




---

# BREVET D'INVENTION

---

Code de la propriété intellectuelle-Livres VI

## DECISION DE DELIVRANCE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle décide que le brevet d'invention n° **02 13629** dont le texte est ci-annexé est délivré à :  
**EXCEM Société anonyme - FR**

La délivrance produit ses effets pour une période de vingt ans à compter de la date de dépôt de la demande, sous réserve du paiement des redevances annuelles.

Mention de la délivrance est faite au Bulletin officiel de la propriété industrielle n° 05/02 du 14.01.05 (n° de publication 2 846 750).

Fait à Paris, le 14.01.05

Le Directeur général de l'Institut  
national de la propriété industrielle

**B. BATTISTELLI**

**INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLE**

**SIEGE**

26 bis, rue de Saint Petersburg  
75800 PARIS cedex 08  
Téléphone : 01 53 04 53 04  
Télécopie : 01 42 93 59 30

Dispositif pour la caractérisation des câbles à paires.

L'invention concerne un dispositif pour la caractérisation des câbles à paires tels que ceux utilisés pour la transmission des signaux téléphoniques ou ceux utilisés pour les transmissions de données à haut débit.

Considérons un câble contenant un nombre  $p$  de paires, avec  $p \geq 2$ , et éventuellement un écran, que nous appellerons un câble multipaire. On peut considérer que le câble multipaire est un cas particulier de câble à  $n$  conducteurs, avec  $n = 2p$  dans le cas d'un câble sans écran, ou bien avec  $n = 2p + 1$  dans le cas d'un câble avec écran.

Les conducteurs d'un tel câble peuvent être numérotés, par exemple de la façon suivante :

- le conducteur 1 est le 1er conducteur de la première paire ;
- 15 - le conducteur 2 est le 2ième conducteur de la première paire ;
- et ainsi de suite jusqu'au conducteur  $2p - 1$  qui est le 1er conducteur de la  $p$ -ième paire ;
- au conducteur  $2p$  qui est le 2ième conducteur de la  $p$ -ième
- 20 paire ;
- et, dans le cas d'un câble avec écran, celui-ci est le conducteur  $2p + 1$ .

Considérons la configuration théorique classique dans laquelle une section de câble est étendue, rectiligne, parallèlement à un conducteur de référence (qui peut par exemple être un plan de masse ou un conducteur cylindrique creux entourant le câble). Considérons que chaque extrémité de cette section de câble est branchée à un dispositif électronique appelé terminaison. L'une d'elles est appelée terminaison proche, l'autre est la terminaison éloignée. Le numéro  $j$  précédemment attribué à un conducteur quelconque du câble peut être utilisé comme indice pour définir, à une abscisse donnée  $z$  le long du câble, le courant  $i_j$  circulant sur ce conducteur, et la tension  $v_j$  entre ce conducteur et le

30

35

conducteur de référence. Ces  $n$  courants et ces  $n$  tensions seront respectivement appelés les courants naturels et les

tensions naturelles.

Il est bien connu des spécialistes que la caractérisation du câble multipaire pour la transmission des signaux et pour la diaphonie peut se faire avec une matrice inductance linéique  $\mathbf{L}$ ,  
 5 une matrice résistance linéique  $\mathbf{R}$ , une matrice capacité linéique  $\mathbf{C}$ , et une matrice conductance linéique  $\mathbf{G}$ . Ces matrices sont des matrices carrées symétriques d'ordre  $n$ , et elles dépendent de la fréquence. Les matrices  $\mathbf{L}$ ,  $\mathbf{R}$ ,  $\mathbf{C}$  et  $\mathbf{G}$  permettent d'écrire deux relations entre le vecteur-colonne  $\mathbf{I}$  des courants  
 10 naturels  $i_1, \dots, i_n$  et le vecteur-colonne  $\mathbf{V}$  des tensions naturelles  $v_1, \dots, v_n$  considérés à une même abscisse  $z$ . Nous qualifierons donc ces quatre matrices de "naturelles". Ces dites deux relations sont appelées les équations des télégraphistes par les spécialistes, et se notent :

$$15 \quad \begin{cases} \frac{d\mathbf{V}}{dz} = -(\mathbf{R} + j\omega\mathbf{L})\mathbf{I} \\ \frac{d\mathbf{I}}{dz} = -(\mathbf{G} + j\omega\mathbf{C})\mathbf{V} \end{cases} \quad (1)$$

Les spécialistes savent qu'une méthode de caractérisation du câble multipaire à une fréquence donnée, utilisant une section de câble de longueur très petite devant les longueurs d'onde correspondant aux vitesses de propagation dans le câble  
 20 multipaire à cette fréquence, découle directement de ces équations:

- pour déterminer les matrices naturelles  $\mathbf{L}$  et  $\mathbf{R}$ , il suffit que la terminaison éloignée réalise la connexion de tous les conducteurs du câble au conducteur de référence (on dit que  
 25 cette terminaison est un court-circuit), et de réaliser  $n$  expériences, l'expérience numéro  $j$  consistant à utiliser la terminaison proche pour injecter un courant naturel  $i_j$  d'amplitude connue en maintenant nuls les autres courants naturels, et pour permettre la mesure des  $n$  tensions  
 30 naturelles,

- pour déterminer les matrices naturelles  $\mathbf{C}$  et  $\mathbf{G}$ , il suffit que la terminaison éloignée réalise l'isolement de tous les conducteurs du câble (on dit que cette terminaison est un circuit ouvert), et de réaliser  $n$  expériences, l'expérience

numéro  $j$  consistant à utiliser la terminaison proche pour appliquer une tension naturelle  $v_j$  d'amplitude connue en maintenant nulles les autres tensions naturelles, et pour permettre la mesure des  $n$  courants naturels.

5 Cette méthode est conceptuellement satisfaisante mais sa mise en pratique présente l'inconvénient que certaines propriétés essentielles du câble risquent d'être occultées par les incertitudes de mesure. Telle sera par exemple le cas de propriétés qui sont liées à la différence de termes très  
10 voisins des dites matrices naturelles. C'est typiquement ce que l'on constate sur les câbles multipaires performants, présentant une faible diaphonie entre les paires : du fait des incertitudes de mesures, il n'est pas possible d'utiliser des résultats de mesures des matrices naturelles basées sur la  
15 méthode exposée plus haut, pour déterminer des signaux de paradiaphonie et de télédiaphonie dans une configuration d'utilisation réaliste, à partir des formules que les spécialistes savent dériver des équations (1).

L'article "Comparaison de l'émission des câblages de  
20 télécommunication", de F. Broydé, E. Clavelier, O. Daguillon, et A.Zeddam (publié dans les *Actes du 9ème Colloque International et Exposition sur la CEM*, Brest, 8- 11 juin 1998) explique qu'il est possible de s'affranchir de ces limitations en définissant une transformation linéaire (on dit aussi: un  
25 changement de variable) appropriée sur les vecteurs  $\mathbf{V}$  et  $\mathbf{I}$ , et en procédant à la mesure directe de courants et tensions transformés pour la caractérisation du câble.

Plus précisément, si nous appelons  $\mathbf{I}_s$  le vecteur-colonne des courants transformés  $i_{s\ 1}, \dots, i_{s\ n}$  (appelés "nouveaux courants" dans l'article cité plus haut), et  $\mathbf{V}_s$  le vecteur-colonne des tensions transformées  $v_{s\ 1}, \dots, v_{s\ n}$  (appelées "nouvelles tensions" dans le dit article), la dite transformation linéaire peut être décrite avec deux matrices régulières réelles  $\mathbf{A}$  et  $\mathbf{B}$  telles que :

$$35 \quad \begin{cases} \mathbf{V}_s = \mathbf{A} \mathbf{V} \\ \mathbf{I}_s = \mathbf{B} \mathbf{I} \end{cases} \quad (2)$$

Si l'on utilise les équations (1) et (2), nous obtenons les équations des télégraphistes transformées :

$$\begin{cases} \frac{d\mathbf{V}_s}{dz} = -(j\omega \mathbf{L}_s + \mathbf{R}_s)\mathbf{I}_s \\ \frac{d\mathbf{I}_s}{dz} = -(j\omega \mathbf{C}_s + \mathbf{G}_s)\mathbf{V}_s \end{cases} \quad (3)$$

dans laquelle la matrice inductance linéique transformée  $\mathbf{L}_s$ , la  
5 matrice résistance linéique transformée  $\mathbf{R}_s$ , la matrice  
capacitance linéique transformée  $\mathbf{C}_s$  et la matrice conductance  
linéique transformée sont définies par :

$$\begin{cases} \mathbf{L}_s = \mathbf{A}\mathbf{L}\mathbf{B}^{-1} \\ \mathbf{R}_s = \mathbf{A}\mathbf{R}\mathbf{B}^{-1} \\ \mathbf{C}_s = \mathbf{B}\mathbf{C}\mathbf{A}^{-1} \\ \mathbf{G}_s = \mathbf{B}\mathbf{G}\mathbf{A}^{-1} \end{cases} \quad (4)$$

Il est clair qu'il est mathématiquement équivalent de  
10 caractériser le câble avec les matrices naturelles  $\mathbf{L}$ ,  $\mathbf{R}$ ,  $\mathbf{C}$  et  
 $\mathbf{G}$  ou avec les matrices transformées  $\mathbf{L}_s$ ,  $\mathbf{R}_s$ ,  $\mathbf{C}_s$  et  $\mathbf{G}_s$ .

Si l'adverbe "directement" est considéré comme synonyme de  
"sans avoir recours à l'application d'une transformation  
linéaire à des matrices naturelles", et que l'on est capable  
15 d'appliquer et de mesurer directement les tensions  
transformées, et d'injecter et de mesurer directement les  
courants transformés, il est clair que l'on peut déterminer  
directement les dites matrices transformées. En effet, en  
procédant par exemple selon une méthode analogue à celle  
20 exposée plus haut pour la détermination des matrices  
naturelles, il est clair que :

- pour déterminer les matrices transformées  $\mathbf{L}_s$  et  $\mathbf{R}_s$ , il suffit  
que la terminaison éloignée soit un court-circuit, et de  
réaliser  $n$  expériences, l'expérience numéro  $j$  consistant à  
25 utiliser la terminaison proche pour injecter un courant  
transformé  $i_{s_j}$  d'amplitude connue en maintenant nuls les autres  
courants transformés, et pour permettre la mesure des  $n$

tensions transformées,

- pour déterminer les matrices transformées  $\mathbf{C}_s$  et  $\mathbf{G}_s$ , il suffit que la terminaison éloignée soit un circuit ouvert, et de réaliser  $n$  expériences, l'expérience numéro  $j$  consistant à  
 5 utiliser la terminaison proche pour appliquer une tension transformée  $v_{s_j}$  d'amplitude connue en maintenant nulles les autres tensions transformées, et pour permettre la mesure des  $n$  courants transformés.

L'intérêt de déterminer directement les matrices  
 10 transformées  $\mathbf{L}_s$ ,  $\mathbf{R}_s$ ,  $\mathbf{C}_s$  et  $\mathbf{G}_s$  est que, si la transformation linéaire est bien choisie, les propriétés essentielles du câble ne risquent plus d'être occultées par les incertitudes de mesure. Il devient alors possible par exemple de déterminer des signaux de paradiaphonie et de télédiaphonie dans une  
 15 configuration d'utilisation réaliste, à partir des formules que les spécialistes savent dériver des équations (3).

Il est également clair pour le spécialiste que la détermination directe, à une fréquence donnée, des matrices transformées  $\mathbf{L}_s$ ,  $\mathbf{R}_s$ ,  $\mathbf{C}_s$  et  $\mathbf{G}_s$  caractérisant le câble nécessite  
 20 que les dites mesures des  $n$  tensions transformées et les dites mesures des  $n$  courants transformés soient des mesures vectorielles (c'est-à-dire des mesures d'amplitude complexe), la dite amplitude connue du courant injecté ou de la tension appliquée devant être aussi une amplitude complexe. Par  
 25 exemple, on pourra prendre, selon le cas, le courant injecté ou la tension appliquée comme référence de phase.

Il est possible, dans certains cas, de se satisfaire pour caractériser le câble de la seule connaissance de la matrice constituée du module des éléments de la matrice  $j\omega\mathbf{L}_s + \mathbf{R}_s$ , et de  
 30 la matrice constituée du module des éléments de la matrice  $j\omega\mathbf{C}_s + \mathbf{G}_s$ . Dans ce cas, il suffit que les dites mesures des  $n$  tensions transformées et les dites mesures des  $n$  courants transformés soient des mesures scalaires (c'est-à-dire des mesures d'amplitude réelle positive), la dite amplitude connue  
 35 du courant injecté ou de la tension appliquée pouvant aussi n'être qu'une amplitude réelle positive. Par abus de langage, on pourra aussi appeler "matrices transformées caractérisant un

câble multipaire" la matrice constituée du module des éléments de la matrice  $j\omega\mathbf{L}_s + \mathbf{R}_s$ , et la matrice constituée du module des éléments de la matrice  $j\omega\mathbf{C}_s + \mathbf{G}_s$ .

Le dispositif selon l'invention a pour but de permettre de  
5 déterminer directement les matrices transformées caractérisant le câble.

L'invention concerne un dispositif pour déterminer  
directement les matrices transformées caractérisant un câble  
multipaire à  $n$  conducteurs pour une transformation linéaire  
10 donnée, le ou les écrans du câble étant comptés parmi ces conducteurs et  $n$  étant supérieur ou égal à 4, caractérisé en ce que:

- premièrement il comporte un "dispositif de transformation" dont l'entrée est connectée au dit câble et possédant  $n$  sorties  
15 ayant chacune deux bornes, ces sorties étant numérotées de 1 à  $n$ ,

- deuxièmement le "dispositif de transformation" comporte au moins  $n - 1$  transformateurs, et pour tout nombre entier  $j$  entre 1 et  $n$  inclus, il fournit sur sa sortie numéro  $j$  une tension  
20 approximativement proportionnelle à la tension transformée d'indice  $j$  lorsque cette sortie numéro  $j$  est connectée à une impédance suffisamment élevée, et, lorsque cette sortie est connectée à un dipôle linéaire d'impédance suffisamment faible, il fait circuler à travers ce dipôle un courant  
25 approximativement proportionnel au courant transformé d'indice  $j$ ,

- troisièmement il comporte  $n$  "modules de mesure", numérotés de 1 à  $n$ , muni chacun d'une "entrée câble" ayant deux bornes,

- quatrièmement pour tout nombre entier  $j$  entre 1 et  $n$  inclus,  
30 l'"entrée câble" du "module de mesure" numéro  $j$  est relié à la sortie numéro  $j$  du "dispositif de transformation",

- cinquièmement l'"entrée câble" de chaque module de mesure peut se comporter d'au moins trois façons différentes, le premier de ces comportements étant celui d'une charge passive  
35 de faible impédance, le deuxième de ces comportements étant celui d'une charge passive de forte impédance, le troisième de ces comportements étant celui d'une source de signal,

- sixièmement pour tout nombre entier  $j$  entre 1 et  $n$  inclus, le

"module de mesure" numéro  $j$  peut délivrer en sortie, soit simultanément soit consécutivement, un signal approximativement proportionnel au courant transformé d'indice  $j$  et un signal approximativement proportionnel à la tension transformée d'indice  $j$ .

Un dispositif selon l'invention peut être caractérisé en ce que le "dispositif de transformation" possède aussi une borne d'entrée destinée à être connectée à un conducteur de référence.

Le spécialiste voit que selon l'invention, le "dispositif de transformation" et les "modules de mesure" permettent d'appliquer et de mesurer directement les tensions transformées, et d'injecter et de mesurer directement les courants transformés. Cependant, la possibilité d'obtenir en sortie des "modules de mesure" les courants transformés et les tensions transformées n'est pas acquise pour une transformation quelconque. On peut toutefois montrer que, lorsque la transposée de la matrice qui multipliée au vecteur-colonne des tensions naturelles donne le vecteur-colonne des tensions transformées est égale à l'inverse de la matrice qui multipliée au vecteur-colonne des courants naturels donne le vecteur-colonne des courants transformés, c'est-à-dire lorsque  ${}^t\mathbf{A} = \mathbf{B}^{-1}$ , alors il est toujours possible d'obtenir en sortie des "modules de mesure" les courants transformés et les tensions transformées. En effet, le spécialiste voit qu'il est toujours possible de concevoir un réseau de transformateurs idéaux pourvu de  $n$  sorties ayant chacune deux bornes, réseau dont l'entrée est connectée au câble sous test, tel qu'entre les bornes de la sortie numéro  $j$  existe la tension transformée d'indice  $j$ , et, qu'un réseau de transformateurs idéaux conservant la puissance, la transposée de la matrice qui multipliée au vecteur-colonne des tensions naturelles donne les tensions aux bornes de chacune des sorties (qui sont les tensions transformées) est forcément égale à l'inverse de la matrice qui multipliée au vecteur-colonne des courants naturels donne le vecteur-colonne des courants circulant entre les deux bornes de chacune des sorties connectées à un dipôle linéaire. Donc, lorsque  ${}^t\mathbf{A} = \mathbf{B}^{-1}$ , si cette sortie numéro  $j$  est connectée

à un dipôle linéaire, le courant à travers ce dipôle est égal au courant transformé d'indice  $j$ .

D'autres caractéristiques de l'invention vont ressortir plus clairement de l'exposé qui va suivre d'un exemple, donné à titre non limitatif, d'un dispositif selon l'invention, prévu pour la caractérisation d'un câble écranté à 4 paires, pour la transformation définie par

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 1/2 & 1/2 & -1/2 & -1/2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1/4 & 1/4 & 1/4 & 1/4 & -1/2 & -1/2 & 0 & 0 & 0 \\ 1/6 & 1/6 & 1/6 & 1/6 & 1/6 & 1/6 & -1/2 & -1/2 & 0 \\ 1/8 & 1/8 & 1/8 & 1/8 & 1/8 & 1/8 & 1/8 & 1/8 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{B} = \begin{pmatrix} 1/2 & -1/2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/2 & -1/2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/2 & -1/2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/2 & -1/2 & 0 \\ 1/2 & 1/2 & -1/2 & -1/2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1/3 & 1/3 & 1/3 & 1/3 & -2/3 & -2/3 & 0 & 0 & 0 \\ 1/4 & 1/4 & 1/4 & 1/4 & 1/4 & 1/4 & -3/4 & -3/4 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

On peut en premier lieu noter que ces matrices vérifient la condition  ${}^t\mathbf{A} = \mathbf{B}^{-1}$ , bien que celle-ci ne soit nullement une caractéristique de l'invention. Avant d'examiner le schéma-bloc de l'exemple de dispositif selon l'invention, il est utile d'étudier la configuration applicable à la détermination des matrices inductance et résistance transformées et la configuration applicable à la détermination de la matrice capacité et conductance transformées.

La figure 1 représente un schéma de principe de la configuration de l'exemple de dispositif selon l'invention (1),

lorsqu'il est utilisé pour la détermination des matrices inductance et résistance transformées. Une section (100) de câble à caractériser, par exemple d'une longueur de 10 m, est installée au dessus d'un conducteur de référence (200) qui est

5 par exemple un plan de masse. La terminaison éloignée (201) est un court-circuit. Le réseau des huit transformateurs (11) (12) (13) (14) (15) (16) (17) (18), que nous pouvons considérer idéaux dans la mesure où nous présentons un schéma de principe, possède 9 sorties aux bornes de chacune desquelles sont

10 connectées des sources de courant réglables (21) (22) (23) (24) (25) (26) (27) (28) (29) délivrant un signal sinusoïdal à une fréquence de par exemple 300 kHz. Le spécialiste voit quels sont les rapports de transformation à donner aux différents enroulements de transformateurs pour que, comme représenté sur

15 la fig. 1, les tensions aux bornes des sources de courant (21) à (29) soient respectivement les tensions transformées  $v_{s1}$  à  $v_{s9}$ . Le spécialiste constatera également que, pour la raison exposée plus haut, il obtient alors que les courants circulant dans les sources de courant (21) à (29) sont respectivement les

20 courants transformés  $i_{s1}$  à  $i_{s9}$ . Pour déterminer les matrices transformées  $\mathbf{L}_s$  et  $\mathbf{R}_s$ , il suffit donc de réaliser 9 expériences numérotées de 1 à 9, l'expérience numéro  $j$  consistant à injecter un courant de par exemple 10 mA avec la source de courant correspondant à  $i_{sj}$ , en réglant les autres sources de courant

25 pour qu'elles fournissent un courant nul, la colonne  $j$  des matrices transformées  $\mathbf{L}_s$  et  $\mathbf{R}_s$ , pouvant être déterminée de façon évidente par la mesure (par un dispositif non représenté) de l'amplitude des 9 tensions transformées  $v_{s1}$  à  $v_{s9}$ , et de leurs déphasages respectifs par rapport au courant transformé  $i_{sj}$ .

30 La figure 2 représente un schéma de principe de la configuration de l'exemple de dispositif selon l'invention (1), lorsqu'il est utilisé pour la détermination des matrices capacité et conductance transformées. Une section (100) de câble à caractériser, par exemple de la même longueur de 10 m

35 que précédemment, est installée au dessus du même conducteur de référence (200). La terminaison éloignée (202) est un circuit ouvert. Le réseau des huit transformateurs (11) (12) (13) (14) (15) (16) (17) (18) est le même que celui de la figure 1, ses neuf sorties étant à présent connectées à des sources de

tension réglables (31) (32) (33) (34) (35) (36) (37) (38) (39) délivrant un signal sinusoïdal à une fréquence de par exemple 100 kHz. De façon similaire à la situation précédente et comme représenté sur la fig. 2, les tensions aux bornes des sources de tension (31) à (39) sont respectivement les tensions transformées  $v_{s\ 1}$  à  $v_{s\ 9}$ , et les courants circulant dans ces sources de tension sont respectivement les courants transformés  $i_{s\ 1}$  à  $i_{s\ 9}$ . Pour déterminer les matrices transformées  $\mathbf{C}_s$  et  $\mathbf{G}_s$ , il suffit donc de réaliser 9 expériences numérotées de 1 à 9, l'expérience numéro  $j$  consistant à appliquer une tension de par exemple 1 V avec la source de tension correspondant à  $v_{s\ j}$ , en réglant les autres sources de tension pour qu'elles fournissent une tension nulle, la colonne  $j$  des matrices transformées  $\mathbf{C}_s$  et  $\mathbf{G}_s$  pouvant être déterminée de façon évidente par la mesure (par un dispositif non représenté) de l'amplitude des 9 courants transformés  $i_{s\ 1}$  à  $i_{s\ 9}$ , et de leurs déphasages respectifs par rapport à la tension transformée  $v_{s\ j}$ .

La figure 3 représente un schéma-bloc de l'exemple de dispositif selon l'invention (1). Le câble à caractériser peut être connecté au connecteur (65), et un connecteur (66) permet la connexion du conducteur de référence. Les huit transformateurs (11) (12) (13) (14) (15) (16) (17) (18) sont ici des transformateurs réels, mais leurs rapports de transformation ont par exemple pu être déterminés comme s'ils étaient idéaux. Ce réseau de transformateurs constitue le "dispositif de transformation". Les 9 "modules de mesure" (51) (52) (53) (54) (55) (56) (57) (58) (59), numérotés de 1 à 9, sont munis chacun d'une "entrée câble" ayant deux bornes connectées au réseau de transformateurs comme l'étaient les sources de courant de la fig. 1 et les sources de tension de la fig. 2. Chaque "module de mesure" possède en outre une "entrée source" et une "sortie mesure", et est relié à un bus de commande (non représenté) permettant de déterminer les dits trois comportements différents de l'"entrée câble" de chaque module de mesure, le premier de ces comportements étant celui d'une charge passive de faible impédance, par exemple inférieure à  $1\ \Omega$ , le deuxième de ces comportements étant celui d'une charge passive de forte impédance, par exemple voisine de celle d'une résistance de  $100\ k\Omega$  en parallèle avec une capacité

de 1 pF, le troisième de ces comportements étant celui d'une source de signal, son "entrée source" étant alors reliée à son "entrée câble".

Selon l'exemple de dispositif selon l'invention, le "dispositif de transformation" fournit bien, sur ses 9 sorties reliées aux "modules de mesure" des tensions voisines des tensions transformées lorsque ces sorties sont connectées à des impédances suffisamment élevées (ce qui est le cas pour le deuxième et le troisième comportement de l'"entrée câble" d'un module de mesure), et, lorsque ces sorties sont connectées à des impédances suffisamment faibles (ce qui est le cas pour le premier et le troisième comportement de l'"entrée câble" d'un module de mesure), il fait bien circuler à travers celles-ci des courants voisins des courants transformés.

Le connecteur (61), relié à l'entrée de l'amplificateur (71) permet de recevoir un signal produit par un générateur extérieur. La sortie de l'amplificateur (71) est connectée à l'"entrée source" de tous les "modules de mesure". Le connecteur (62), relié à la sortie de l'amplificateur (72), permet de connecter le dispositif selon l'invention à un instrument permettant de mesurer l'amplitude et le déphasage par rapport au signal reçu par le dispositif selon l'invention à son connecteur (61). Cet instrument peut par exemple être un dispositif possédant une sélectivité en fréquence, ce qui permet de diminuer le niveau du bruit et d'augmenter la dynamique de mesure, comme le savent les spécialistes. A titre d'exemple il est possible d'utiliser un analyseur de réseau vectoriel pour à la fois fournir le signal appliqué au connecteur (61), et mesurer l'amplitude et le déphasage du signal issu du connecteur (62).

Selon l'exemple de dispositif selon l'invention, les "sorties mesure" de tous les modules de mesures sont reliées entre elles et à l'entrée de l'amplificateur (72). Le dit bus de commande permet aussi de déterminer trois comportements différents pour la dite "sortie mesure" d'un "module de mesure", le premier de ces comportements étant celui d'une sortie à haute impédance, le deuxième de ces comportements étant celui d'une sortie analogique à basse impédance délivrant

un signal proportionnel à la tension entre les bornes de son "entrée câble", le troisième de ces comportements étant celui d'une sortie analogique à basse impédance délivrant un signal proportionnel au courant parcourant l'"entrée câble". Le spécialiste voit donc bien comment le bus de commande peut être conçu et utilisé pour que, pour tout nombre entier  $j$  entre 1 et 9 inclus, seul le "module de mesure" numéro  $j$  délivre en sortie un signal soit approximativement proportionnel au courant transformé d'indice  $j$ , soit approximativement proportionnel à la tension transformée d'indice  $j$ , un signal proportionnel à ce signal délivré en sortie étant donc disponible sur le connecteur (62).

Selon l'exemple de dispositif selon l'invention, les signaux du bus de commande peuvent être déterminés par un ensemble de commutateurs, par exemple disposé en face avant de son boîtier. Dans le cas, la succession des opérations et mesures à effectuer pour déterminer les dites matrices transformées peut être contrôlée manuellement.

Selon l'exemple de dispositif selon l'invention, les signaux du bus de commande peuvent être déterminés par un dispositif externe, de façon à automatiser la succession des opérations et mesures à effectuer.

Il est également possible qu'un dispositif selon l'invention incorpore des éléments matériels et logiciels permettant d'automatiser la succession des opérations et mesures à effectuer.

Un dispositif selon l'invention peut permettre la détermination des dites matrices transformées à une fréquence unique. Cette fréquence pourra par exemple être choisie dans la bande de fréquence 1 kHz à 1 GHz.

Un dispositif selon l'invention peut permettre la détermination des dites matrices transformées à une pluralité de fréquences. Dans l'exemple de dispositif selon l'invention, il est clair pour le spécialiste qu'il suffit d'utiliser de façon appropriée le dit générateur extérieur, et les dits

appareils extérieurs servant à mesurer l'amplitude et le déphasage des signaux en sortie. Par exemple, un analyseur de réseau vectoriel utilisé comme il a été dit plus haut permet d'effectuer aisément des mesures à une pluralité de fréquences, 5 par exemple dans la bande de fréquence 1 kHz à 1 GHz.

Selon l'exemple de dispositif selon l'invention, le signal délivré par les "modules de mesure" lorsqu'ils se comportent comme une source de signal est produit par un générateur extérieur, et la mesure de l'amplitude et du déphasage des 10 signaux en sortie des "modules de mesure" est effectuée par un appareil extérieur. Il ne s'agit nullement de caractéristique du dispositif selon l'invention.

Un dispositif selon l'invention peut contenir un ou plusieurs générateurs pouvant générer le signal délivré par 15 les "modules de mesure" lorsqu'ils se comportent comme une source de signal.

Un dispositif selon l'invention peut contenir les circuits permettant la mesure de l'amplitude et du déphasage des signaux en sortie des "modules de mesure".

20 Un dispositif selon l'invention n'étant pas constitué d'éléments idéaux, il peut être utile, pour obtenir la précision attendue, de procéder à sa calibration. Un dispositif selon l'invention peut être prévu pour que soit seulement effectuée une calibration initiale (effectuée par exemple en 25 usine), puis des calibrations périodiques (par exemple annuelles). Un dispositif selon l'invention peut aussi être prévu pour que soit effectuée une calibration après chaque mise sous tension, par exemple après un temps de fonctionnement suffisant pour atteindre l'équilibre thermique des circuits. 30 Une opération de calibration peut par exemple comporter l'utilisation du dispositif selon l'invention connecté successivement à un ou plusieurs échantillons de calibration présentant des matrices impédance et/ou admittance connues. Typiquement, il y aura au moins trois échantillons à utiliser 35 pour une calibration, dont un échantillon de type court-circuit, et un échantillon de type circuit ouvert. Les méthodes permettant d'exploiter les résultats obtenus lors de

l'utilisation du dispositif selon l'invention connecté à des échantillons de calibration, pour améliorer la précision de mesures, sont bien connues des spécialistes. Elles sont par exemple basées sur un modèle des imperfections du dispositif de mesure, les paramètres de ce modèle pouvant être déterminés lors des opérations mettant en oeuvre les échantillons de calibration, la connaissance des valeurs de ces paramètres permettant de corriger par le calcul les résultats obtenus lors d'autres déterminations des matrices transformées caractérisant un câble multipaire.

On pourrait se demander s'il n'eût pas été plus économique de concevoir un dispositif pour la détermination des matrices transformées caractérisant un câble multipaire, n'utilisant par exemple qu'un seul "module de mesure", dont l'entrée eût été successivement commutée aux sorties d'un "dispositif de transformation". Le spécialiste comprend en fait que le choix d'utiliser, dans un dispositif selon l'invention, une pluralité de "modules de mesure" est précisément dicté par le souhait d'obtenir une détermination précise des matrices transformées caractérisant un câble multipaire, grâce au fait que :

- premièrement chaque sortie du dispositif de transformation est en permanence connectée au même "module de mesure", qui présente donc toujours la même impédance pour un comportement donné de son entrée câble, dont l'influence sur la valeur mesurée peut donc facilement être corrigée par calibration,
- deuxièmement cette structure éliminant toute commutation entre les sorties du "dispositif de transformation" et les "entrées câble" des "modules de mesure", elle élimine les couplages indésirables et variables correspondants.

Selon l'exemple de dispositif selon l'invention, nous avons jusqu'à présent envisagé la détermination des matrices transformées  $\mathbf{L}_s$ ,  $\mathbf{R}_s$ ,  $\mathbf{C}_s$  et  $\mathbf{G}_s$  caractérisant le câble, qui met en oeuvre des mesures vectorielles, comme il a été exposé plus haut. Il est également possible de se limiter à la seule connaissance de la matrice constituée du module des éléments de la matrice  $j\omega\mathbf{L}_s + \mathbf{R}_s$ , et de la matrice constituée du module des éléments de la matrice  $j\omega\mathbf{C}_s + \mathbf{G}_s$ , qui ne nécessite que des mesures scalaires, comme il a été exposé plus haut. Dans ce

cas, il serait par exemple possible d'utiliser un analyseur de réseau scalaire pour à la fois fournir le signal appliqué au connecteur (61) et mesurer l'amplitude du signal issu du connecteur (62).

5 Un dispositif selon l'invention peut être tel que l'"entrée câble" des modules de mesure peut se comporter aussi de façons différentes de celles des dits premier de ces comportements, deuxième de ces comportements et troisième de ces comportements, par exemple se comporter comme une  
10 résistance comprise entre 50  $\Omega$  et 600  $\Omega$ . Un tel comportement de ces "entrées câble" permet par exemple, si sa valeur de résistance est bien choisie, de faire fonctionner le dispositif selon l'invention comme une charge adaptée pour certains modes de propagation, comme le comprennent les spécialistes.

15 Un dispositif selon l'invention peut évidemment être employé pour la caractérisation d'un câble de structure différente de celle pour la caractérisation de laquelle il a été prévu. Au titre d'un premier exemple donné à titre non limitatif, un dispositif selon l'invention prévu pour la  
20 caractérisation d'un câble à 4 paires avec un écran, peut être utilisé pour la caractérisation d'un câble à deux paires sans écran. Dans ce cas, les bornes d'entrée non utilisées du dispositif selon l'invention seront, selon le cas, laissées sans connexion, ou bien mises à la masse, et le câble pourra  
25 être complètement caractérisé. Au titre d'un second exemple donné à titre non limitatif, un dispositif selon l'invention prévu pour la caractérisation d'un câble à 4 paires avec un écran, peut être utilisé pour la caractérisation d'un câble à 112 paires avec écran. Dans ce cas, les paires non utilisées du  
30 câble sous test seront, selon le cas, laissées sans connexion, ou bien mises à la masse, ou bien regroupées en une "paire artificielle", et le câble ne pourra être caractérisé que partiellement.

L'invention peut être appliquée à la caractérisation des  
35 câbles multipaires. Plus généralement, l'invention peut être appliquée à la caractérisation de câbles multiconducteurs, ou de multipôle présentant des caractéristiques similaires à celles de ces câbles.

## REVENDEICATIONS

1. Dispositif pour déterminer directement les matrices transformées caractérisant un câble multipaire à  $n$  conducteurs pour une transformation linéaire donnée, le ou les écrans du câble étant comptés parmi ces conducteurs et  $n$  étant supérieur ou égal à 4, caractérisé en ce que:
- 5 - premièrement il comporte un "dispositif de transformation" dont l'entrée est connectée au dit câble et possédant  $n$  sorties ayant chacune deux bornes, ces sorties étant numérotées de 1 à 10  $n$ ,
  - deuxièmement le "dispositif de transformation" comporte au moins  $n - 1$  transformateurs, et pour tout nombre entier  $j$  entre 1 et  $n$  inclus, il fournit sur sa sortie numéro  $j$  une tension approximativement proportionnelle à la tension transformée 15 d'indice  $j$  lorsque cette sortie numéro  $j$  est connectée à une impédance suffisamment élevée, et, lorsque cette sortie est connectée à un dipôle linéaire d'impédance suffisamment faible, il fait circuler à travers ce dipôle un courant approximativement proportionnel au courant transformé d'indice 20  $j$ ,
  - troisièmement il comporte  $n$  "modules de mesure", numérotés de 1 à  $n$ , muni chacun d'une "entrée câble" ayant deux bornes,
  - quatrièmement pour tout nombre entier  $j$  entre 1 et  $n$  inclus, l'"entrée câble" du "module de mesure" numéro  $j$  est relié à la 25 sortie numéro  $j$  du "dispositif de transformation",
  - cinquièmement l'"entrée câble" de chaque module de mesure peut se comporter d'au moins trois façons différentes, le premier de ces comportements étant celui d'une charge passive de faible impédance, le deuxième de ces comportements étant celui d'une charge passive de forte impédance, le troisième de 30 ces comportements étant celui d'une source de signal,
  - sixièmement pour tout nombre entier  $j$  entre 1 et  $n$  inclus, le "module de mesure" numéro  $j$  peut délivrer en sortie, soit simultanément soit consécutivement, un signal approximativement 35 proportionnel au courant transformé d'indice  $j$  et un signal approximativement proportionnel à la tension transformée d'indice  $j$ .

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que le "dispositif de transformation" possède aussi une borne d'entrée destinée à être connectée à un conducteur de référence.

5 3. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que la transposée de la matrice qui multipliée au vecteur-colonne des tensions naturelles donne le vecteur-colonne des tensions transformées est égale à l'inverse  
10 naturels donne le vecteur-colonne des courants transformés.

4. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que premièrement chaque "module de mesure" possède une "entrée source" et une "sortie mesure",  
15 deuxièmement les "entrée source" de tous les "modules de mesure" sont connectées entre elles, troisièmement les "sorties mesure" de tous les modules de mesures sont reliées entre elles.

5. Dispositif selon la revendication 4, caractérisé en ce que chaque "module de mesure" est relié à un bus de commande  
20 permettant premièrement de déterminer les dits trois comportements différents de l'"entrée câble" de chaque module de mesure, et deuxièmement de déterminer trois comportements différents pour la dite "sortie mesure" d'un "module de mesure", le premier de ces comportements étant celui d'une  
25 sortie à haute impédance, le deuxième de ces comportements étant celui d'une sortie analogique à basse impédance délivrant un signal proportionnel à la tension entre les bornes de son "entrée câble", le troisième de ces comportements étant celui d'une sortie analogique à basse impédance délivrant un signal  
30 proportionnel au courant parcourant l'"entrée câble".

6. Dispositif selon la revendication 5, caractérisé en ce que les signaux du bus de commande peuvent être déterminés par un ensemble de commutateurs.

7. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 5 à 6,  
35 caractérisé en ce que les signaux du bus de commande peuvent être déterminés par un dispositif externe, de façon à

automatiser la succession des opérations et mesures à effectuer.

8. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce qu'il incorpore des éléments matériels et  
5 logiciels permettant d'automatiser la succession des opérations et mesures à effectuer.

9. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce qu'il permet la détermination des dites matrices transformées à une pluralité de fréquences.

10 10. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce qu'il contient premièrement un ou plusieurs générateurs pouvant générer le signal délivré par les "modules de mesure" lorsqu'ils se comportent comme une source de signal et deuxièmement les circuits permettant la mesure de  
15 l'amplitude et du déphasage des signaux en sortie des "modules de mesure".

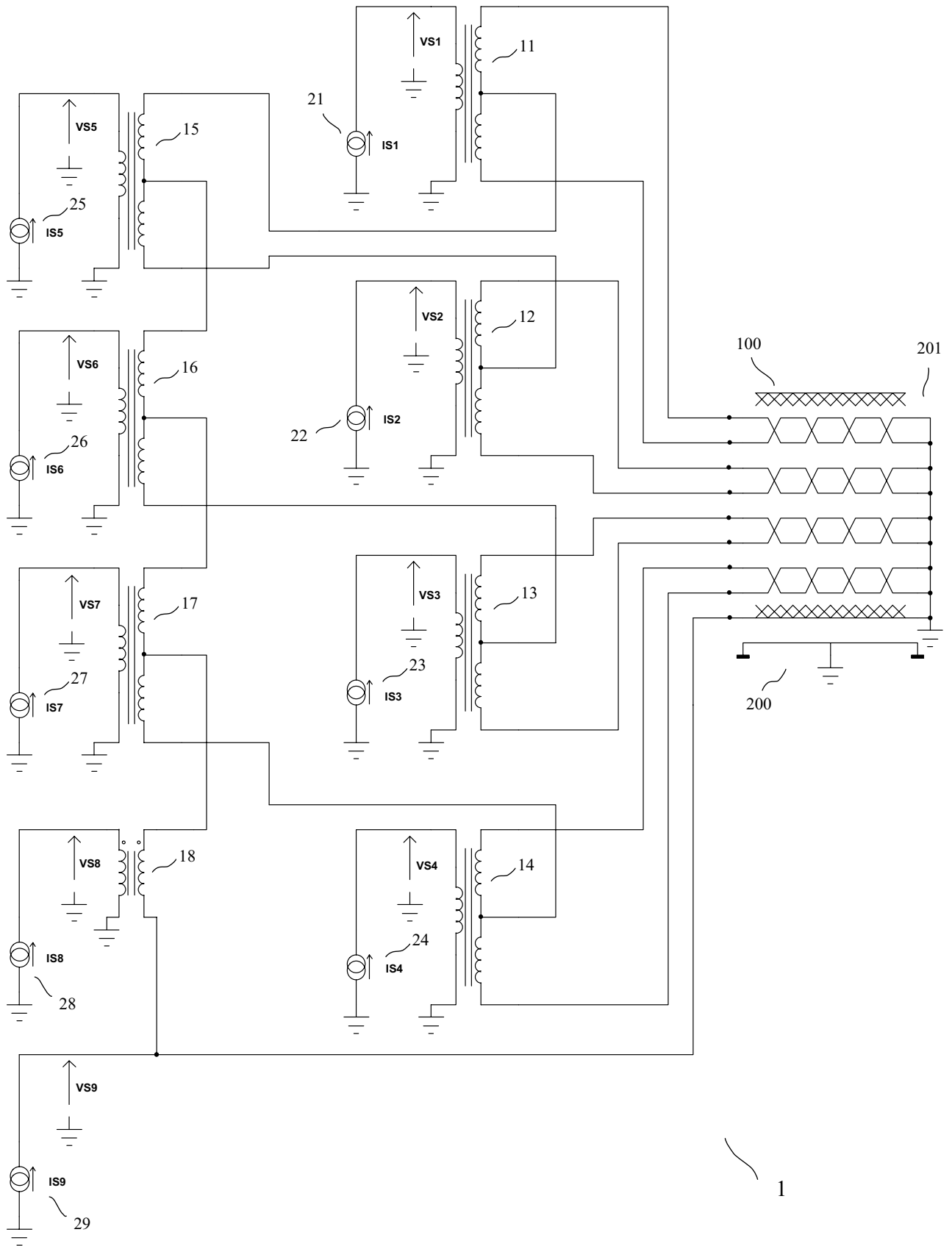


FIG. 1

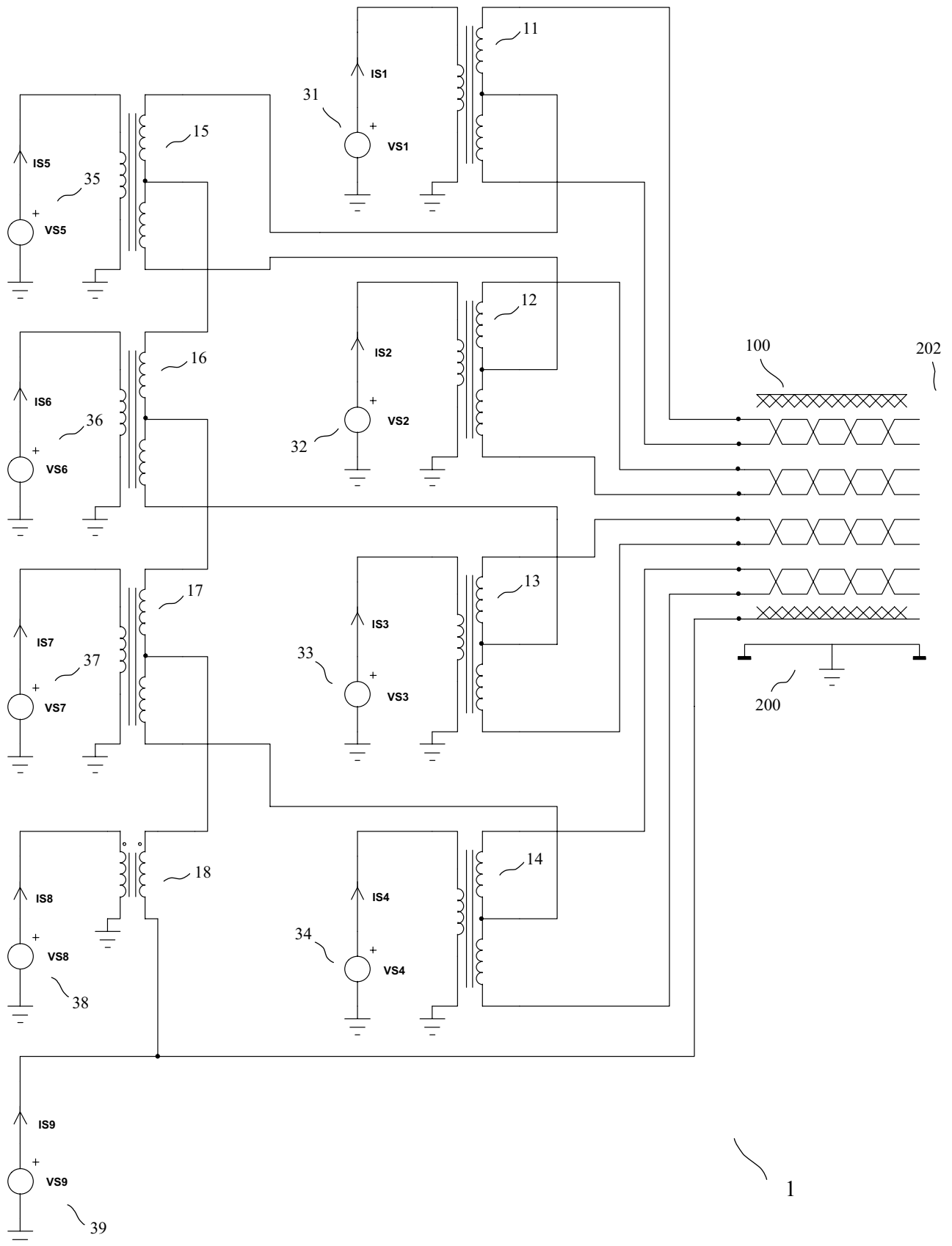


FIG. 2

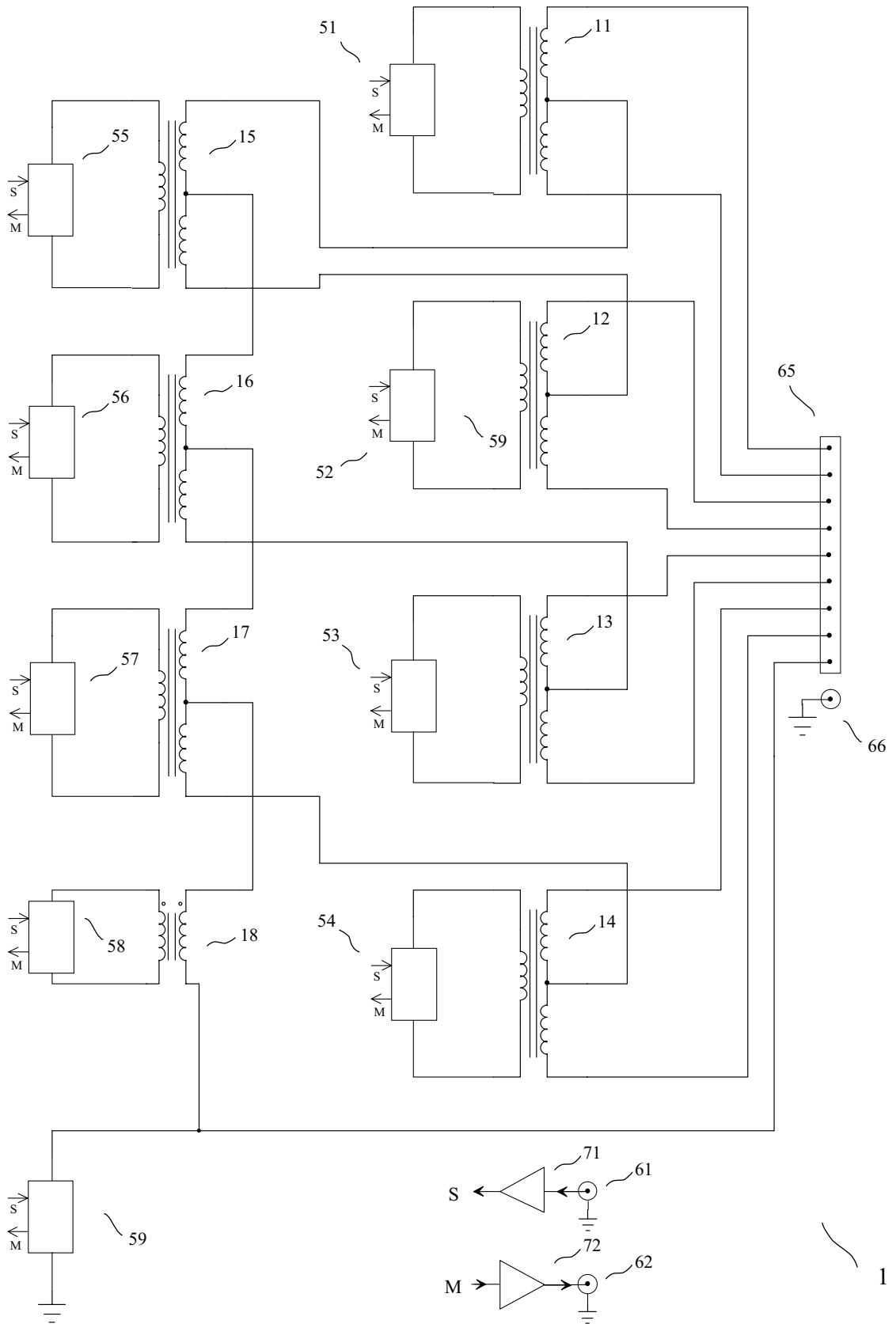


FIG. 3