposition diminue au fur et à mesure de l'éloignement de la spire de la sortie linéaire de l'enroulement.

Ceci produit, entre les spires de cette couche, une capacité électrique accrue et donne une égalisation de la ré-
15 partition des surtensions le long de la couche et le long de l'enroulement à mettre sous écran ce qui permet de choisir les dimensions minimales des espaces isolants entre les bobines de l'enroulement ainsi que de simplifier la technique de fabrication.

Il est possible, d'autre part, que les électrodes soient
20 installées dans l'espace isolant près de l'extrémité de l'enroulement à haute tension et qu'elles représentent deux couches de spires disposées dans le plan de la bobine d'enroulement extrême, chacune des électrodes étant formée d'un conducteur en
25 ruban de largeur variable, la hauteur des spires diminuant au fur et à mesure de l'éloignement de l'enroulement, le nombre des spires dans chaque couche et le sens de bobinage correspondant à ceux dudit enroulement, les intervalles entre les spires de chacune des couches abritant des couches d'isolant
30 solide faisant saillie au-delà des spires et se recoupant mutuellement au-dessus de la face de l'enroulement.

Un tel agencement des couches de spires a pour effet que la face de l'enroulement se trouve placée dans la partie médiane de l'espace formé par les couches et l'élément opposé
35 mis à la terre tandis que le champ électrique près de la face

de l'enroulement devient pareil à celui de la partie médiane de l'enroulement. La suppression de l'effet d'extrémité permet de réduire la dimension de l'espace près de l'extrémité de l'enroulement.

5 Pour le cas où le dispositif comporte un enroulement à haute tension et un enroulement à basse tension tandis que l'espace isolant entre les enroulements est rempli d'un isolant solide et est pourvu, dans sa partie médiane, d'un canal de refroidissement à remplir d'un liquide de refroidissement,
10 il est avantageux que les électrodes soient constituées par deux couches identiques de spires, chacune desquelles étant située sur l'une des surfaces latérales dudit canal, une des spires d'une couche étant connectée à la spire opposée de la seconde couche, le rapport des nombres de spires dans la cou-
15 che et dans l'enroulement à haute tension étant égal au rapport de la largeur de l'espace isolant entre l'enroulement à basse tension et ledit canal avec la largeur de tout l'espace isolant entre les enroulements.

Un tel mode de réalisation de l'espace isolant permet
20 le refroidissement de l'isolant solide dans sa partie médiane où la température d'échauffement est la plus élevée. Les rapports choisis des spires et des dimensions des espaces assurent l'absence d'oscillations électromagnétiques des couches de spires en cas de surtensions ainsi que des surtensions mi-
25 nima sur l'isolation. Ce dernier aspect permet de réduire la grandeur de l'espace isolant entre les enroulements.

Pour le cas où les espaces isolants entre deux enroulements sont remplis d'un isolant solide imprégné d'huile, par exemple d'huile pour transformateurs, il est utile que cha-
30 que des électrodes soit réalisée sous forme d'une couche de spires située le long de la surface de l'enroulement correspondant entre l'enroulement et l'isolant solide et qu'une cuvette soit installée sous la face inférieure de l'isolant pour retenir l'huile dans l'isolant solide en cas de vidange de
35 courte durée.

Ceci permet de sauvegarder les caractéristiques électriques élevées de l'isolant solide en cas de vidange de l'huile du transformateur, lorsqu'on doit procéder à l'assemblage du transformateur, au resserrage des enroulements, au montage d'isolateurs et à la visite des enroulements et des connexions.

L'invention sera mieux comprise et d'autres buts, détails et avantages de celle-ci apparaîtront mieux à la lumière de la description explicative qui va suivre de différents modes de réalisation donnés uniquement à titre d'exemples non limitatifs avec référence aux dessins non limitatifs annexés dans lesquels :

- la Fig. 1 est un schéma de substitution expliquant le principe du procédé selon l'invention ;
- 15 - la Fig. 2 est un schéma d'un appareil à induction électrique de puissance haute tension selon l'invention ;
- la Fig. 3 montre un exemple de disposition de l'enroulement et d'une couche de spires, selon l'invention ;
- la Fig. 4 montre un autre exemple de disposition de l'enroulement et d'une couche de spires selon l'invention ;
- 20 - la Fig. 5 est un exemple de réalisation du dispositif selon l'invention qui assure l'égalisation de la répartition d'intensité de champ électrique près de l'extrémité de l'enroulement ;
- 25 - la Fig. 6 est un exemple de réalisation du dispositif selon l'invention dans lequel la couche de spires est réalisée avec un conducteur plat avec superposition réciproque des spires mitoyennes ;
- la Fig. 7 est un exemple de réalisation du dispositif selon l'invention dans lequel est prévu un canal de refroidissement dans la partie médiane de l'espace isolant ;
- 30 - la Fig. 8 est un schéma de substitution expliquant l'effet physique du dispositif selon l'invention ;
- la Fig. 9 montre un exemple de réalisation du dispositif selon l'invention pourvu d'une cuve placée sous la face
- 35

inférieure de l'isolant solide.

Le procédé proposé de réglage de répartition d'intensité de champ électrique dans l'espace isolant d'un appareil à induction électrique de puissance haute tension consiste à
 5 mettre sous écran ses enroulements et à créer dans ledit espace isolant un champ électrique égalisé à l'aide d'électrodes auxquelles on donne des tensions électriques. Conformément à l'invention on engendre les tensions électriques sur lesdites électrodes par composition des tensions induites dans les é-
 10 lectrodes par le flux magnétique dudit appareil.

Pour expliquer d'une façon plus détaillée le principe du procédé faisant l'objet de la présente demande on se référera à la Fig. 1 qui est un schéma de substitution propre à l'appareil à induction électrique de puissance haute tension
 15 (une self en l'occurrence). On voit sur ce schéma :

L_1 - inductance de l'enroulement de l'appareil à induction, par exemple de la self ;

L - inductance des électrodes enroulées sous forme d'une couche de spires de façon que le sens de leur bobinage
 20 coïncide avec celui de l'enroulement ayant l'inductance L_1 ;

M - inductance mutuelle entre l'enroulement à l'inductance L_1 et la couche des spires à l'inductance L ;

C - capacité équivalente entre l'enroulement à l'inductance L_1 et la couche des spires à l'inductance L ;

25 E - générateur d'impulsion unitaire de surtension.

Ce schéma montre que la plus grande surtension sur l'extrémité libre de la couche des spires à l'inductance L constitue :

$$U_c = (1 - M/L_1) (1 - \cos wt), \quad (1)$$

30 avec $w = \left[\frac{1}{L - \frac{M^2}{L_1}} C \right]^{1/2}$

où $(1 - M/L_1)$ a une petite valeur, par exemple 0,05. Du fait qu'elle est mise à part, la couche des spires a à son extré-
 35 mité libre une surtension

$$1.(1-\cos wt) \quad (2)$$

Les conditions proposées par le procédé donné font apparaître une composante supplémentaire de surtensions

$$-M/L_1(1-\cos wt) \quad (3)$$

5 qui est à soustraire de (2) et qui forme en résultat-(1).

L'appareil à induction étant au régime de service, une tension est induite dans le conducteur depuis le flux magnétique de la carcasse du circuit magnétique. Cette tension est pratiquement identique à celle de l'enroulement lui-même.

10 L'effet physique du procédé proposé est basé sur le fait que le champ magnétique commande au champ électrique. A la différence des procédés connus où l'on forme des surfaces équipotentielles le procédé suppose la constitution d'une surface à répartition voulue de tension.

15 C'est ainsi qu'en utilisant le champ magnétique induit dans le conducteur situé dans l'espace isolant de l'appareil à induction électrique de puissance haute tension on est arrivé à égaliser la répartition d'intensité du champ électrique dans cet espace,

20 Ceci signifie qu'étant passé des liaisons galvaniques et capacitives des électrodes avec l'enroulement à une liaison magnétique le présent procédé assure un nombre optimal d'électrodes et une différence minimale de tensions entre les électrodes voisines.

25 Ceci permet de remplacer la technologie compliquée de fabrication (confection et isolement de chaque électrode, leur mise en place dans l'espace isolant, le raccordement à l'enroulement, le formage de la couche, etc.) par une technique plus simple qui consiste notamment à enrouler une couche de
30 spires d'un fil entier.

Un autre objet de l'invention est un dispositif pour la mise en oeuvre de ce procédé. Ce dispositif comporte au moins un enroulement. Dans l'espace isolant de ce dispositif, sont disposées des électrodes concentriques à l'enroulement et
35 isolées de celui-ci. Selon l'invention, lesdites électrodes sont réalisées en fil entier et enroulées de façon à entourer

au moins une partie de l'enroulement, le sens de bobinage des électrodes coïncidant avec celui de l'enroulement.

On expliquera ci-après le principe du dispositif proposé en prenant par exemple le cas où ce dispositif est un transformateur modulaire tel qu'il est représenté par exemple à la Fig.2.

Des spires 1,2...80 et des spires 81, 82...90 constituent des enroulements 91, 92 d'un transformateur respectivement à haute et à basse tension (ci-dessous enroulements HT et BT).

Les électrodes sont enroulées sous forme de spires 1',2'...80' et 81'...90'. Les spires 1',2'...80' forment une couche 93 située le long de la surface de l'enroulement 91 tandis que les spires 81', 82'...90' forment une couche 94 le long de la surface de l'enroulement 92.

Lesdites surfaces des enroulements 91 et 92 sont tournées vers l'espace isolant 95. Le nombre des spires dans les couches 93 et 94 est choisi égal respectivement à celui des spires dans les enroulements 91 et 92. Grâce à la disposition décrite des couches 93 et 94 on est parvenu à pouvoir égaliser le champ électrique dans l'espace 95 de même qu'on a la possibilité de réaliser l'espace 95 en un isolant solide. Le refroidissement des enroulements s'effectue dans ce cas à l'aide de canaux à huile 96 et 97 constitués par les couches 93 et 94 et les enroulements 91 et 92 respectivement.

Lorsque la borne de phase A est attaquée par une impulsion de surtension (par exemple une impulsion d'orage) les spires extrêmes 80' de la couche 93 sont libres et, selon les lois connues, on constate, sur ces spires, des surtensions dont l'amplitude est deux fois supérieure à celle de l'impulsion en action. Or, le procédé proposé obéit à une loi nouvelle : grâce à la forte liaison magnétique de la couche 93 avec l'enroulement 91 doté d'un point neutre X mis à la terre les spires 80' n'oscillent pratiquement pas, tandis que la couche 93 a des oscillations synchrones à celles de l'enroule-

ment 91.

En régime de service, lorsque les tensions des spires sont induites par le flux magnétique principal dans la carcasse du circuit magnétique, la tension entre les spires op-
5 posées de l'enroulement 91 et de la couche 93 constitue pratiquement la tension de la bobine ce qui ne présente pas de danger au canal de refroidissement 96.

En cas de court-circuit dans la ligne de transport partant du transformateur à cause d'un flux magnétique de dispersion dans le canal 96 il se produit une différence de tensions
10 entre la spire extrême 80' de la couche 93 et la spire 69 de l'enroulement 91. Cette différence de tension n'agit qu'un temps bref (délai de réponse de la sécurité d'élimination du court-circuit), des fractions de seconde.

15 Pour augmenter la rigidité diélectrique de l'espace entre lesdites spires, la couche doit avoir l'aspect représenté à la Fig. 3 (espace 96 agrandi). Un autre procédé visant à assurer la fiabilité de fonctionnement de l'espace donné est illustré à la Fig. 4 où l'on a couplé à la spire 80' une ré-
20 sistance 98 hautement non linéaire et un condensateur 99 qui limitent la tension de la spire 80' en cas de court-circuit de faible durée. On peut constater également un affaiblissement du courant de court-circuit du fait que le processus de transition se déroule avec la participation de la résistance
25 98 ; l'amplitude du courant décroît favorablement.

On remarquera que le mode de réalisation du dispositif décrit ci-dessus concerne un transformateur modulaire, c'est-à-dire que les sorties a, x de ce transformateur sont raccor-
dées à une génératrice (non représentée). Dans ce cas l'impul-
30 sion d'orage n'agit que sur la borne de phase A.

En réalisant un transformateur modulaire, comme proposé dans la présente invention, on parvient à simplifier la technique de fabrication.

En particulier, on commence par bobiner la couche 94
35 sur laquelle on enroule des couches d'isolant solide qui cons-

tituent l'espace 95. La surface lisse de la couche 94 assure une bonne adhérence de l'isolant solide aux spires 81' à 90'. Sur la couche supérieure dudit isolant on ajoute la couche 93 formée des spires 1' à 80' qui elle aussi, assure une bonne
5 adhérence de l'isolant solide.

Le dispositif revendiqué peut être réalisé par exemple selon un mode où la couche des spires est formée d'un conducteur plat avec recouvrement mutuel des spires mitoyennes. Au fur et à mesure de l'éloignement de la spire de la borne de
10 phase le taux de recouvrement diminue.

Pour expliquer d'une manière plus détaillée ce mode de réalisation du dispositif, on se référera à la Fig. 6 qui montre l'enroulement 91 HT du transformateur constitué des spires 1,2...80. La couche 93 des spires 1'...80' est formée d'un
15 conducteur plat avec recouvrement réciproque des spires voisines 1'...80'. Au fur et à mesure que la spire 1'...80' s'éloigne de la borne de phase A on voit diminuer le taux de recouvrement, c'est-à-dire que c'est la hauteur des spires 1'...80' qui diminue. Dans ce cas on obtient :

- 20 1) une augmentation de capacité électrique entre spires ;
- 2) une égalisation de répartition de surtensions de foudre sur les espaces entre bobines le long de l'enroulement 91 ;
- 3) une diminution de l'espace entre bobines ;
- 25 4) un enroulement 91 continu ce qui simplifie sa technique de fabrication.

Pour obtenir une égalisation plus complète des surtensions on peut mettre en place une seconde couche 93' servant d'écran à la partie de l'enroulement 91 adjacente à la borne
30 A, et une couche 93' comportant les spires 1"...16".

Avec ce mode de réalisation du dispositif une capacité électrique accrue apparaît entre les spires de la couche. D'autre part, on assiste à une égalisation de répartition de surtensions le long de la couche et de l'enroulement à mettre
35 sous écran. Ceci à son tour permet de choisir les dimensions

minimales des espaces isolants entre les bobines de l'enroulement ainsi que de simplifier la technique de fabrication de l'enroulement (bobinage continu).

On remarquera que les spires peuvent être confectionnées en clinquant isolé avec du papier pour condensateurs électriques.

En vue de diminuer l'espace isolant près de l'extrémité de l'enroulement on a prévu un mode de réalisation du dispositif où les électrodes sont disposées dans l'espace isolant 95 (Fig.5) près de l'extrémité de l'enroulement à haute tension et elles sont constituées de deux couches 102, 103 de spires 1', 2'...80' situées dans le plan de la bobine d'extrémité de l'enroulement 91.

On remarquera que l'espace isolant 95 près de l'extrémité de l'enroulement 91 comprend les parties d'isolation situées entre la bobine d'extrémité de l'enroulement 91 et les éléments conducteurs voisins (dans ce cas, enroulement 92 BT, circuit magnétique 100 et cuve 101).

Le nombre des spires (80 dans ce cas) dans chaque couche et le sens de leur enroulement correspondent au nombre des spires et au sens de l'enroulement 91.

Chacune des spires 1', 2'...80' est formée d'un conducteur-ruban de largeur variable, la hauteur desdites spires diminuant au fur et à mesure de l'éloignement de l'enroulement 91. Les spires 1', 2'...80', situées du côté intérieur de l'enroulement 91, forment la couche 102, tandis que les spires situées du côté extérieur de l'enroulement 91 forment la couche 103. Entre les spires de chacune des couches 102, 103 sont disposées des couches isolantes 104, 105 respectivement. Les couches 104 et 105 sont situées de manière à se recouvrir mutuellement au-dessus d'une face 106 de l'enroulement 91.

Un tel mode de réalisation du dispositif présenté conduit à l'induction d'une tension répartie régulièrement le long des couches 104 et 105. Il en résulte que l'intensité près de l'extrémité de l'enroulement 91 à haute tension s'é-

galise et devient la même que dans le domaine de la partie médiane de l'enroulement 91 étant donné que la borne de phase A de l'enroulement 91 est située dans la partie médiane de l'espace isolant 95 constitué par les couches 104, 105 et le
5 circuit magnétique 100.

L'invention a également pour objet un dispositif à induction électrique pour le cas où il est doté d'un enroulement 91 (Fig.7) à haute tension et un enroulement 92 à basse tension, tandis que l'espace isolant 95 entre lesdits enroulements 91 et 92 est rempli d'un isolant solide et comporte un
10 canal de refroidissement dans sa partie médiane. Dans l'espace isolant 95 sont disposés les enroulements concentriques 91 et 92 et des électrodes qui en sont isolées. Selon l'invention, ces électrodes sont constituées de deux couches identiques
15 107 et 108 de spires dont chacune est située sur l'une des surfaces latérales dudit canal 109 rempli par exemple d'huile. Une des spires de la couche 107 est couplée à la spire opposée de la couche 108. Les rapports des nombres des spires de la couche 107 et de l'enroulement 91 à haute tension sont égaux
20 au rapport de la dimension de l'espace 95' entre l'enroulement 92 et le canal 109 avec la dimension de l'espace 95 entre les enroulements 91 et 92.

Cette disposition des couches de spires sur les surfaces latérales du canal assure :

- 25 1) une absence de tension entre les spires opposées des couches et par conséquent l'absence d'intensité radiale dans le canal de refroidissement habituellement rempli d'huile ;
2) la suppression de décharges partielles dans le canal de refroidissement.

30 De cette manière on obtient la possibilité de réduire l'espace isolant et d'augmenter la rigidité diélectrique de l'isolant solide.

Le dispositif proposé assure, d'autre part, l'équilibre électromagnétique des couches 107 et 108 (c'est-à-dire l'absence
35 de d'oscillations magnétiques propres des couches 107 et 108)

lorsque la surtension agit sur la borne de phase A de l'enroulement 91. Ceci à son tour assure des amplitudes minimales des surtensions dans les espaces isolants 95' et 95".

On expliquera ceci à l'aide du schéma de substitution
5 du transformateur de la Fig. 8 où l'on trouve :

L_1 - inductance de l'enroulement 91 HT ;

L - inductance de la couche 107 de spires ;

M - inductance réciproque entre l'enroulement 91 et
la couche 107 ;

10 C' - capacité de l'espace 95' ;

C'' - capacité de l'espace 95" ;

E - impulsion unitaire de surtension agissant sur la
borne de phase A de l'enroulement 91 HT.

La tension sur l'inductance L de la couche 107 est
15 égale à :

$$U_L = \frac{M}{L_1} - \left(\frac{M}{L_1} - \frac{C}{C' + C''} \right) \cos wt ; \quad (4)$$

$$\text{avec : } w = \frac{1}{(C' + C'')} \left(L - \frac{M^2}{L_1} \right)^{1/2}$$

20 Etant donné que le dispositif proposé assure, grâce à l'égalité des rapports de nombres de spires et des dimensions d'espaces, l'égalité des rapports suivants :

$$\frac{M}{L_1} = \frac{C}{C' + C''} \quad (5)$$

25 ceci conduit à l'absence d'oscillations cosinusoidales de la tension U_L .

Il s'ensuit donc que les dimensions des espaces 95' et 95" peuvent être diminuées.

On sait par exemple que pendant la fabrication de trans-
30 formateurs l'exécution de travaux complémentaires tels que le montage des bornes, le pressage des enroulements, etc...exige de retirer la partie active du transformateur de la chambre de séchage. Ceci fait que de l'huile fuit de la partie active, tandis que l'eau et l'air pénétrant dans l'isolant solide com-

promettent sensiblement les caractéristiques électriques du-dit isolant.

Pour pouvoir conserver les caractéristiques électriques de l'isolant solide lors d'une vidange de courte durée d'huile, il est proposé un mode de réalisation du dispositif à induction électrique pour le cas où les espaces isolants entre deux enroulements sont remplis d'isolant solide imprégné d'huile telle que par exemple l'huile pour transformateurs.

Un exemple de réalisation d'un tel dispositif est donné à la Fig. 9.

Ce dispositif comporte des électrodes destinées à égaliser le champ électrique et situées dans l'espace isolant entre l'enroulement 91 à haute tension et l'enroulement 92 à basse tension, ledit espace étant rempli de couches d'isolant solide. Les électrodes sont constituées par deux couches 93, 94 de spires disposées le long des surfaces des enroulements 91, 92 respectivement. Le nombre des spires dans les couches 93 et 94 est égal à celui des enroulements 91 et 92 respectivement.

Sous la face inférieure de l'isolant solide est disposée une cuvette 110 dont les parois latérales jouxtent des couches d'extrémité 111, 112 d'isolant solide en formant un volume fermé conservant l'huile dans le petit volume de l'espace isolant.

Suivant d'autres modes de réalisation du dispositif selon l'invention, pour assurer la circulation d'huile dans les conditions de service, la cuvette 110 peut comporter une soupape.

Les essais à la haute tension, qui ont été effectués sur une phase d'un transformateur à deux enroulements, ont montré que l'espace isolant entre enroulements dans le dispositif selon l'invention avec l'intervalle entre enroulements réduit de 1,5 fois supporte parfaitement les tensions d'essai dosées.

RE V E N D I C A T I O N S

1 - Procédé de réglage de répartition d'intensité de champ électrique dans l'espace isolant d'un appareil à induction électrique de puissance haute tension, consistant à mettre sous écran les enroulements de celui-ci et à créer, dans l'espace isolant, un champ électrique égalisé à l'aide d'électrodes auxquelles on donne des tensions électriques, caractérisé en ce que les tensions électriques sur lesdites électrodes sont créées en composant les tensions induites dans les électrodes par le flux magnétique dudit appareil.

2 - Appareil à induction électrique de puissance haute tension pour la mise en oeuvre du procédé selon la revendication 1, comportant au moins un enroulement dans l'espace isolant duquel sont disposées des électrodes concentriques à l'enroulement et isolées de celui-ci, destinées à égaliser le champ électrique dans ledit espace, caractérisé en ce que lesdites électrodes sont constituées, chacune, par une couche de spires d'un conducteur continu enroulées de façon à entourer au moins une partie de l'enroulement, le sens de bobinage des spires coïncidant avec celui de l'enroulement.

3 - Appareil selon la revendication 2, caractérisé en ce que la couche de spires est située le long de la surface de l'enroulement orientée vers l'espace isolant, le nombre de spires dans cette couche étant égal à celui de la partie de l'enroulement à mettre sous écran.

4 - Appareil selon la revendication 3, caractérisé en ce que la couche de spires est formée d'un conducteur plat avec recouvrement réciproque des spires mitoyennes l'une par rapport à l'autre, le taux de recouvrement diminuant au fur et à mesure que les spires s'éloignent de la borne de phase de l'enroulement.

5 - Appareil selon la revendication 2, dans lequel il est nécessaire de régler la répartition d'intensité de champ électrique dans l'espace isolant près de l'extrémité de l'enroulement à haute tension, caractérisé en ce qu'au moins deux couches de spires sont situées dans le plan de la bobine d'ex-

trémité de l'enroulement, chacune d'elles étant formée d'un conducteur-ruban de largeur variable, la hauteur des spires 1' - 80' diminuant à mesure qu'elles s'éloignent dudit enroulement 91, les intervalles entre les spires de chacune des couches 102, 103 abritant des couches d'isolant solide 104, 105 faisant saillie au-delà des spires et se recouvrant mutuellement au-dessus de la face 106 de l'enroulement 91.

6 - Appareil selon la revendication 2, dans lequel il est nécessaire de régler la répartition de l'intensité dans l'espace isolant entre enroulements, rempli d'un isolant solide et pourvu, dans sa partie médiane, d'un canal de refroidissement 100 à remplir d'un liquide de refroidissement, caractérisé en ce que les couches de spires 107, 108 sont situées sur les parois latérales dudit canal 109 de refroidissement, une des spires d'une couche 107 étant connectée à la spire opposée de la seconde couche 108, le rapport des nombres de spires contenues dans la couche 107 et dans l'enroulement 91 à haute tension étant égal au rapport de la largeur de l'espace isolant 95' entre l'enroulement 92 à basse tension et ledit canal 100 avec la largeur de l'espace isolant 95 entre les enroulements 91, 92.

7 - Appareil selon la revendication 2, dans lequel il est nécessaire de régler la répartition de l'intensité dans l'espace isolant entre enroulements, espace rempli de couches d'isolant solide imprégné d'huile par exemple d'huile pour transformateurs, caractérisé en ce que chaque couche de spires 93, 94 est située le long de la surface de l'enroulement correspondant 91, 92, tandis que sous la face inférieure de l'isolant solide est placée une cuvette 110 dont la surface latérale jouxte les couches d'extrémité d'isolation 111, 112, cette cuvette 110 servant à retenir l'huile dans l'isolant solide en cas de vidange de courte durée.

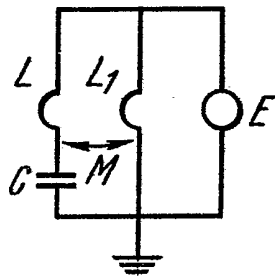


FIG. 1

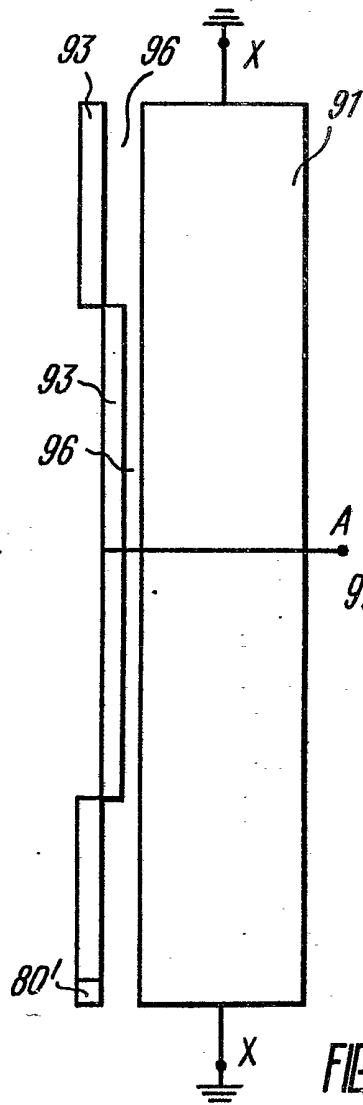


FIG. 3

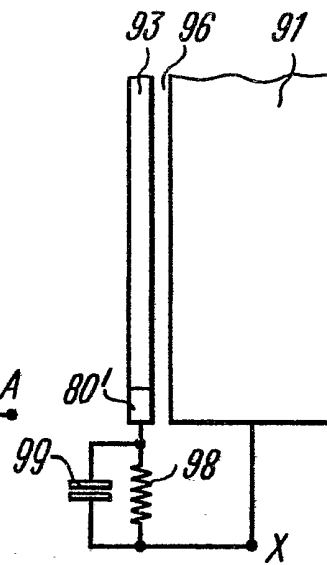


FIG. 4

