



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) **EP 1 128 395 A1**

(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
29.08.2001 Bulletin 2001/35

(51) Int Cl.7: **H01B 3/44**

(21) Numéro de dépôt: **01400363.6**

(22) Date de dépôt: **12.02.2001**

(84) Etats contractants désignés:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE TR**
Etats d'extension désignés:
AL LT LV MK RO SI

(30) Priorité: **24.02.2000 FR 0002324**

(71) Demandeur: **Nexans
75008 Paris (FR)**

(72) Inventeurs:
• **Gadessaud, Robert
91120 Palaiseau (FR)**
• **Aladenize, Bernard
91360 Epinay sur Orge (FR)**

- **Tran, Patrice
93300 Aubervilliers (FR)**
- **Janah, Hakim
62137 Coulogne (FR)**
- **Mirebeau, Pierre
91140 Villebon S/Yvette (FR)**
- **Acroute, Daniel
62100 Calais (FR)**

(74) Mandataire: **Buffière, Michelle
COMPAGNIE FINANCIERE ALCATEL
Dépt. Propriété Industrielle,
30, avenue Kléber
75116 Paris (FR)**

(54) **Câble d'énergie haute et très haute tension à courant continu**

(57) Le câble haute ou très haute tension à courant continu comporte une isolation polymérique extrudée réalisée en un matériau styrénique.
Il est caractérisé en ce que ledit matériau de ladite iso-

lation est constitué d'un mélange comprenant du polyéthylène, un copolymère séquencé hydrogéné de styrène et un anti-oxydant, a un taux massique de styrène de 11 à 18% et est non réticulé.

Application : Câbles d'énergie à courant continu.

EP 1 128 395 A1

Description

[0001] La présente invention se rapporte aux câbles d'énergie haute et très haute tension à courant continu.

[0002] Les câbles visés par la présente invention sont des câbles de 60 à 600 kV et plus, de préférence ceux de 150 kV et plus, à courant continu, comportant une isolation polymérique extrudée.

[0003] Le document JP-A-2-18811 divulgue un câble d'énergie à courant continu, qui comporte une âme conductrice et une isolation polymérique extrudée entourant l'âme. Cette isolation est constituée d'un mélange du polyéthylène haute densité, de polyéthylène basse densité, de peroxyde et de préférence de noir de carbone sous forme de fines particules, avec de 2 à 20 % en poids de polyéthylène haute densité et de 0,2 à 1,5 % en poids de noir de carbone, et est réticulée. Elle est destinée à améliorer les caractéristiques de claquage en tension continue et en tension de choc notamment du câble, par rapport aux mêmes caractéristiques d'un câble analogue mais dont l'isolation comporte un seul type de polyéthylène.

[0004] La faible quantité de noir de carbone incorporé dans l'isolation de ce câble connu minimise les risques de claquage dûs à des défauts dans l'isolation. Elle donne lieu à des pertes diélectriques dans l'isolation du câble à courant continu, qui sont de peu d'importance en l'absence de défauts et sous faible champ électrique, mais deviennent par contre excessives et inadmissibles lors de défauts et sous fort champ électrique.

[0005] Le document EP-A-0 539 905 divulgue un câble haute tension à courant continu dans lequel le matériau de l'isolation est constitué d'un caoutchouc thermoplastique comprenant une phase élastomérique et une phase thermoplastique. Dans une première réalisation de ce câble, le caoutchouc thermoplastique peut être de type oléfinique. Dans ce cas, la phase élastomérique est constituée d'un caoutchouc d'éthylène-propylène et la phase thermoplastique est choisie parmi le polyéthylène et le polypropylène. Dans une deuxième réalisation, le caoutchouc thermoplastique peut être de type styrénique. Dans ce cas, la phase élastomérique peut être hydrogénée et choisie parmi le polybutadiène et le polyisoprène et la phase thermoplastique constituée de polystyrène. L'isolation de ce câble connu permet de réduire le phénomène d'accumulation de charges d'espace en présence de la haute tension continue.

[0006] La présente invention a pour but de réaliser un câble haute et très haute tension à courant continu évitant les pertes diélectriques dans l'isolation et présentant à la fois des caractéristiques de tenue au claquage en tension continue et de tenue au claquage en tension impulsionnelle de choc optimisées, pour une tension utile de fonctionnement élevée, et une quantité de charges d'espace minimisée en présence de la haute tension continue, pour une très bonne fiabilité du câble.

[0007] Elle a pour objet un câble haute ou très haute tension à courant continu, comportant une âme conductrice et une isolation polymérique extrudée en matériau styrénique, caractérisé en ce que ledit matériau est constitué d'un mélange de polyéthylène et d'un copolymère séquencé hydrogéné de styrène choisi parmi les copolymères de styrène et butadiène et de styrène et isoprène, présente un taux massique de styrène de 11 à 18 % et est non réticulé.

[0008] Grâce à cette isolation, la tension utile de fonctionnement en régime permanent est particulièrement élevée et simultanément les risques de claquage sont rendus très faibles en augmentant ainsi la fiabilité du câble.

[0009] Avantagusement, le taux massique de styrène dans ledit mélange est choisi entre 11,5 et 16 %.

[0010] Selon une autre caractéristique additionnelle, ledit câble comporte un écran semi-conducteur interne entre ladite âme conductrice et ladite isolation et un écran semi-conducteur externe autour de ladite isolation, constitués en une matrice polymérique qui est choisie de même nature que ladite isolation, contient une charge conductrice et est non réticulée.

[0011] Les caractéristiques et avantages de la présente invention ressortiront de la description ci-après d'un exemple de réalisation d'un câble selon l'invention, qui est représenté à titre illustratif et non limitatif dans les dessins ci-annexés, et des propriétés du matériau d'isolation du câble.

[0012] Dans les dessins :

- la figure 1 est une vue en perspective éclatée d'un câble haute ou très haute tension à courant continu selon l'invention,
- la figure 2 illustre les caractéristiques de claquage en tension de choc de foudre et en tension continue, en fonction du système d'isolation du câble,
- les figures 3 et 4 illustrent sous forme de graphe le gradient de tension utile admissible en fonction dudit système d'isolation.
- La figure 5 illustre les quantités de charges d'espace dans un système d'isolation classique, pour différentes valeurs de gradient de potentiel appliqué dans ce système.
- Les figures 6 et 7 illustrent les quantités de charges d'espace dans des systèmes d'isolation conformes à l'invention, pour les mêmes valeurs de gradient de potentiel que dans la figure 5.

[0013] Le câble d'énergie 1 haute ou très haute tension et à courant continu illustré dans la figure 1 comprend une âme conductrice centrale 2 et, successivement et coaxialement autour de cette âme, un écran semi-conducteur interne

3, une isolation 4, un écran semi-conducteur externe 5, un écran métallique de protection 6 et une gaine extérieure de protection 7.

[0014] La présence des écrans 3, 5 et 6 est préférentielle. L'isolation 4 est réalisée selon l'invention. Avantageusement les écrans semi-conducteurs 3 et 5 sont également réalisés selon la présente invention.

[0015] La structure de protection, qui comporte l'écran métallique 6 et la gaine extérieure, peut également comporter d'autres éléments de protection tels que notamment une bande de protection, non représentée, gonflante en présence d'eau et semi-conductrice ou non. Une telle bande de protection est interposée de préférence entre l'écran semi-conducteur externe et l'écran métallique. Elle assure elle-même ou est associée à des moyens conducteurs assurant la continuité électrique entre l'écran semi-conducteur externe et l'écran métallique. La structure de protection de ce câble est en tant que telle de type connu et hors du cadre de la présente invention.

[0016] Selon la présente invention, l'isolation 4 du câble 1 est constituée d'un mélange comprenant du polyéthylène, un copolymère séquencé hydrogéné de styrène et un anti-oxydant, ayant un taux massique de styrène compris entre 11 et 18 % et étant non réticulé.

[0017] Le polyéthylène utilisé est choisi parmi les polyéthylènes basse et/ou moyenne et/ou haute densité. Le copolymère séquencé hydrogéné est choisi parmi les copolymères de styrène et butadiène et de styrène et isoprène. Il est de préférence un copolymère tri-séquencé hydrogéné.

[0018] Ainsi que découvert par la demanderesse et mis en évidence par des résultats d'essais comparatifs indiqués ci-après, le taux de 11 à 18 % de styrène dans ce mélange permet l'obtention surprenante de caractéristiques de tenue au claquage en tension continue et au claquage en tension de choc occasionnée par la foudre sur une station de conversion reliée au câble ou sur une des extrémités du câble qui sont optimisées pour permettre une tension utile élevée. Il permet simultanément de minimiser la quantité de charges d'espace dans l'isolation du câble sous tension continue, ce qui abaisse considérablement les risques de claquage.

[0019] Ce taux massique de styrène dans le mélange est de préférence de 11,5 à 16 %.

[0020] En regard d'essais qui ont été réalisés par la demanderesse et dont les résultats sont donnés, on précise que les différents échantillons utilisés sont constitués d'un mélange qui comprend du polyéthylène basse densité, un copolymère tri-séquence hydrogéné de styrène-butadiène-styrène. Le taux massique de styrène est différent selon les échantillons. Ceux-ci ont tous une même épaisseur. Ce mélange n'est pas réticulé et évite ainsi la présence de sous produits de réticulation qui conduisent à l'augmentation de la densité de charges d'espace.

Tableau 1

Styrène % en poids	Vimp kV/mm	Vcc kV/mm	Vo(r=1,4) kV/mm	Vo(r=1,1) kV/mm
0	223	146	146	146
1	218	178	156	178
5	203	225	145	185
10	137	336	98	125
12	231	323	165	210
15	219	295	156	199

[0021] Dans ce tableau 1, Vimp est la tenue au claquage en tension de choc et Vcc la tenue au claquage en tension continue des échantillons à 70°C et Vo le gradient de tension utile admissible en régime permanent, en kV/mm, selon le taux massique de styrène dans les échantillons.

[0022] Les variations de Vimp et Vcc en fonction du taux massique de styrène sont illustrées dans la figure 2. Elles font ressortir que la tenue au claquage en tension continue Vcc qui est relativement faible à 0 % de styrène croît ensuite de manière importante pour des taux de styrène allant jusqu'à 10 % et ne décroît alors que très faiblement en restant très élevée pour des taux de styrène allant de 10 à 15 % et au-delà jusqu'à un taux limite de mise en oeuvre aisée possible. Parallèlement, la tenue au claquage en tension de choc Vimp est relativement élevée à 0 % de styrène et décroît par contre très rapidement, pour un taux de styrène croissant jusqu'à 10 %, mais recroît alors très brutalement et de manière très surprenante au-delà de 10 % et ceci jusqu'au taux limite de mise en oeuvre aisée.

[0023] Ce taux limite de mise en oeuvre aisée est actuellement de l'ordre de 18 à 20 % de styrène dans ce mélange. Pour ce taux limite de mise en oeuvre des tests seulement incomplets ont pu être effectués par la demanderesse pour des raisons de durée de certains des essais et les caractéristiques des échantillons n'ont donc pas été indiquées.

[0024] Ces deux caractéristiques de claquage Vimp et Vmax permettent d'évaluer le gradient de tension utile de fonctionnement en régime permanent qui peut être supporté par ces échantillons et constitue la caractéristique dimensionnante du système d'isolation constitué en ce mélange d'un câble à courant continu.

[0025] Ce gradient de tension utile V_0 résulte en premier lieu des caractéristiques de claquage V_{imp} et V_{cc} et aussi du fait qu'un câble à courant continu peut être soumis à des contraintes de choc de foudre qui sont supérieures à ses contraintes de tension continue en régime permanent. Actuellement, il est admis que les contraintes de choc que doit pouvoir supporter un câble à courant continu sont de l'ordre de 1,4 fois supérieures aux contraintes de tension continue en régime permanent, ceci en tenant compte de l'amélioration des circuits limiteurs de surtension disponibles et utilisés, tels que ceux comportant des varistances à oxyde de zinc. Ce rapport, noté r , peut encore être abaissé jusqu'à 1,1 en considérant les améliorations de ces limiteurs mais aussi une possible fiabilité accrue de tenue au claquage des matériaux d'isolation lui-même, ce qui est le cas présent et est expliqué ci-après.

[0026] Pour chacun des échantillons considérés, le gradient de tension utile V_0 admissible est alors déterminé par la valeur minimale du couple de valeurs V_{imp}/r , V_{cc} . Il est donné dans le tableau 1, pour $r = 1,4$ et $r = 1,1$, en fonction du taux de styrène et est illustré sous forme de graphe pour $r = 1,4$ dans la figure 3 et pour $r = 1,1$ dans la figure 4, selon le taux de styrène.

[0027] De ces valeurs de gradient de tension utile V_0 admissible selon la teneur de styrène dans le mélange réalisé, il ressort qu'une teneur de styrène comprise entre 11 et 18 %, et de préférence 11,5 et 16 % conduit alors à un gradient de tension utile de valeur très élevée et améliorée.

[0028] On note à cet égard que c'est en fait la performance de tenue au choc qui limite le gradient de tension utile pour les taux de styrène allant de 11 à 18 % mais l'invention tire précisément profit de ce que cette performance au choc V_{imp} devient brusquement excellente à ces taux de styrène entre 11 et 18 %.

[0029] L'intérêt d'une telle teneur de styrène dans le mélange réalisé a par ailleurs été mis en évidence par la demanderesse. En effet, il a été constaté que la quantité de charges d'espace, créée et piégée dans les échantillons en présence d'une tension continue permanente et/ou d'un gradient de température, diminue lorsque la teneur en styrène augmente.

[0030] De plus, le champ électrique maximal dans les conditions de fonctionnement nominales, c'est-à-dire lorsque le câble transporte du courant continu, diminue et devient faible pour de telles teneurs en styrène dans ledit mélange. Ceci conduit à des contraintes plus faibles appliquées sur le câble.

[0031] En outre à ces teneurs de styrène, les charges d'espace piégées deviennent moins nocives et ne conduisent que très occasionnellement à un dépiégeage coopératif subit, qui donne lieu à un claquage sous tension continue alors très peu probable.

[0032] Ces particularités abaissent les risques de claquage c'est-à-dire accroissent considérablement la fiabilité et l'espérance de vie du câble et traduisent le maintien dans le temps des propriétés diélectriques exceptionnelles de l'isolation ainsi constituée.

[0033] Comparativement, de telles propriétés diélectriques ne sont pas atteintes et se dégradent dans le temps pour des taux de styrène inférieurs à 10 %, pour lesquels les charges d'espaces et leur effet sont plus importants et donnent lieu à des claquages plus fréquents.

[0034] Les performances obtenues grâce à l'utilisation de l'isolation selon la présente invention sont encore améliorées en utilisant également des écrans semi-conducteurs interne et externe réalisés à partir d'une matrice polymérique de même nature que ladite isolation.

[0035] Cette matrice des écrans semi-conducteurs est constituée d'un mélange de polyéthylène, de copolymère séquencé hydrogéné de styrène et d'anti-oxydant, dans lequel est incorporée une charge conductrice pour l'obtention d'une résistance électrique et de propriétés mécaniques et rhéologiques requises. Elle permet une compatibilité chimique et électrique entre le matériau d'isolation et celui des écrans semi-conducteurs, à leurs interfaces. Elle apporte ainsi une réduction supplémentaire des charges d'espace dans l'isolation et une réduction de l'intensité du champ électrique aux interfaces, en améliorant la tenue du câble sous tension continue et de choc de foudre. La matrice des écrans semiconducteurs n'est pas réticulée, pour les mêmes raisons que celles indiquées ci-avant pour l'isolation.

[0036] La charge conductrice est un noir de carbone ou de préférence un noir d'acétylène.

[0037] La teneur en styrène de la matrice polymérique des écrans semi-conducteurs est en tant que telle moins critique que celle de l'isolation, du fait de la présence de la charge conductrice incorporée dans cette matrice. La matrice peut comporter de 0,1 à 20 % de styrène. La teneur préférentielle est de 1 à 10. %.

[0038] Les mesures de charges d'espace illustrées dans les figures 5, 6 et 7 sont effectuées par un procédé électro-acoustique pulsé (PEA), en tant que tel connu. Elles ont été réalisées sur un échantillon plan du système d'isolation concerné, constitué par une couche d'isolant de 0,5 mm d'épaisseur et deux couches semi-conductrices de 0,2 à 0,3 mm d'épaisseur situées de part et d'autre de la couche d'isolant, en appliquant une différence de potentiel entre les couches semi-conductrices.

[0039] Ainsi une différence de potentiel de 5, 10, ..., 30 kV appliquée entre les couches semi-conductrices donne lieu à un gradient de potentiel moyen de 10, 20, ..., 60 kV/mm dans le système d'isolation, le gradient de potentiel local étant quant à lui fonction de la quantité de charges d'espace dans le matériau.

[0040] Dans la figure 5, on a désigné sous les références 3' et 5' les deux couches semi-conductrices et la référence 4' la couche d'isolant d'un système d'isolation classique. Dans la figure 6, le système d'isolation selon l'invention est

à couche d'isolant 4 conforme à l'invention et à couches semi-conductrices 3' et 5' classiques. Dans la figure 7, le système préférentiel d'isolation selon l'invention est à couche d'isolant 4 et à couches semi-conductrices 3 et 5, qui sont toutes conformes à la présente invention.

[0041] Dans ces trois figures, on a schématisé la différence de potentiel appliquée par les signes + et - au droit des interfaces entre les différentes couches du système d'isolation. On y a également indiqué les signes + et - de part et d'autre du zéro, les charges d'espace positives et négatives mesurées, en Coulomb/m³, sans toutefois préciser l'échelle correspondante, qui est incertaine en valeur absolue mais est analogue pour l'ensemble des courbes données.

[0042] Les courbes de la figure 5 montrent que la couche d'isolant 4' du système d'isolation classique contient des charges d'espace importantes dans toute son épaisseur. Les quantités de charge sont d'autant plus importantes que le gradient de tension est élevé.

[0043] Comparativement, les courbes de la figure 6 montrent que les charges d'espace dans la couche d'isolant 4 du système d'isolation selon l'invention sont cantonnées à proximité des interfaces avec les couches semi-conductrices classiques 3' et 5' et sont quasi-inexistantes par ailleurs. La tenue de ce système d'isolation s'en trouve améliorée par rapport à celle du système classique précédent.

[0044] Comparativement aussi, les courbes de la figure 7 montrent que les charges d'espace dans la couche d'isolant 4 du système préférentiel d'isolation selon l'invention sont également cantonnées à proximité des interfaces avec les couches semi-conductrices conformes à l'invention, mais sont en outre de niveau nettement moindre et ont le même signe que celles contenues dans la couche semi-conductrice d'interface. Ce faible niveau de charges d'espace et leur signe identique de part et d'autre de chaque interface donne lieu à un champ électrique minimal, pour lequel ce système d'isolation préférentiel est estimé optimal.

Revendications

1. Câble haute ou très haute tension à courant continu, comportant une âme conductrice et une isolation polymérique extrudée réalisée en matériau styrénique, caractérisé en ce que ledit matériau de ladite isolation (4) est constitué d'un mélange qui comprend du polyéthylène, un copolymère séquencé hydrogéné de styrène, choisi parmi les copolymères de styrène et butadiène et de styrène et isoprène, et un anti-oxydant, à un taux massique de styrène de 11 à 18 % et est non réticulé.
2. Câble selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit mélange présente un taux de styrène compris entre 11,5 et 16 %.
3. Câble selon l'une des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que ledit copolymère séquencé hydrogéné de styrène est tri-séquencé.
4. Câble selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'il comporte un écran semi-conducteur interne (3) entre ladite isolation (4) et ladite âme conductrice (2) et un écran semi-conducteur externe (5) entourant ladite isolation, constitués l'un et l'autre en une matrice polymérique qui est choisie de même nature que ladite isolation, contient une charge conductrice et est non réticulée.
5. Câble selon la revendication 4, caractérisé en ce que ladite matrice polymérique contient un taux massique de styrène compris entre 0,1 et 20 %.
6. Câble selon la revendication 5, caractérisé en ce que ladite matrice polymérique contient un taux massique de styrène compris entre 1 et 10 %.

FIG. 1

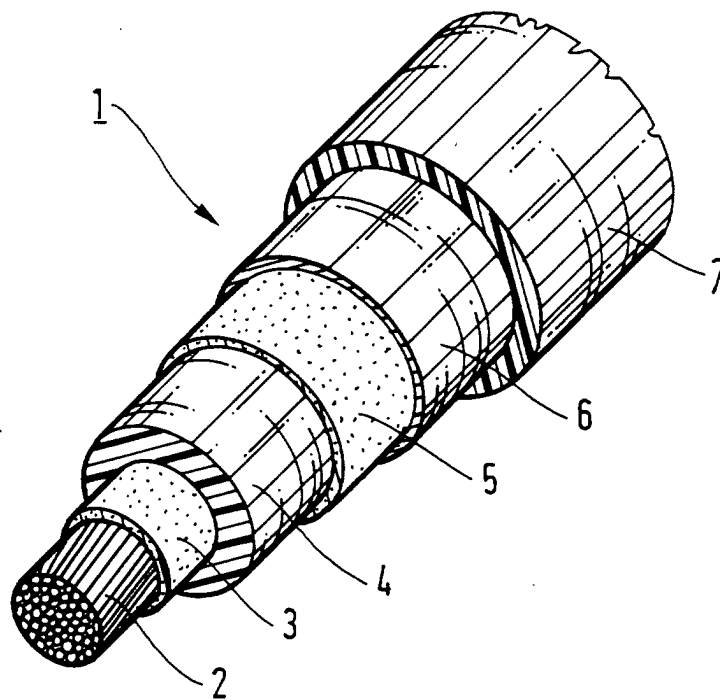
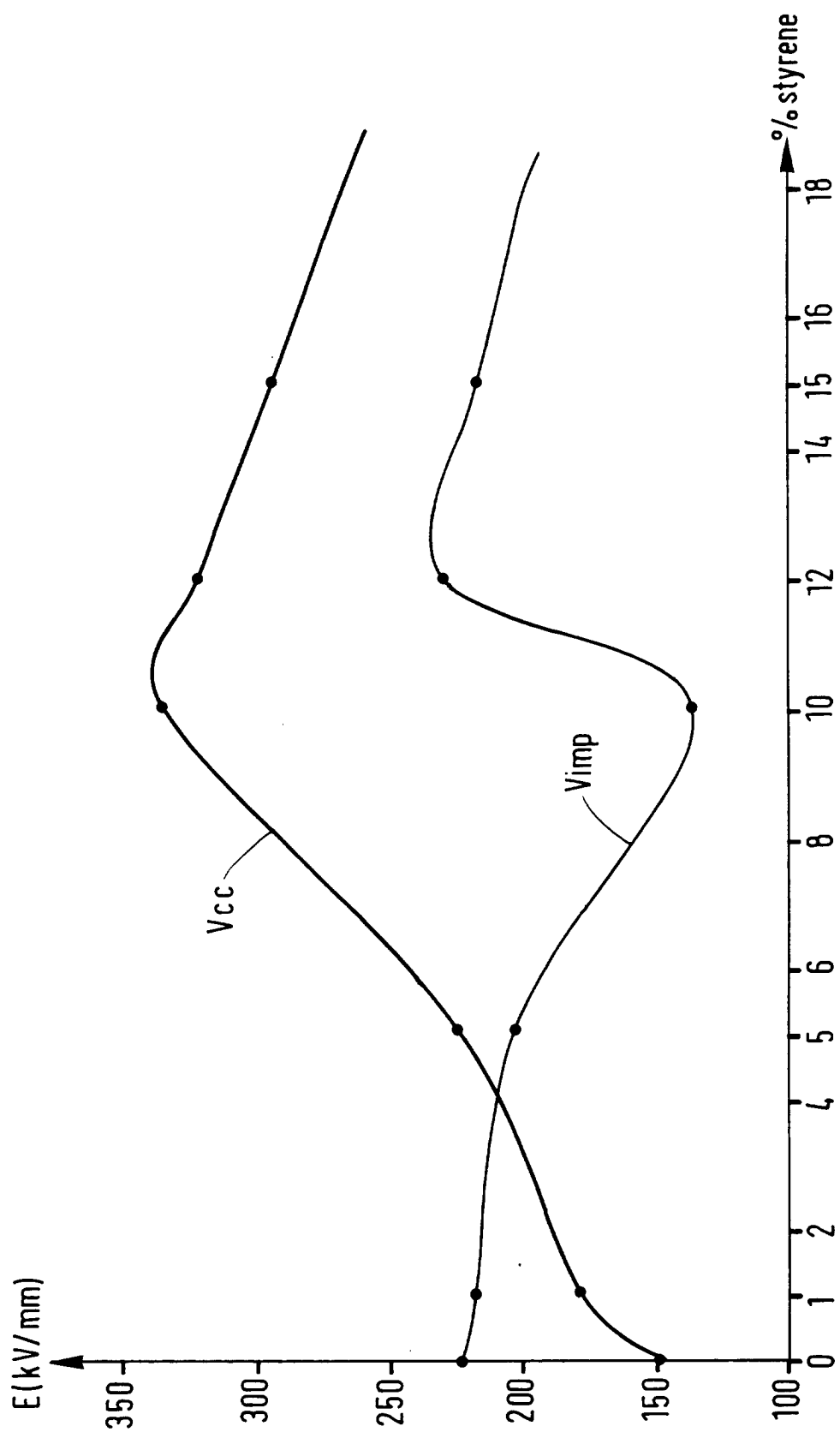


FIG. 2



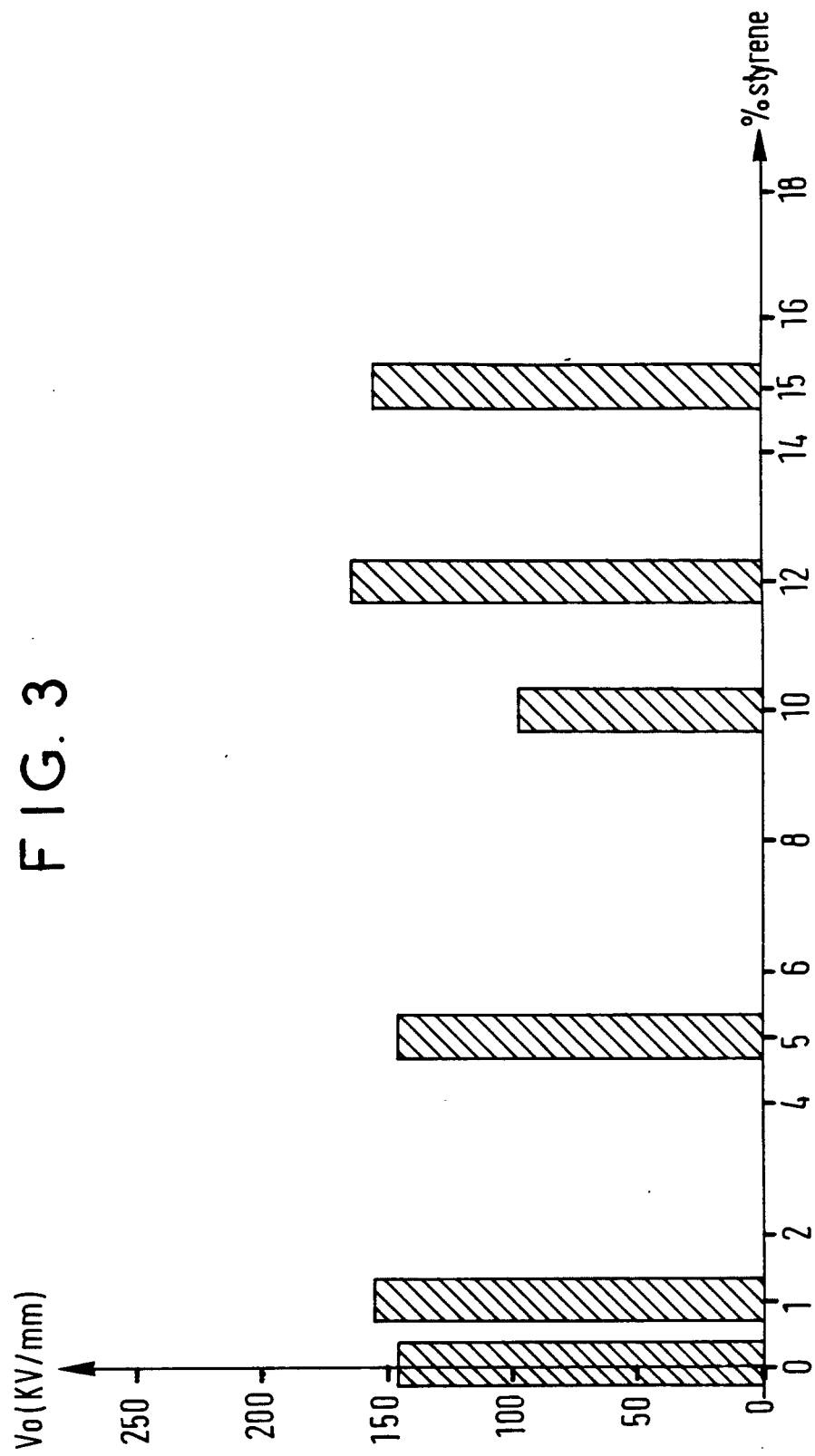


FIG. 4

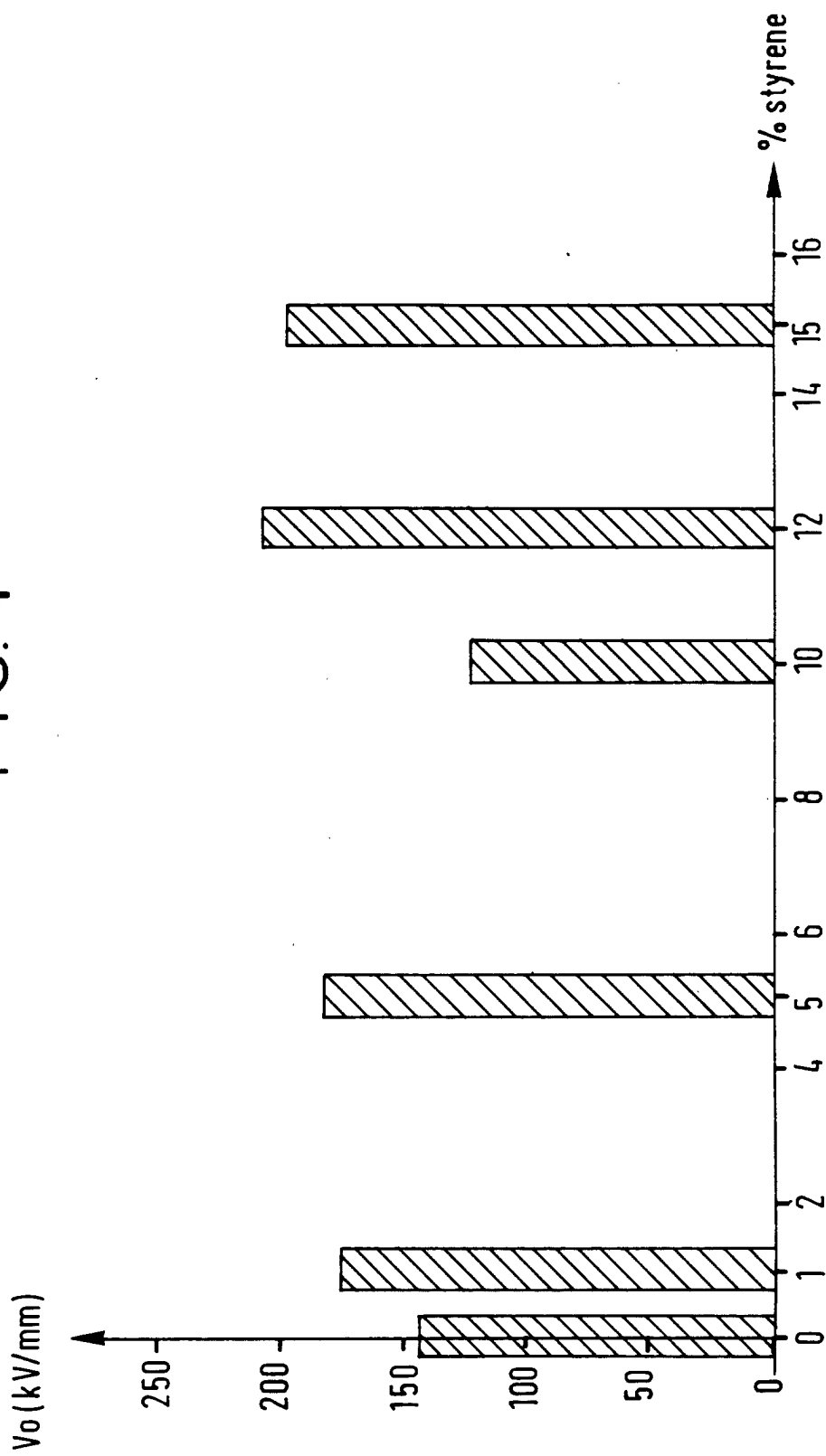


FIG. 5

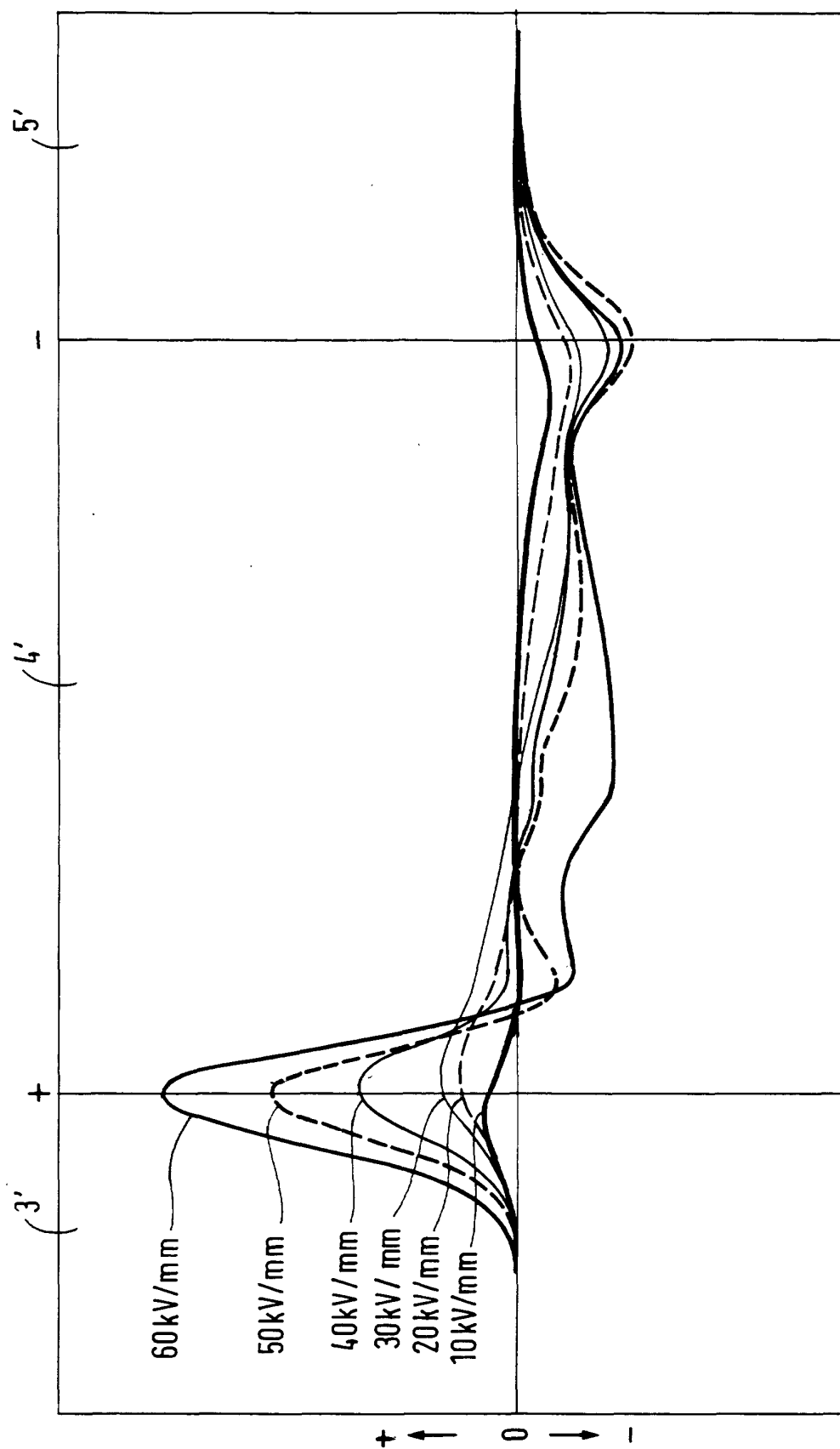
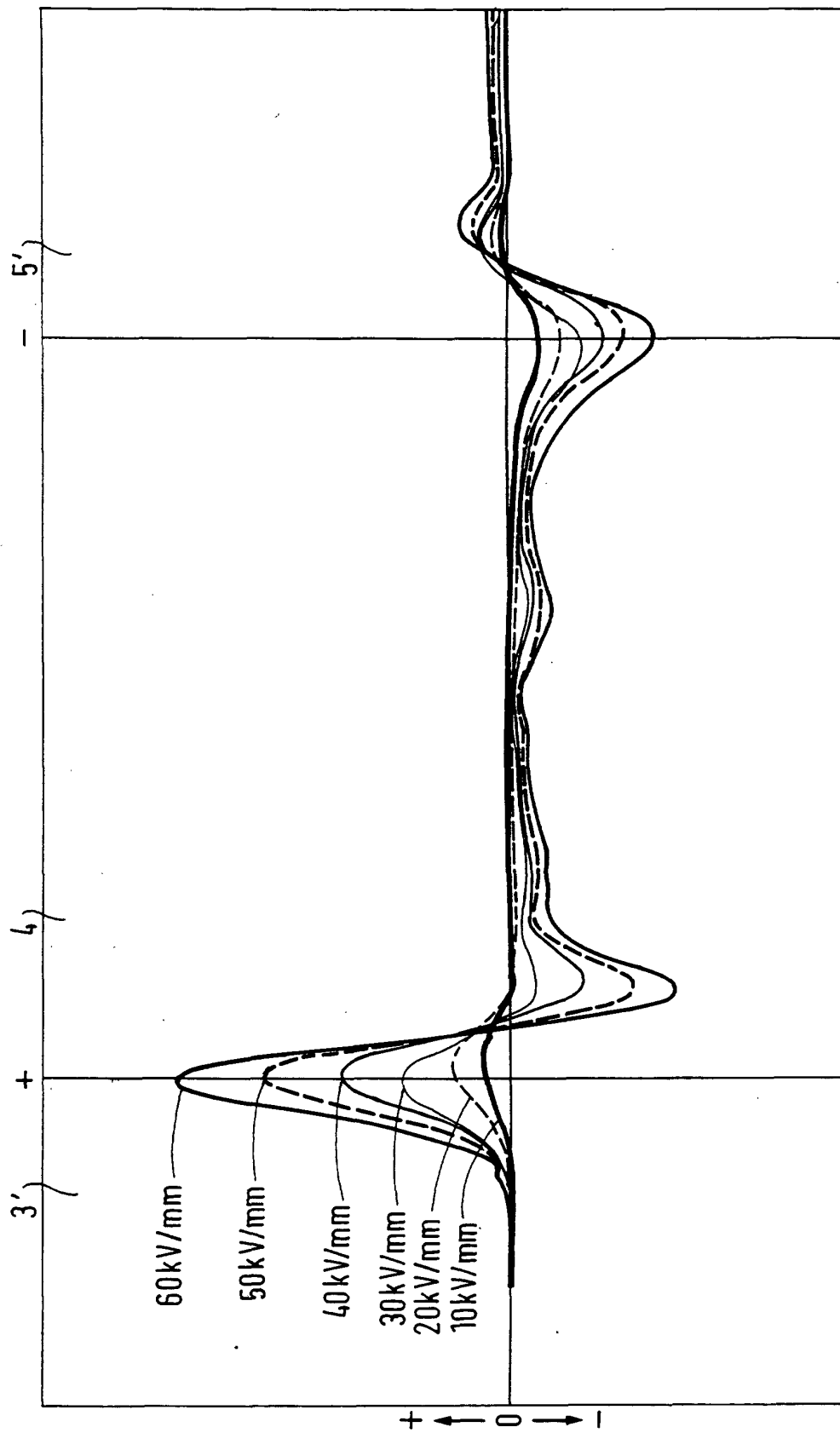
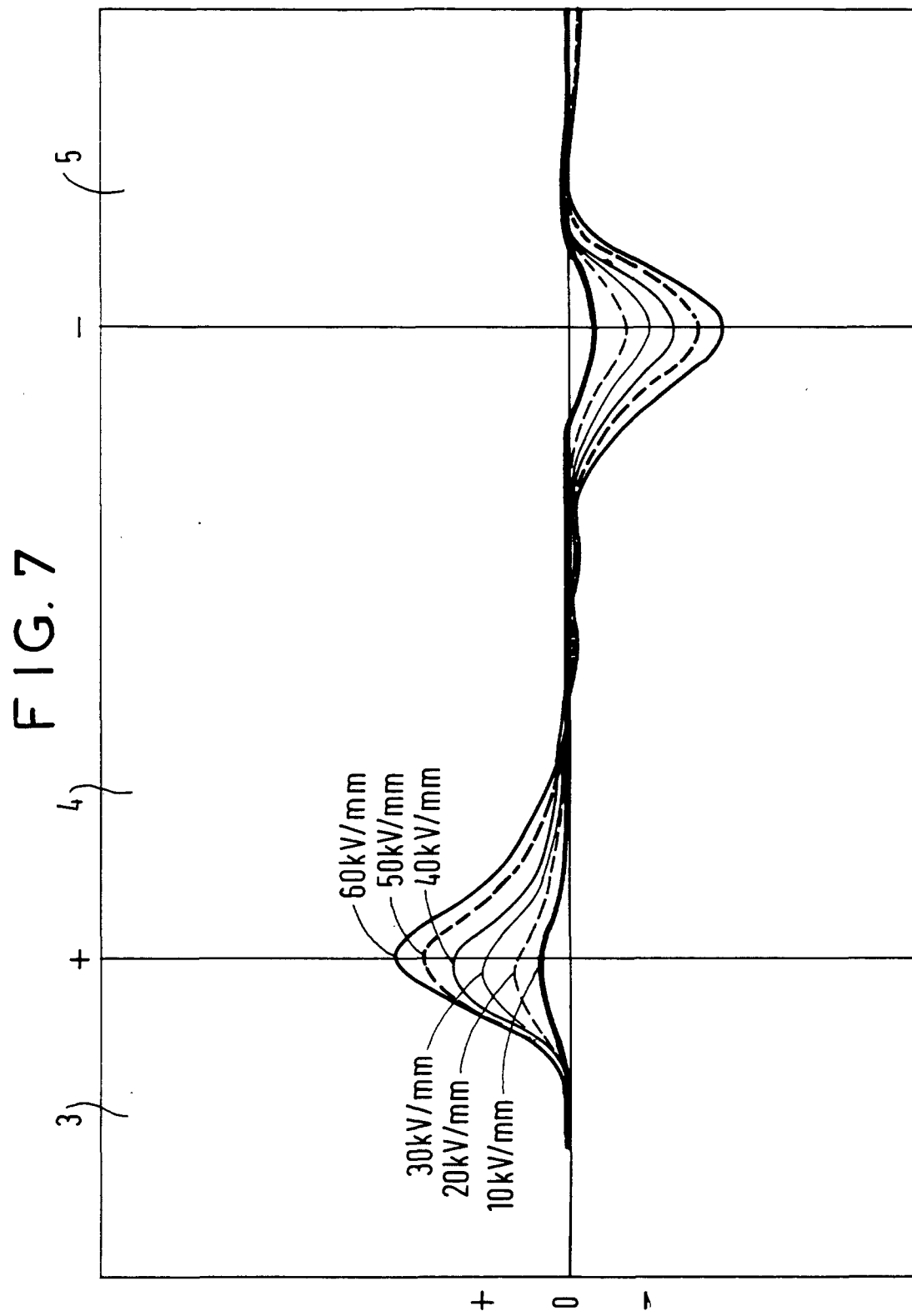


FIG. 6







Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande
EP 01 40 0363

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.Cl.7)
A	EP 0 370 518 A (NIPPON UNICAR CO LTD) 30 mai 1990 (1990-05-30) * exemple 1 *	1	H01B3/44
A	US 5 561 185 A (HASHIMOTO DAI ET AL) 1 octobre 1996 (1996-10-01) * tableaux 1,4 *	1	
A	US 4 060 659 A (MATSUBARA HIRONAGA ET AL) 29 novembre 1977 (1977-11-29) * exemples 24,25 *	1	
A	US 5 889 117 A (FLENNIKEN CINDY L) 30 mars 1999 (1999-03-30) * figure 1 *	1,4	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.7)
			H01B
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 26 avril 2001	Examineur Shade, M
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

EPO FORM 1503 03 82 (P04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 01 40 0363

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

26-04-2001

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 0370518 A	30-05-1990	JP 2145633 A	05-06-1990
US 5561185 A	01-10-1996	DE 4440394 A	18-05-1995
		JP 2922801 B	26-07-1999
		JP 7252388 A	03-10-1995
		JP 3068422 B	24-07-2000
		JP 7182930 A	21-07-1995
US 4060659 A	29-11-1977	AUCUN	
US 5889117 A	30-03-1999	AU 4247897 A	26-03-1998
		WO 9809808 A	12-03-1998

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82