OPIC
Office de la propriété intellectuelle du Canada

CIPO
Canadian Intellectual Property Office

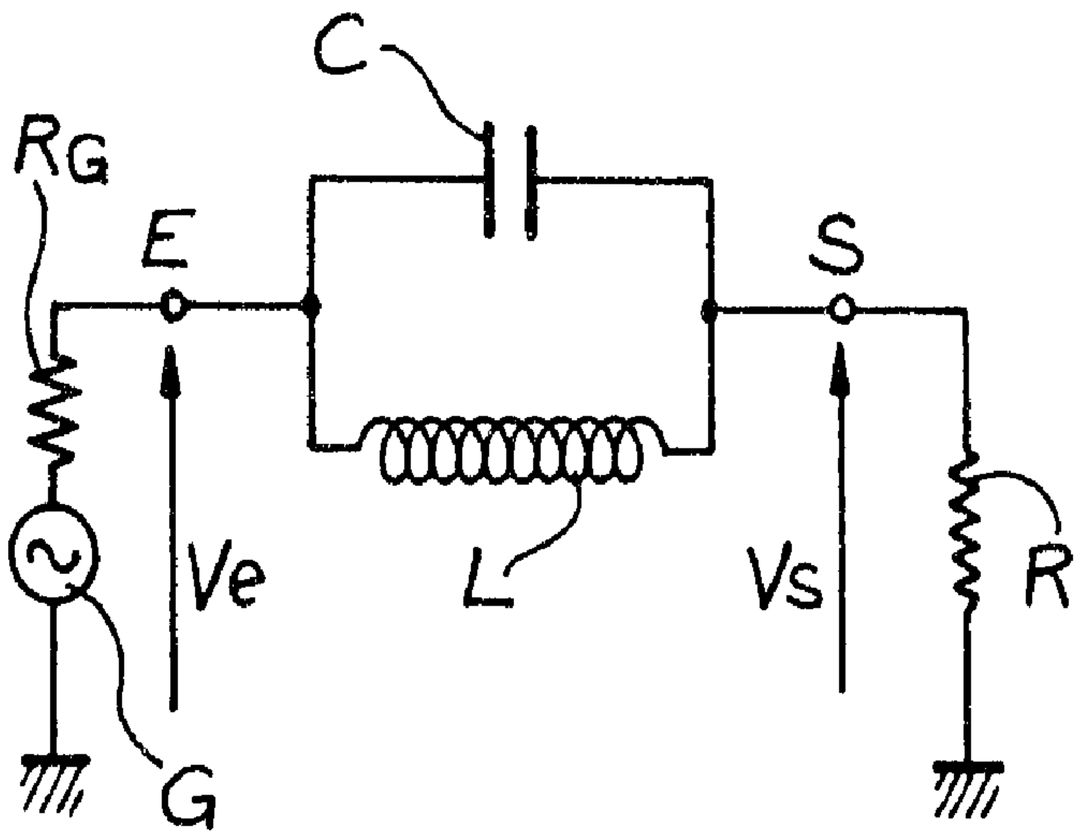
(12) (19) (CA) **Brevet-Patent**

(11) (21) (C) **2,027,885**
(22) 1990/10/17
(43) 1991/04/20
(45) 2000/08/22

(72) Havot, Henri, FR
(72) Dutertre, Yvon, FR
(73) ÉTAT FRANÇAIS représenté par le Ministre des Postes, des Télécommunications et de l'Espace (Centre National d'Études des Télécommunications), FR
(73) TELEDIFFUSION DE FRANCE, FR

(51) Int.Cl.[5] H03H 7/01
(30) 1989/10/19 (89 13687) FR

(54) **CELLULE DE FILTRAGE ET FILTRE CORRESPONDANT**
(54) **FILTER CELL AND FILTER THEREFOR**



(57) Cellule de filtrage et filtre correspondant. L'une des réactances de la cellule de filtrage est corrigée par une réactance de type opposé. Application au filtrage.

2027885

ABREGE DESCRIPTIF

Cellule de filtrage et filtre correspondant.
L'une des réactances de la cellule de filtrage est corrigée par une réactance de type opposé.
Application au filtrage.

Fig. 4

DESCRIPTION

CELLULE DE FILTRAGE ET FILTRE CORRESPONDANT

La présente invention a pour objet une cellule de filtrage et un filtre correspondant. Elle trouve de multiples applications en électronique et notamment dans la réalisation de filtres réjecteurs, de filtres passe-bas ou de filtres passe-haut. Cette technique de filtrage peut s'appliquer en particulier dans les réseaux câblés de vidéocommunications lorsqu'il s'agit de filtrer certains canaux de télévision.

L'invention s'applique à tous les filtres comprenant une ou des cellules comprenant un circuit résonnant composé d'au moins une réactance d'un premier type inductif ou capacitif (cette réactance étant donc soit une inductance soit un condensateur) et d'au moins une réactance d'un second type opposé au premier, capacitif ou inductif (et consistant donc en un condensateur ou une inductance). De telles cellules peuvent être disposées en série, ou en parallèle, avec des structures en π, en T, en treillis, etc... Cependant, pour simplifier la description qui va suivre, on s'en tiendra aux cellules de type résonnant-parallèle, montées en série sans qu'il s'agisse d'une limitation de la portée de l'invention.

Une cellule de filtrage de type résonnant-parallèle selon l'art antérieur est représentée sur la figure 1 annexée. Cette cellule comprend un condensateur C et une inductance L formant un circuit résonnant à la fréquence $Fo=1/2\pi\sqrt{LC}$. Une entrée E est reliée à un générateur G d'impédance de sortie R_G et une sortie S à une charge R. Les tensions à l'entrée E et à la sortie S sont notées respectivement

Ve et Vs.

La réponse théorique d'un tel filtre est représentée sur la figure 2A. Sur l'axe des ordonnées est portée l'atténuation A, c'est-à-dire le rapport Vs/Ve, compté en décibels (ce rapport est négatif). L'axe des abscisses correspond à la fréquence F. A la fréquence Fo, l'atténuation est en principe infiniment grande.

En réalité, les composants utilisés pour constituer une telle cellule ne sont pas parfaits et l'inductance, en particulier, possède une résistance qui est loin d'être négligeable. L'amortissement qui en résulte a pour effet de modifier sensiblement la courbe d'atténuation, qui prend alors l'allure représentée sur la figure 2B. Il existe toujours une fréquence où l'atténuation est maximale (en valeur absolue), mais cette atténuation a une valeur finie (par exemple 20 ou 30 dB). Elle peut se révéler insuffisante dans la pratique lorsqu'il s'agit d'obtenir une réjection efficace ou d'obtenir une coupure nette.

On sait corriger une cellule LC parallèle montée en série en scindant le condensateur en deux et en connectant au point milieu ainsi obtenu une résistance reliée à la masse. La réjection obtenue est importante mais les pertes en deça et au-delà de la fréquence réjectée sont importantes. De plus, l'adaptation n'est pas satisfaisante.

Les figures 3A à 3F précisent ces questions. La figure 3A d'abord montre l'atténuation d'une cellule particulière LC non corrigée où l'atténuation est portée en ordonnées et la fréquence en abscisses. A la fréquence de réjection, l'atténuation est de - 18 dB. En corrigeant la cellule par une simple résistance on obtient les valeurs de la figure 3B. L'atténuation à la réjection est de - 28 dB. La figure

3C montre de façon plus précise l'atténuation de part et d'autre de la fréquence de réjection pour la cellule LC non corrigée. On obtient par exemple 0,2 dB à 800 MHz et 2 dB à 600 MHz. La figure 3D montre de la même manière cette atténuation pour la même cellule corrigée par une résistance. On obtient une atténuation de 1,2 dB à 800 MHz et 2,5 dB à 600 MHz.

Les figures 3E et 3F montrent la désadaptation de la cellule respectivement non corrigée (-13 dB à 800 MHz) et corrigée par une résistance (-13 dB à 800 MHz).

La présente invention a justement pour but de remédier à ces inconvénients et vise à corriger simplement les filtres existants afin d'obtenir à la fois une atténuation plus grande à la fréquence de résonance Fo et une meilleure adaptation vers les basses fréquences. En d'autres termes, la pente de la droite joignant le point de la courbe d'affaiblissement à la fréquence Fo et le point de cette même courbe à une fréquence plus basse déterminée, est considérablement augmentée par rapport à l'art antérieur.

Après des travaux théoriques et expérimentaux sur les filtres, les inventeurs ont trouvé que le défaut de qualité de l'inductance ou du condensateur n'était pas un handicap insurmontable mais pouvait être corrigé si l'on associait à l'inductance un condensateur de valeur appropriée ou au condensateur une inductance de valeur appropriée. En d'autres termes, l'invention propose de corriger le coefficient de qualité du circuit résonnant et cela soit en agissant sur l'inductance soit en agissant sur le condensateur, soit en agissant sur les deux.

La cellule ayant été ainsi corrigée, les inventeurs ont montré que l'atténuation à la fréquence

de résonance était considérablement augmentée.

Il faut observer que la fréquence correspondant au maximum d'atténuation se trouve légèrement déplacée par l'ajout de la réactance de correction. Si besoin est, on peut toujours corriger cet effet en modifiant la valeur des réactances de la cellule pour ramener la fréquence à la valeur avant correction. Par exemple, dans le cas de la correction de l'inductance, il suffira d'augmenter la valeur du condensateur principal d'une fraction de la capacité du condensateur de correction.

Le perfectionnement apporté par l'invention s'accompagne d'un autre avantage, qui est de parfaire l'adaptation d'impédance de la cellule de filtrage. La partie de l'énergie réfléchie par la cellule tombe en effet, après correction, à une valeur très faible (-20 dB par exemple) pour les fréquences inférieures à la fréquence de résonance. En d'autres termes, le coefficient de réflexion est quasiment nul et le taux d'onde stationnaire proche de l'unité.

On observera que ces hautes performances sont obtenues en dépit de la qualité médiocre de l'inductance ou du condensateur. La cellule de filtrage de l'invention s'accommode donc de composants peu chers.

Par ailleurs, et comme on le comprendra mieux par la suite, l'invention se prête particulièrement bien à la technologie à micro-ruban où les inductances peuvent présenter un coefficient de qualité médiocre sur certains substrats ce qui à tendance à dégrader les performances des filtres.

De façon précise, l'invention a donc pour objet une cellule de filtrage comprenant un circuit résonnant composé d'au moins une première réactance d'un premier type (inductif ou capacitif) et d'au moins

une seconde réactance d'un second type opposé au premier (capacitif ou inductif), cette cellule étant caractérisée par le fait que l'une au moins des deux réactances est séparée en deux parties disposées en série avec un point milieu , et qu'elle comprend une réactance de correction connectée audit point milieu, cette réactance de correction étant de type opposé au type de la réactance sur laquelle la correction a été effectuée, (capacitif si la réactance sur laquelle on agit est de type inductif et inductif si la réactance sur laquelle on agit est du type capacitif), cette réactance de correction devant avoir un coefficient de qualité approprié.

Deux modes de réalisation sont prévus selon que l'on corrige l'inductance (par un condensateur) ou le condensateur (par une inductance).

Bien que le type de cellule employé puisse être quelconque, le type résonnant-parallèle, monté en série semble se prêter particulièrement bien à la mise en oeuvre de l'invention.

Selon l'invention, le condensateur de correction peut être non plus localisé mais réparti.

La présente invention a également pour objet un filtre comprenant une pluralité de cellules de filtrage, ce filtre étant caractérisé par le fait qu'au moins l'une de ces cellules est conforme à l'une quelconque des cellules qui viennent d'être définies.

De toute façon, les caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront mieux à la lumière de la description qui va suivre. Cette description porte sur des exemples de réalisation donnés à titre explicatif et nullement limitatif et elle se réfère à des dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1, déjà décrite, montre une cellule de filtre réjecteur selon l'art antérieur,
- les figures 2A et 2B, déjà décrites, montrent l'atténuation théorique et l'atténuation réellement obtenue avec un filtre de l'art antérieur de la figure 1,
- les figures 3A à 3F, déjà décrites, montrent des courbes de performances de cellules de l'art antérieur avec une résistance de correction,
- la figure 4 montre un filtre selon l'invention dans une variante à cellule de type résonnant-parallèle, montée en série, avec correction sur l'inductance,
- la figure 5 montre l'atténuation obtenue avec un filtre de la figure 4,
- la figure 6 montre un cas pratique de réalisation d'un filtre réjecteur selon l'art antérieur,
- la figure 7 montre un cas pratique de réalisation d'un filtre réjecteur selon l'invention, avec correction sur l'inductance,
- les figures 8 et 9 montrent la réjection du filtre de la figure 6,
- les figures 10 et 11 montrent la réjection du filtre de la figure 7,
- la figure 12 illustre une cellule en π, corrigée selon l'invention,
- la figure 13 montre l'atténuation obtenue avec le filtre précédent,
- la figure 14 montre un filtre réjecteur comprenant trois cellules selon l'invention,

- la figure 15 illustre un mode de réalisation d'une cellule à micro-ruban,
- la figure 16 montre un filtre replié à quatre cellules à micro-ruban.
- la figure 17 montre un filtre selon l'invention dans un mode de réalisation où la correction s'effectue par une inductance connectée entre deux condensateurs,
- les figures 18A, 18B, 18C illustrent les performances obtenues dans le cas du filtre de la figure précédente.

On voit sur la figure 4 une cellule de filtrage selon l'invention, dans le cas particulier d'un circuit résonnant-parallèle monté en série et dans un mode de réalisation correspondant à la correction sur l'inductance. Cette cellule comprend, comme pour la figure 1 déjà décrite, un condensateur C et une inductance de valeur L, cette dernière étant toutefois partagée en deux inductances de valeur L/2 avec un point milieu M. Un condensateur de correction Cc est connecté entre le point milieu M de l'inductance et la terre. Ce condensateur possède, soit intrinsèquement soit par le jeu d'une résistance volontairement connectée en parallèle, une résistance Rc. La valeur de la capacité Cc est prise égale à L/R^2 où L est la somme des deux moitiés de l'inductance (L/2+L/2) et R la valeur de la charge. Quant au coefficient de qualité RcCcw, il est égal à celui de l'inductance soit Lw/r où r est la résistance de l'inductance. La résistance Rc est donc prise égale à L/rCc.

L'atténuation obtenue dans ces conditions est représentée sur la figure 5. A la fréquence Fo, l'atténuation est sensiblement plus grande que dans l'art antérieur (cf Figure 3). Il apparaît en outre

après la fréquence Fo un second pôle ou point de réjection. En général, ces modifications n'ont aucune importance s'il s'agit de couper la fréquence Fo ou d'obtenir un filtre passe-bas.

Les courbes des figures 6 à 11 permettent de mieux apprécier les améliorations apportées par l'invention. La figure 6 correspond tout d'abord à un filtre de l'art antérieur, avec une inductance de 2 µH et un condensateur de 1 nF.

La figure 8 montre les performances de ce filtre. L'axe des abscisses porte la fréquence qui va de 2 MHz à 5,2 MHz. La fréquence centrale est égale à 3,6 MHz. L'axe des ordonnées porte l'atténuation avec une échelle de 5 dB par division.

La courbe A correspond à l'atténuation mesurée. Elle est au mieux égale à -18 dB pour Fo=3,6 MHz. La courbe B correspond à la désadaptation qui, en début de gamme, est de -9 dB.

Le même filtre corrigé par un condensateur de valeur Cc=820 pF avec Rc=330Ω (cf Fig. 7) présente des performances telles qu'illustrées sur la figure 10 avec les mêmes échelles : l'atténuation A' tombe à -40 dB et la désadaptation B' à -20 dB.

Les courbes 9 et 11 permettent de comparer les filtres à composants discrets selon l'art antérieur (Fig. 6) et selon l'invention (Fig. 7). Dans les deux cas, l'axe des abscisses s'étend de 1 MHz à 18 MHz. L'axe des ordonnées porte l'atténuation à raison de 10 dB par division. Un filtre de l'art antérieur présente une atténuation d'environ 18 dB (Fig. 9) alors que le même filtre corrigé selon l'invention, par ajout d'un condensateur, voit son atténuation tomber à -50 dB, ce qui représente une amélioration considérable compte tenu de la modestie de la modification apportée.

L'invention n'est pas limitée aux cellules de type résonnant-parallèle, montées en série, mais s'étend à d'autres types comme les cellules en π dont un exemple est donné figure 12. Une telle cellule comprend trois condensateurs C1, C2, C3, et selon l'invention, une inductance formée de deux demi-inductances L/2, avec un condensateur de correction Cc ayant une résistance parallèle Rc.

La courbe d'atténuation correspondante est représentée sur la figure 13 en trait plein ; la partie en tirets montre la courbe obtenue sans correction, selon l'art antérieur.

L'invention n'est pas limitée non plus à une seule cellule de filtrage mais englobe tout filtre à plusieurs cellules dont l'une au moins est corrigée comme il vient d'être expliqué.

La figure 14 montre ainsi un filtre à trois cellules de filtrage CF1, CF2, CF3, toutes trois conformes à l'invention, avec trois condensateurs de correction Cc1, Cc2, Cc3. Les fréquences de réjection peuvent être toutes différentes. Les coefficients de qualité des condensateurs Cc1, ..., doivent être de valeur identique à celle des coefficients de qualité des inductances associées.

Bien que cette première variante de l'invention puisse être réalisée en composants discrets, il est plus commode, lorsque la plage de fréquence de travail atteint et dépasse le Gigahertz, de réaliser l'inductance du filtre sous forme de micro-ruban conducteur. L'invention se prête particulièrement bien à cette technologie. En effet, dans ce cas et comme représenté sur la figure 15, une cellule de filtrage selon l'invention peut comprendre deux micro-rubans 10 et 12 déposés sur un substrat isolant 14.

Ces deux micro-rubans, qui peuvent être de forme géométrique quelconque, constituent deux demi-inductances, et comprennent en outre un micro-ruban 16. Ce micro-ruban 16 forme, avec un plan de masse 18 déposé sur l'autre face du substrat, le condensateur de correction. Un condensateur discret 19 complète l'ensemble.

On voit donc que, dans cette technologie, le condensateur de correction 16 s'intègre tout naturellement entre les deux demi-inductances 10, 12. Il suffit de régler la largeur du micro-ruban 16 pour obtenir la capacité appropriée Cc.

Plusieurs cellules de ce genre peuvent être mises bout à bout sur un même substrat. On peut aussi replier le substrat comme représenté sur la figure 16. Un substrat 20 est constitué de deux plaquettes isolantes 21 et 22 séparées par un plan conducteur 23. Sur la face avant de la plaquette 21, on trouve deux cellules de filtrage similaires à celle de la figure 15, soit CF1 et CF2. Un trou métallisé 25 (isolé du plan 23) permet d'établir une connexion électrique avec la face arrière de la plaquette 22, laquelle comprend deux cellules analogues à CF1 et CF2 (non visibles sur la figure). L'entrée et la sortie du filtre s'effectuent respectivement par les connecteurs 30 et 32.

Les différents modes de réalisation qui viennent d'être décrits correspondent au cas où c'est sur l'inductance du circuit résonnant que la correction est effectuée et ce, par un condensateur de coefficient de qualité ad hoc. Mais l'invention couvre le cas où c'est sur le condensateur du circuit résonnant que la correction est effectuée et ceci par une inductance associée à une résistance. La cellule correspondante est illustrée sur la figure 17. Le condensateur est scindé en deux condensateurs de valeur

2C connectés en série avec un point milieu M. Entre ce point et la masse sont connectées une inductance de valeur Lc et une résistance de correction Rc en série. Par ailleurs, l'inductance principale L est associée à une résistance R_1, R_1 étant lié au facteur de qualité de L. Les autres moyens sont identiques à ceux de la figure 4.

Les figures 18A, B, C illustrent les performances obtenues. Les résultats illustrés sont à comparer respectivement aux résultats illustrés sur les figures 3B, 3D et 3F relatifs à une cellule de l'art antérieur. On voit en particulier sur la figure 18A une atténuation de -32 dB à la fréquence de réjection (à comparer à -28 dB) ; sur la figure 18B des pertes de 0,4 dB à 800 MHz et de 1,5 dB à 600 MHz (à comparer respectivement à 1,2 et 2,5 dB) ; et enfin, sur la figure 18C, une désadaptation de -26 dB à 800 MHz (à comparer à -13 dB).

Les travaux théoriques et expérimentaux des inventeurs ont montré qu'il existe un large choix pour les valeurs des éléments de correction Lc et Rc. La valeur maximum de Lc est $1/2R_1C^2w_o^3$ et dans ce cas la résistance de correction Rc est égale à L_cw_o. Il faut imposer ensuite $L = \frac{2}{Cw_o^2} - Lc\,\frac{R_1}{Rc}$

Si l'on choisit une valeur de Lc inférieure à la valeur maximale, alors Rc peut prendre deux valeurs :

$$R_{c1} = \frac{1+\sqrt{A}}{2K} \quad \text{ou} \quad R_{c2} = \frac{1-\sqrt{A}}{2K}$$

avec $K = R_1C^2w_o^2$

et $A = 1 - 4K^2Lc^2w_o^2$

et il faut toujours imposer $L = \frac{2}{Cw_o^2} - Lc\,\frac{R_1}{Rc}$

Dans ces relations L et R_1 sont l'inductance du circuit

résonnant avec sa résistance parasite associée qui détermine le coefficient de qualité, C est la capacité du condensateur du circuit résonnant, w_o est la pulsation de résonance choisie avec $w_o = 2\pi Fo$, Fo étant la fréquence de résonance.

REVENDICATIONS

1. Cellule de filtrage comprenant un circuit résonnant composé d'au moins d'une réactance d'un premier type (inductif ou capacitif) et d'au moins une seconde réactance d'un second type opposé au premier (capacitif ou inductif), cette cellule étant caractérisée par le fait que l'une au moins des deux réactances est séparée en deux parties disposées en série avec un point milieu (M), et qu'elle comprend une réactance de correction (Cc, Lc) connectée audit point milieu, cette réactance de correction étant de type opposé au type de la réactance corrigée, (capacitif (Cc) si la réactance corrigée est de type inductif (L/2, L/2) et inductif (Lc) si la réactance corrigée (2C, 2C) est de type capacitif), cette réactance de correction ayant un coefficient de qualité approprié.

2. Cellule de filtrage selon la revendication 1, caractérisée par le fait que la première réactance est de type inductif (inductance) et la seconde de type capacitif (condensateur), l'inductance étant séparée en deux inductances en série (L/2, L/2), et par le fait que la réactance de correction est un condensateur de capacité (Cc) sensiblement égale à L/R^2 où L est la valeur de l'inductance et R la valeur de l'impédance de charge de la cellule et un coefficient de qualité sensiblement égal au coefficient de qualité de l'inductance.

3. Cellule de filtrage selon la revendication 2, caractérisée par le fait qu'elle comprend une seule inductance et un seul condensateur en parallèle, l'ensemble constituant une cellule de type résonnant-parallèle, montée en série.

4. Cellule de filtrage selon la revendication 2, caractérisée par le fait que l'inductance est constituée par deux micro-rubans conducteurs (10, 12) déposés sur une face d'un substrat isolant (14) et que le condensateur de correction est constitué par un micro-ruban conducteur (16) déposé sur ledit substrat (14) entre les deux micro-rubans (10, 12) constituant l'inductance, un plan conducteur (18) étant déposé sur l'autre face du substrat (14).

5. Cellule de filtrage selon la revendication 2, caractérisée par le fait que le condensateur de correction est réparti le long d'au moins une partie de l'inductance corrigée.

6. Cellule de filtrage selon la revendication 1, caractérisée par le fait que la première réactance est de type capacitif (condensateur) et la seconde de type inductif (inductance), la première comprenant deux condensateurs en série (2C, 2C) et par le fait que la réactance de correction est une inductance de valeur Lc associée à une résistance Rc.

7. Cellule de filtrage selon la revendication 6, caractérisée par le fait que la valeur Lc de l'inductance de correction est prise égale sensiblement à $1/2R_1C^2w_o^3$, et la valeur de Rc est prise égale à LCw_o avec $L = \frac{2}{Cw_o^2} - Lc\,\frac{R_1}{Rc}$

où C est la valeur de la première réactance (capacité), L est la valeur de la seconde réactance (inductance) et R_1 la résistance de cette inductance et w_o la pulsation de résonance.

8. Celulle de filtrage selon la revendication 6, caractérisée par le fait que la valeur Lc de l'in-

ductance de correction est prise inférieure à $1/2R_1C^2w_o^3$ et la valeur de Rc est prise égale à l'une des deux valeurs Rc1, Rc2 :

$$Rc1 = \frac{1 + \sqrt{A}}{2K}$$

$$Rc2 = \frac{1 - \sqrt{A}}{2K}$$

avec $K = R_1C^2w_o^2$

$A = 1 - 4K^2Lc^2w_o^2$

et $L = \frac{2}{Cw_o^2} - Lc\frac{R_1}{Rc}$

où C est la valeur de la première réactance (capacité), L est la valeur de la seconde réactance inductance) et R_1 la résistance de cette inductance et w la pulsation de résonance.

9. Filtre comprenant une pluralité de cellules de filtrage, caractérisé par le fait qu'au moins l'une de ces cellules est conforme à la cellule selon l'une quelconque des revendications 1 à 8.

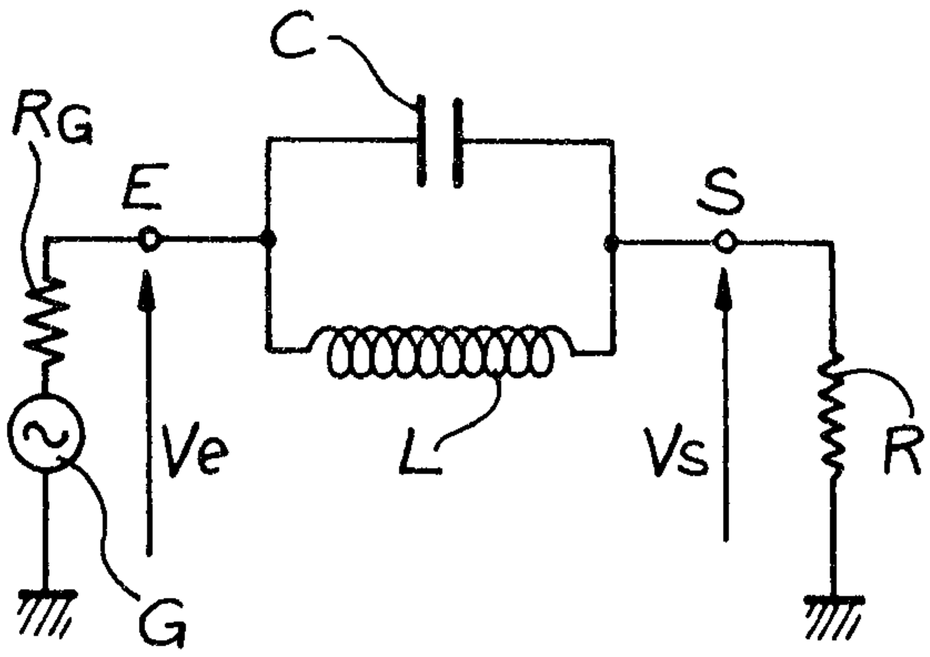


FIG. 1

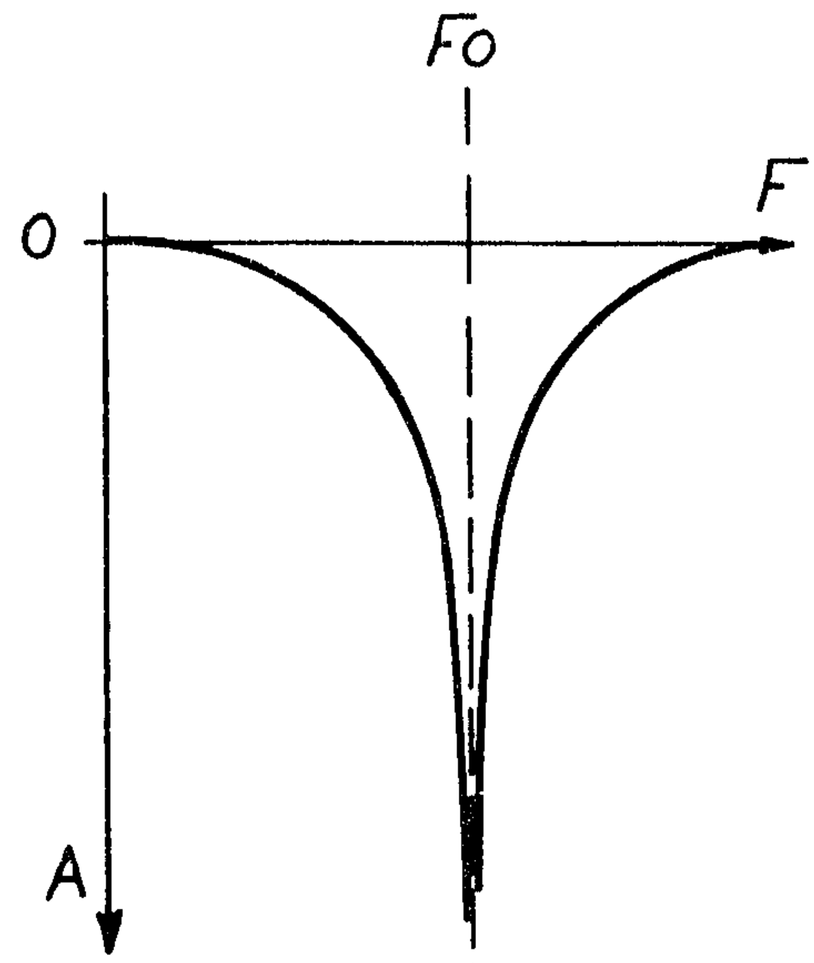


FIG. 2 A

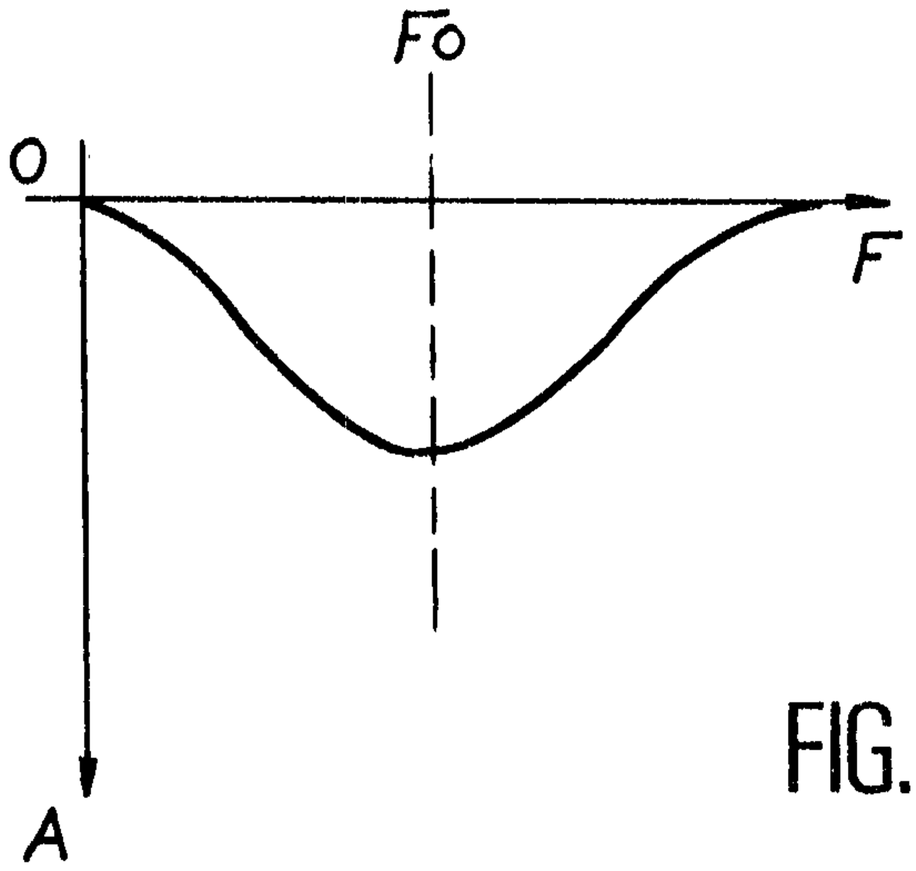


FIG. 2 B

Goodrean Lloyd Dodson & Whittemore Walker

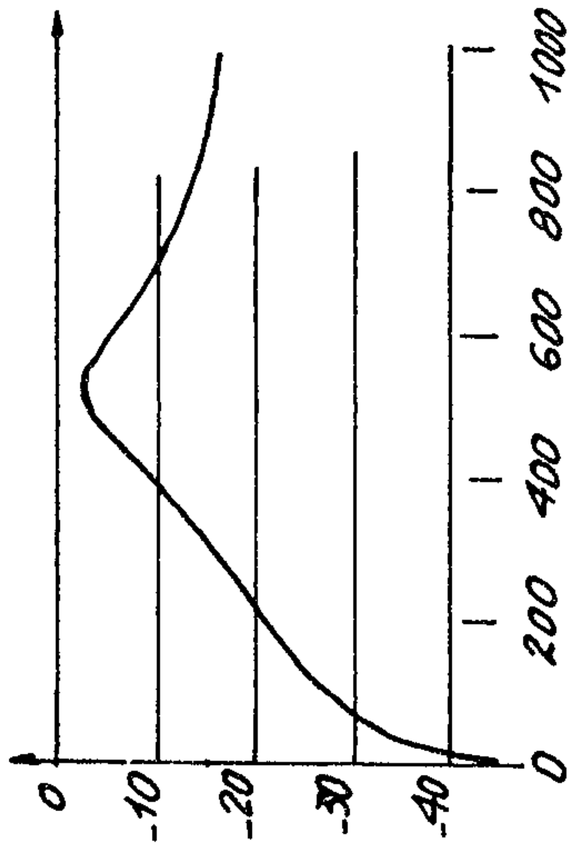


FIG. 3E

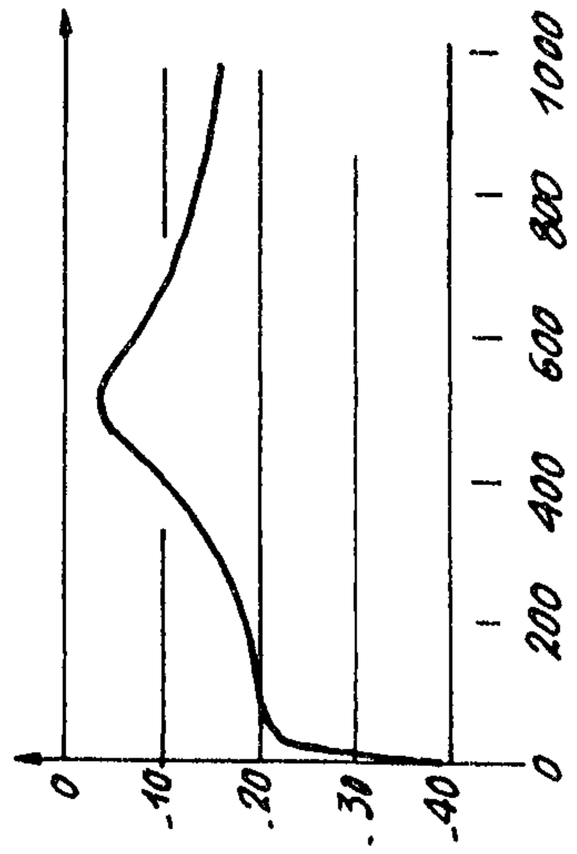


FIG. 3F

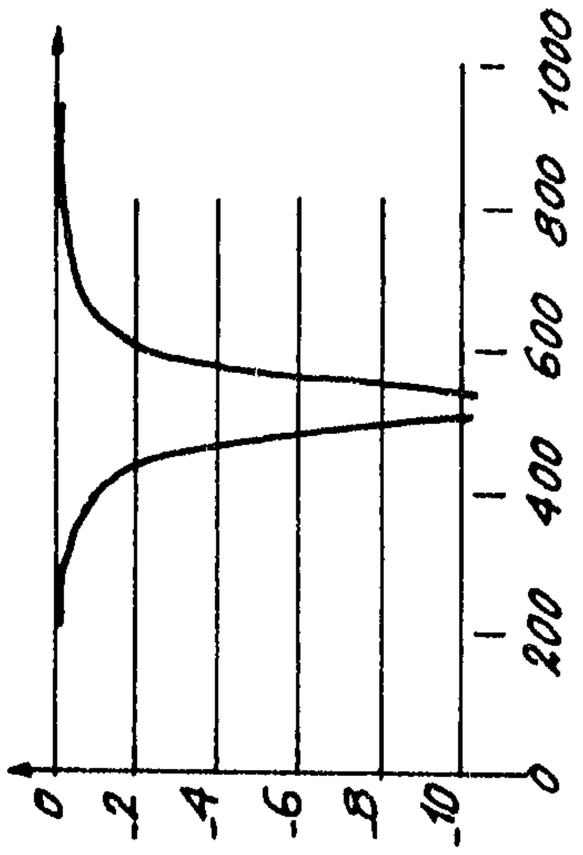


FIG. 3C

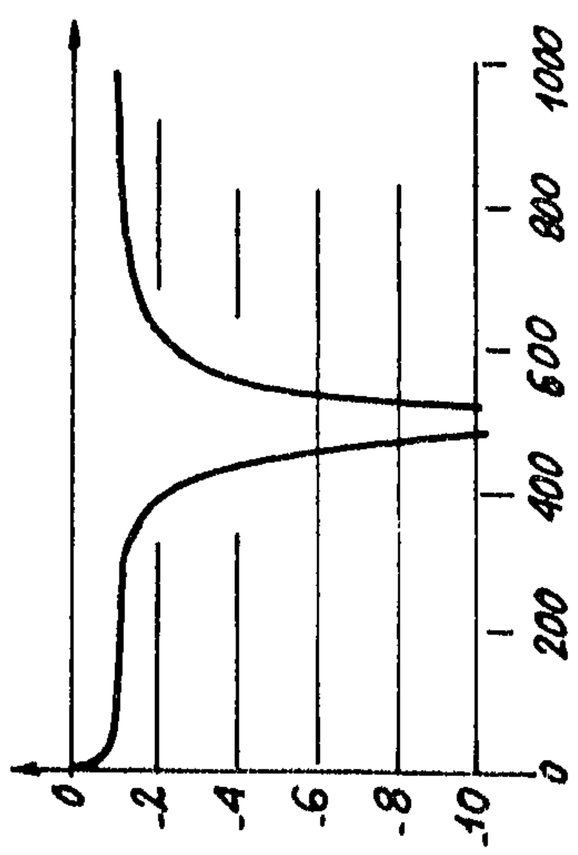


FIG. 3D

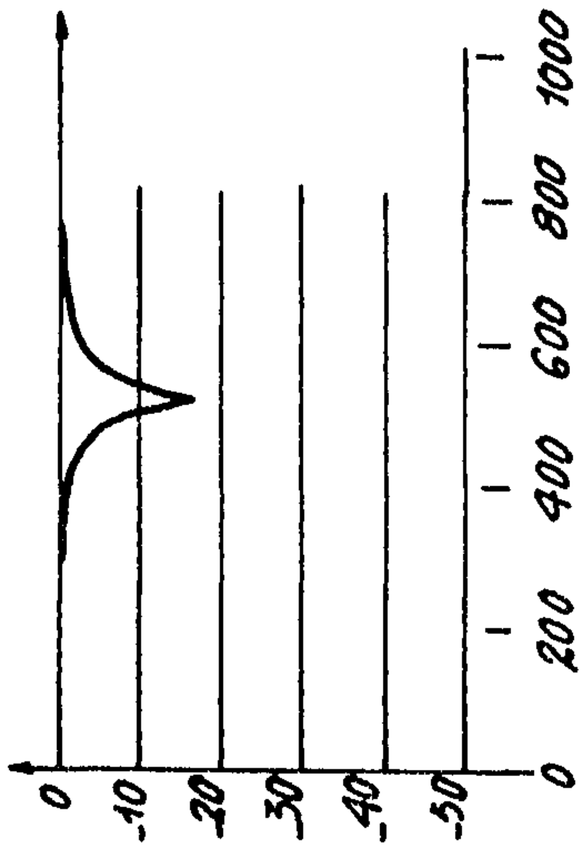


FIG. 3A

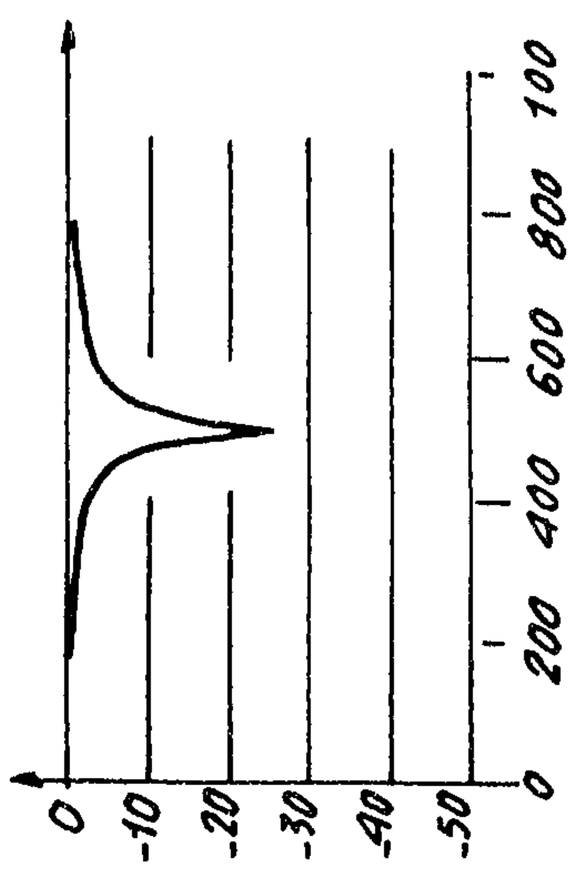


FIG. 3B

Andreas Hage Dahl & Mathiesen Walker

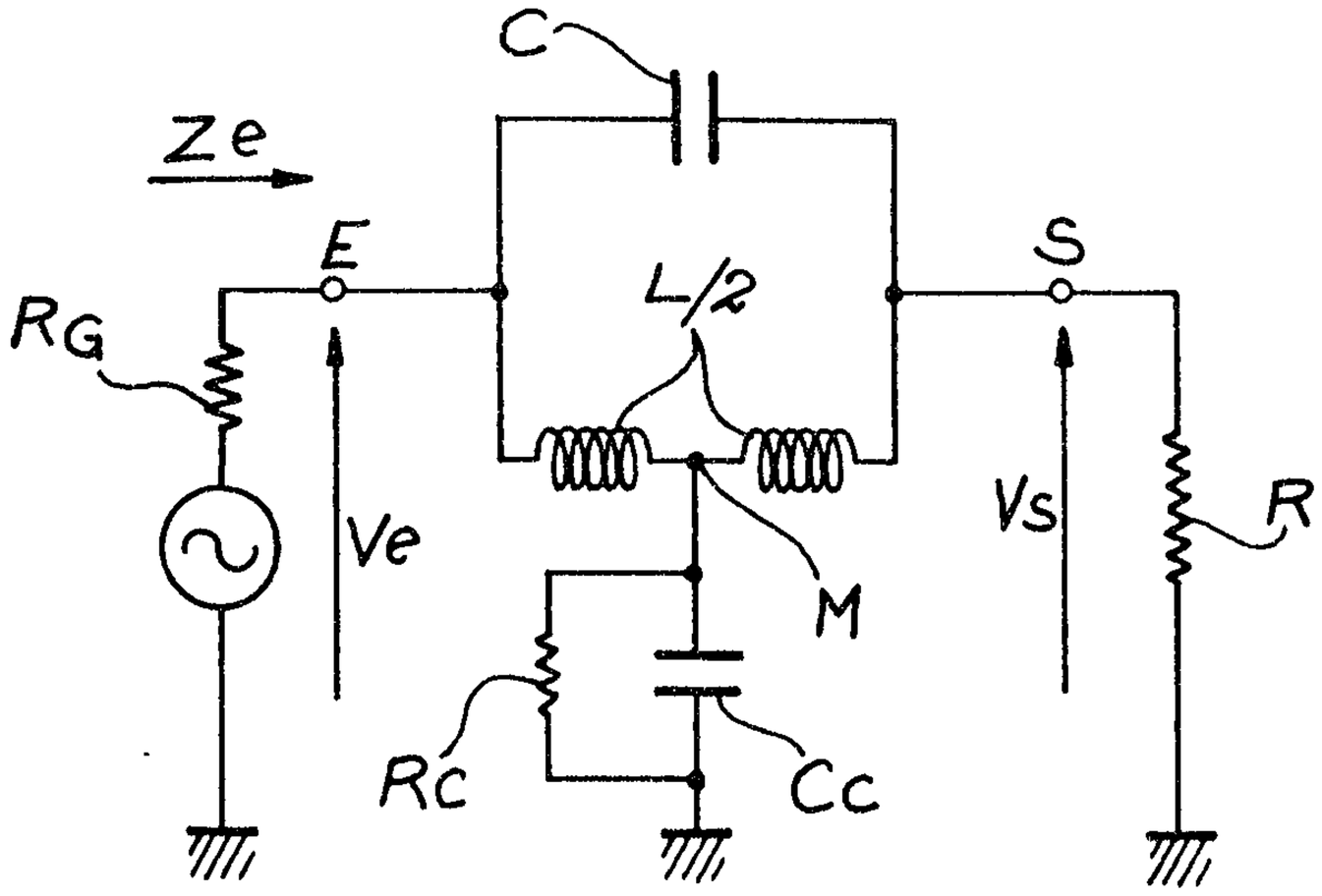


FIG. 4

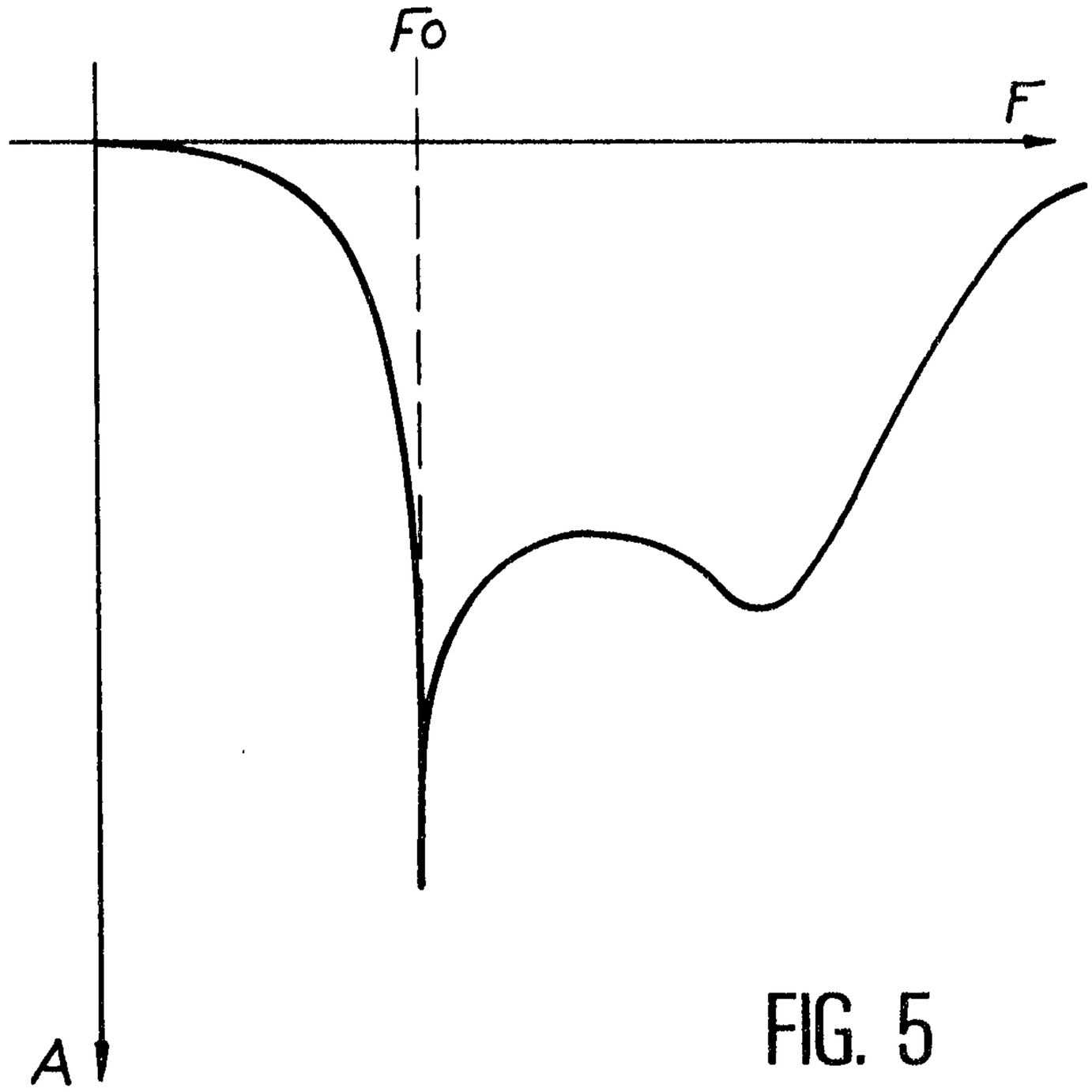


FIG. 5

Goodrean Lloyd Dodge & Patterson Walker

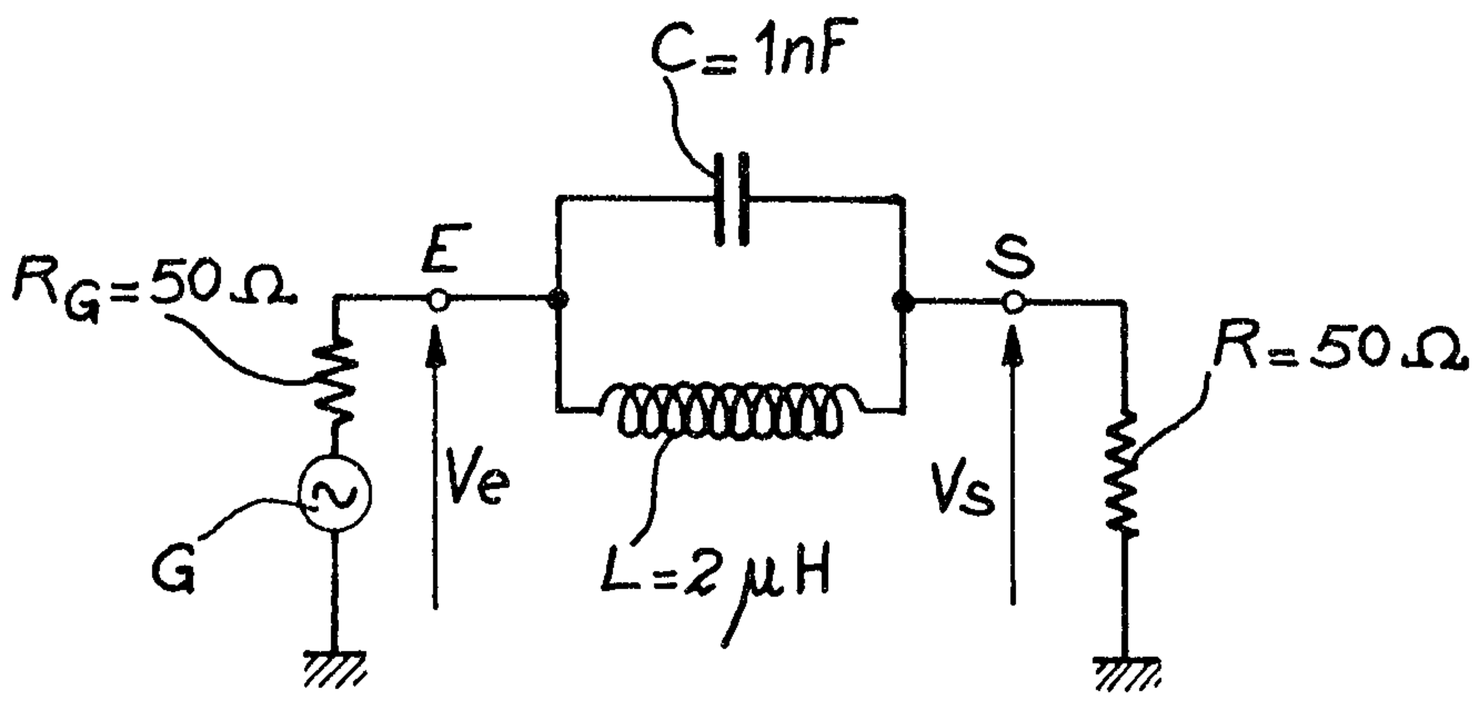


FIG. 6

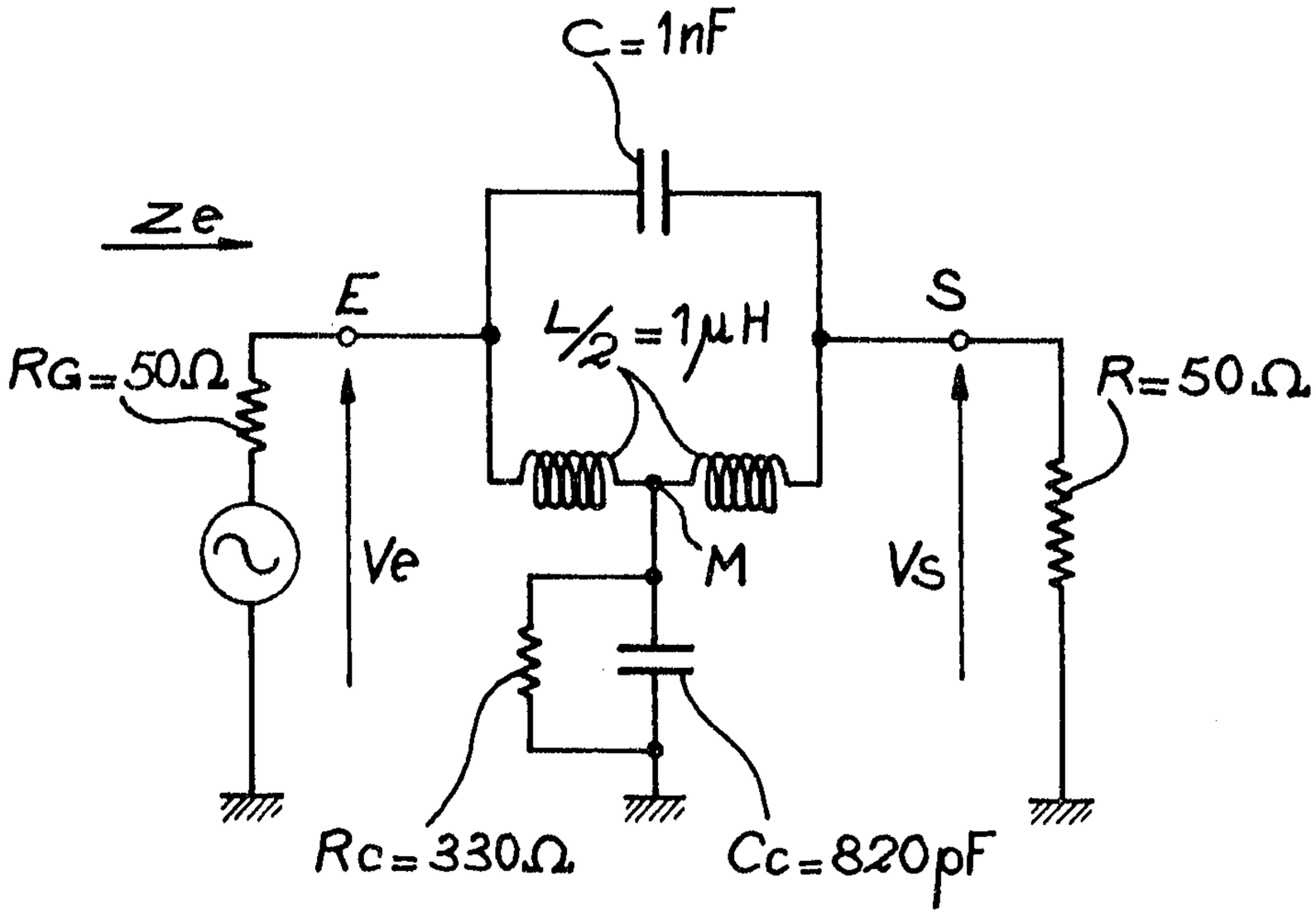


FIG. 7

Soudreau Lage Dubuc & Yvetteman Walker

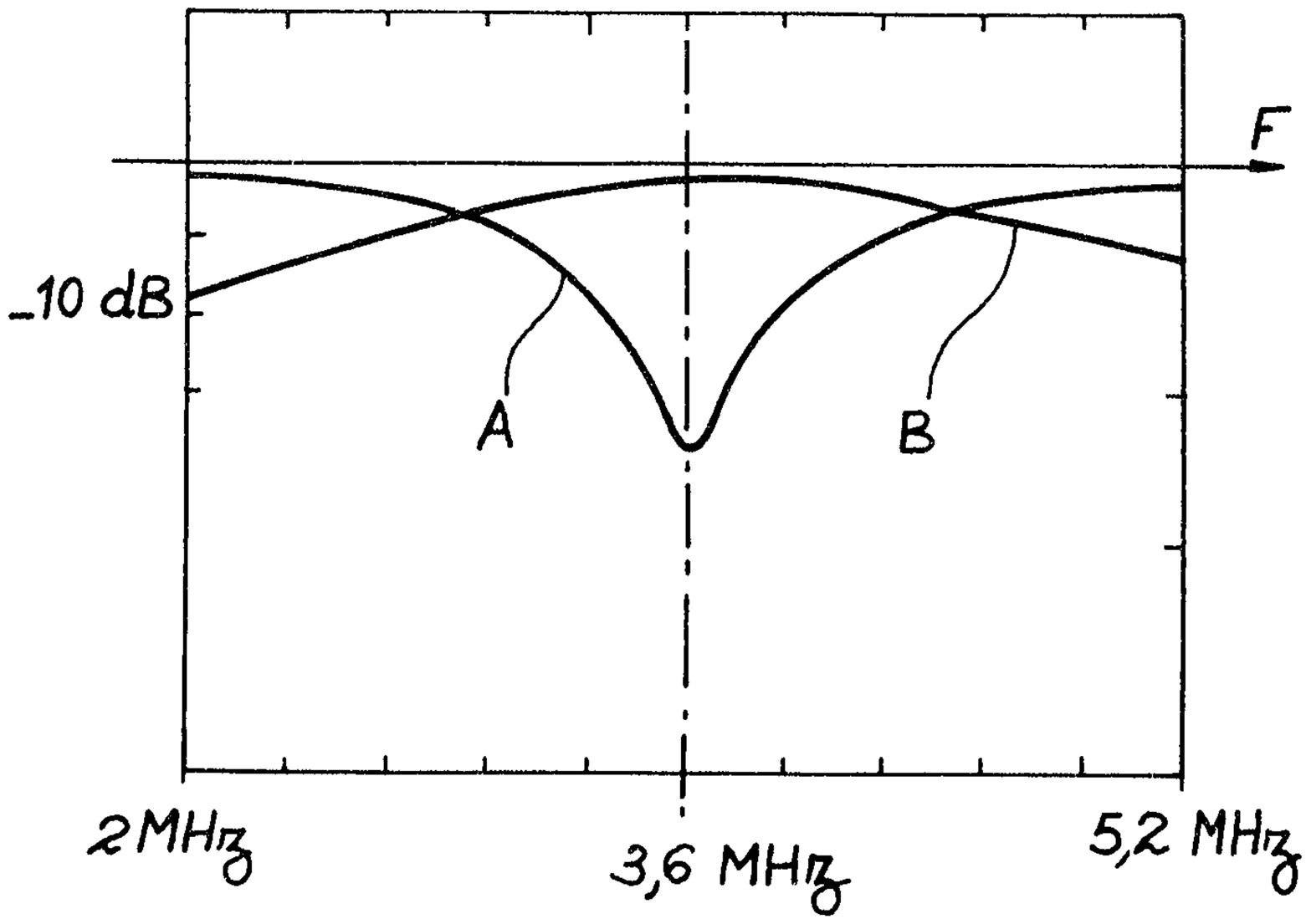
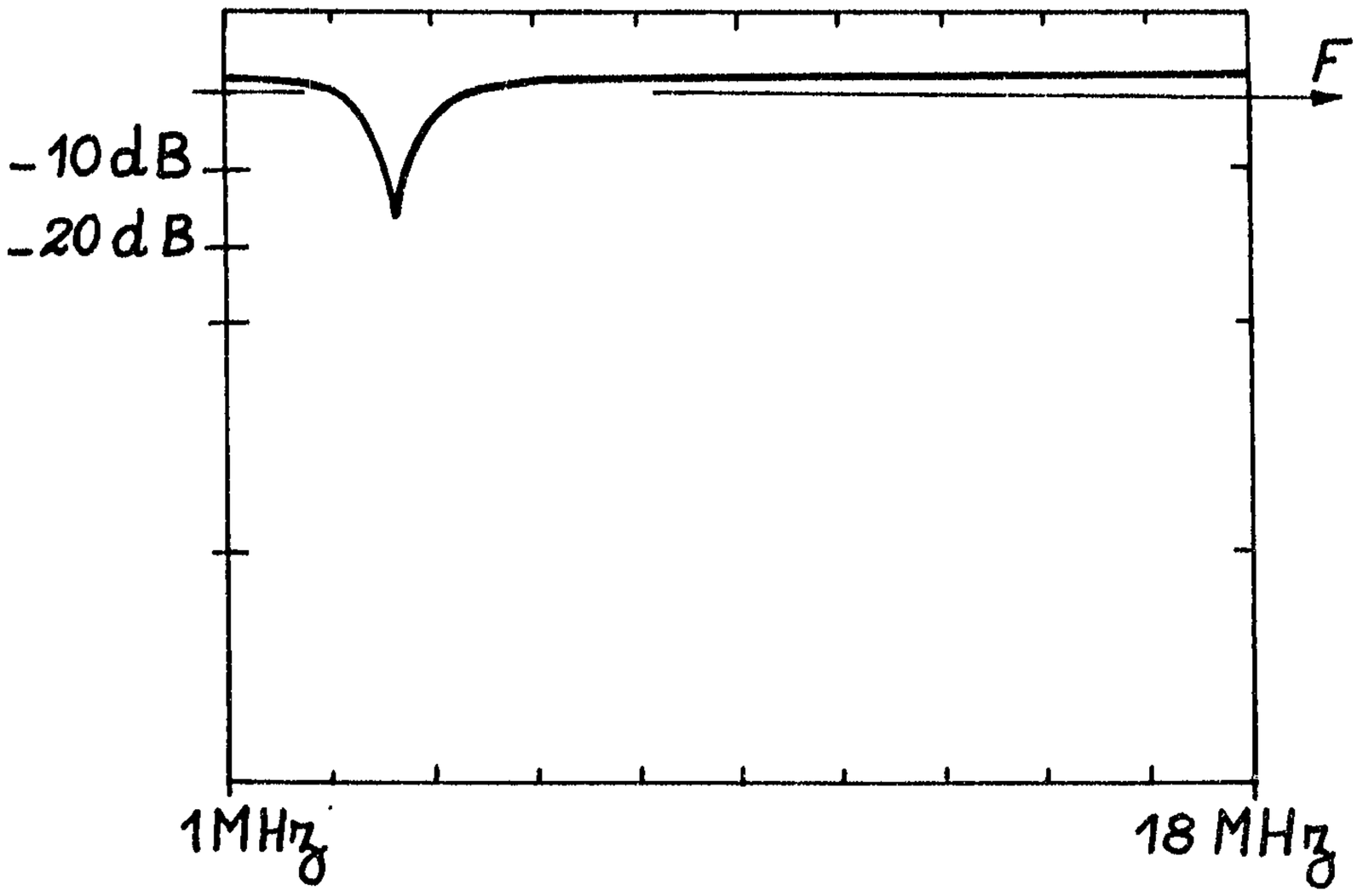


FIG. 8

FIG. 9



Soudreau Lage Dubuc & Hamman Walker

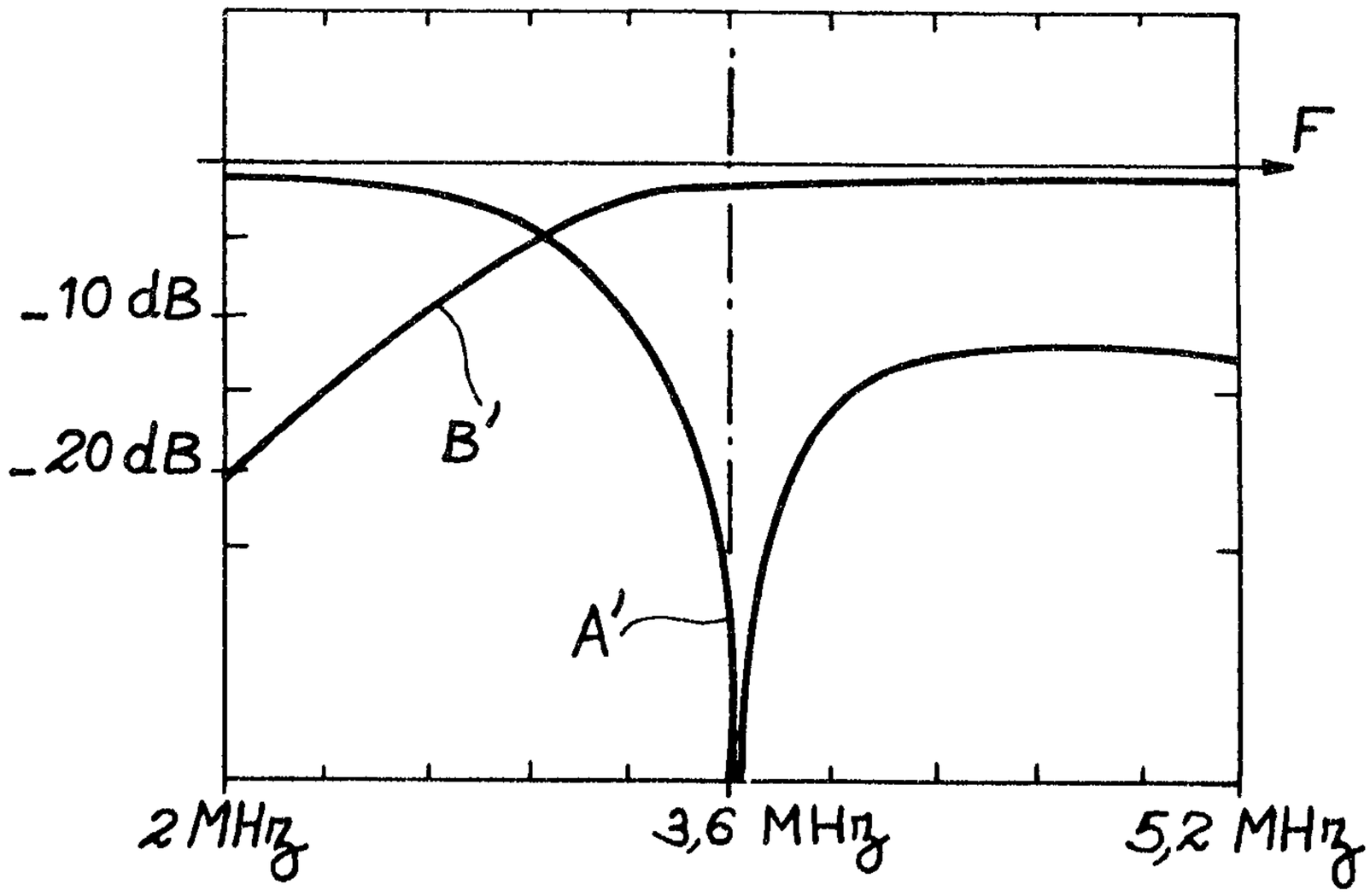


FIG. 10

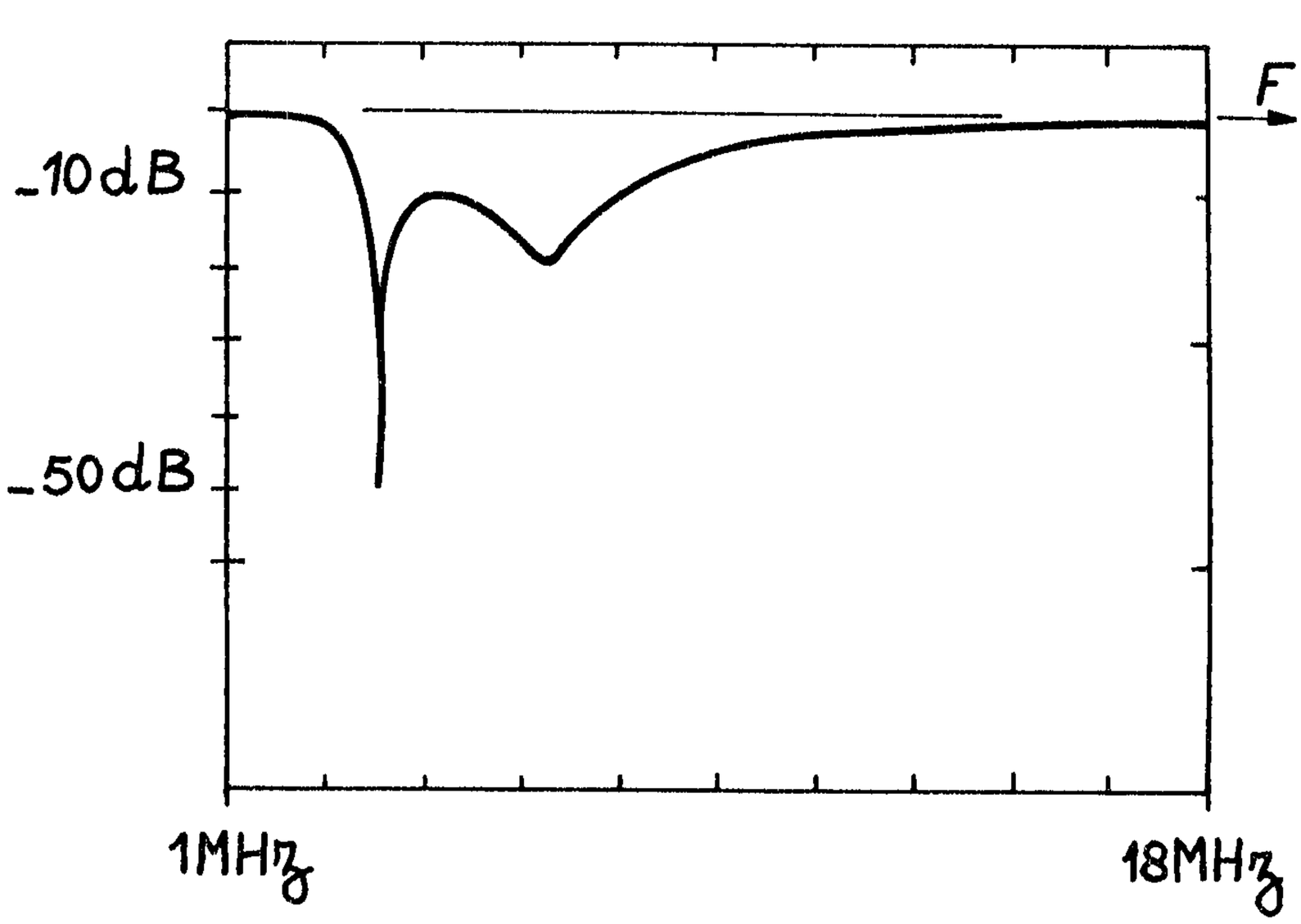


FIG. 11

Lourdeau Beja Dubuc & Pinsonneau Walker

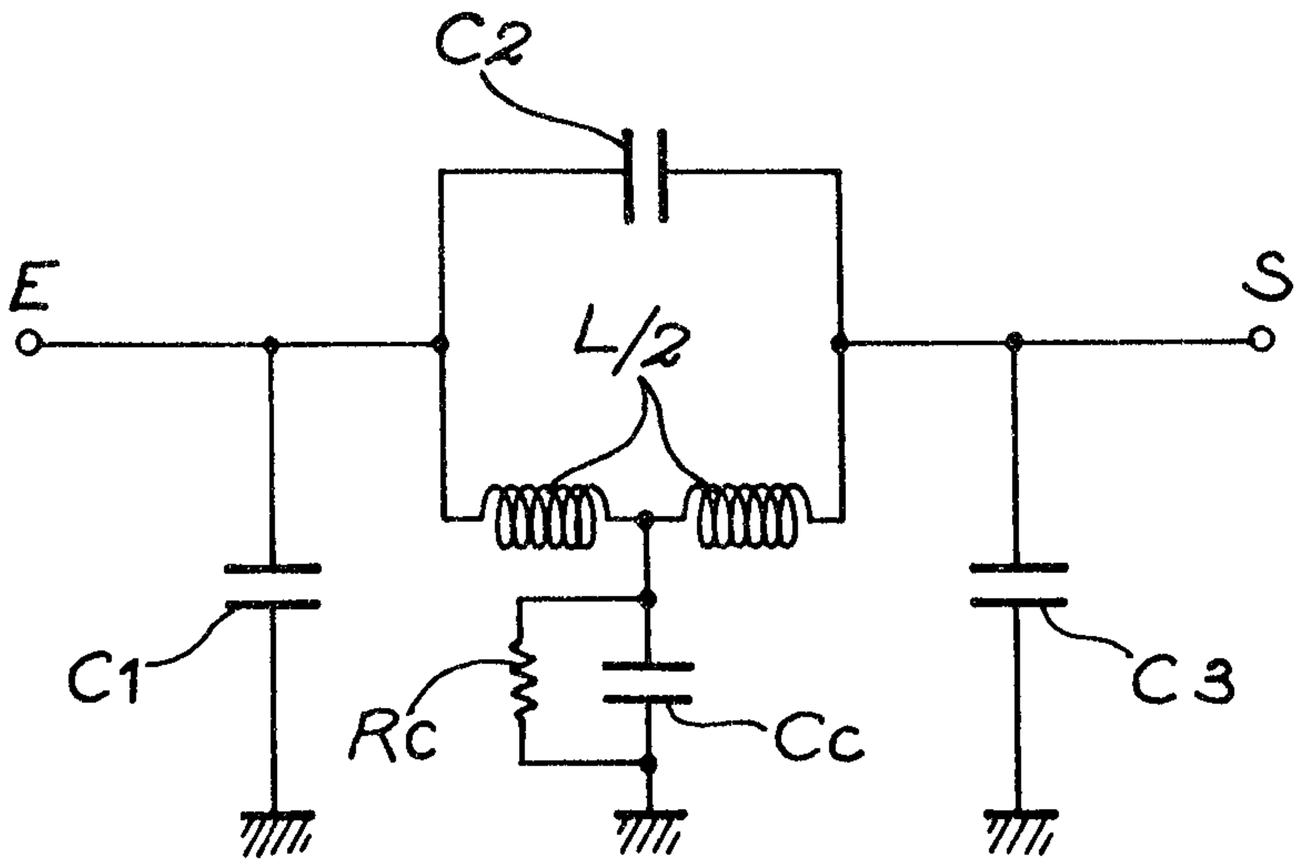


FIG. 12

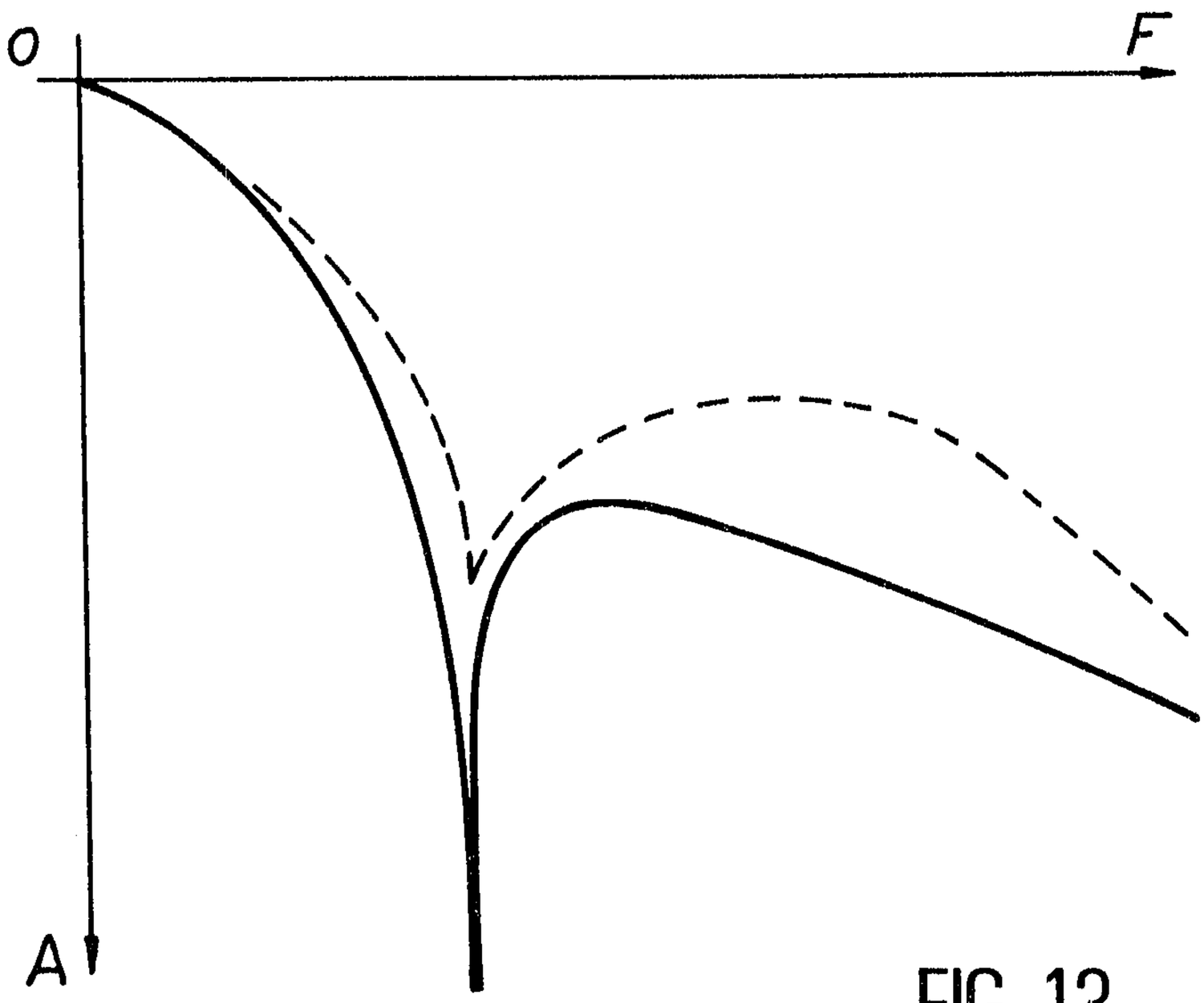


FIG. 13

Lawrence Page Dacres & Nicholson Walker

2027885

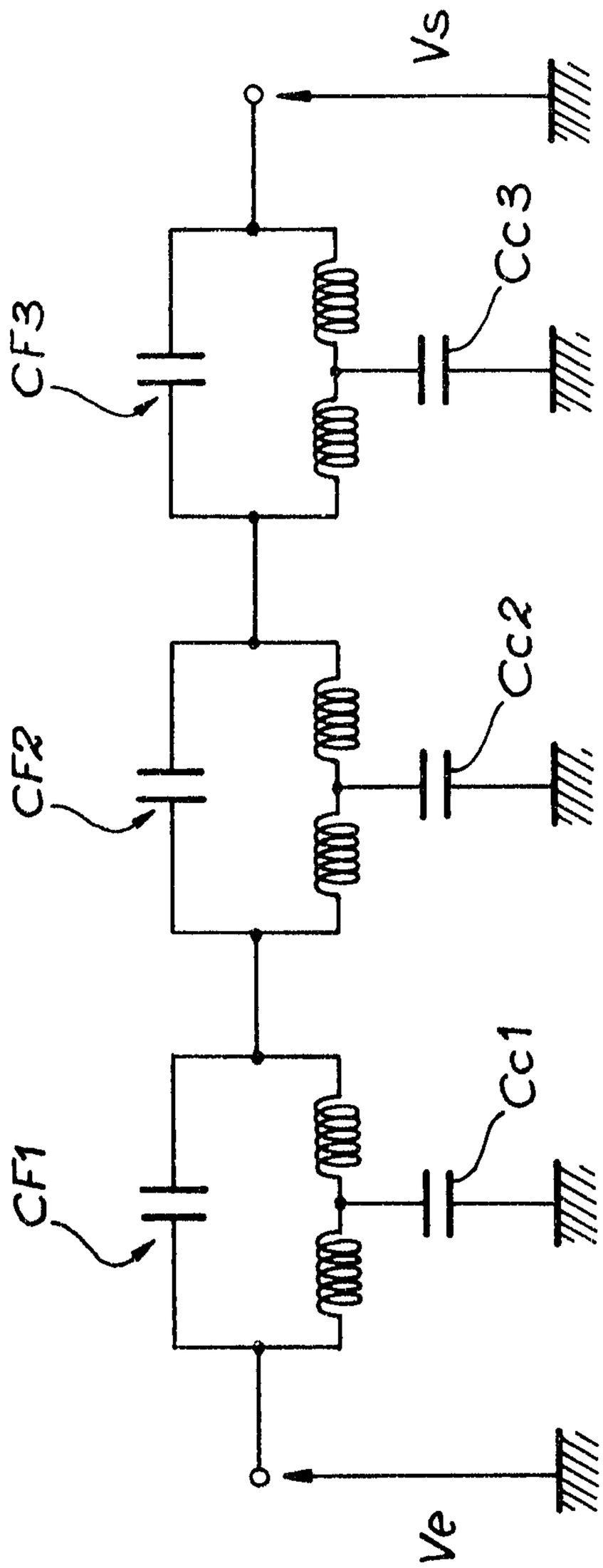


FIG. 14

Soudreau Page Davies & Matthews Walker

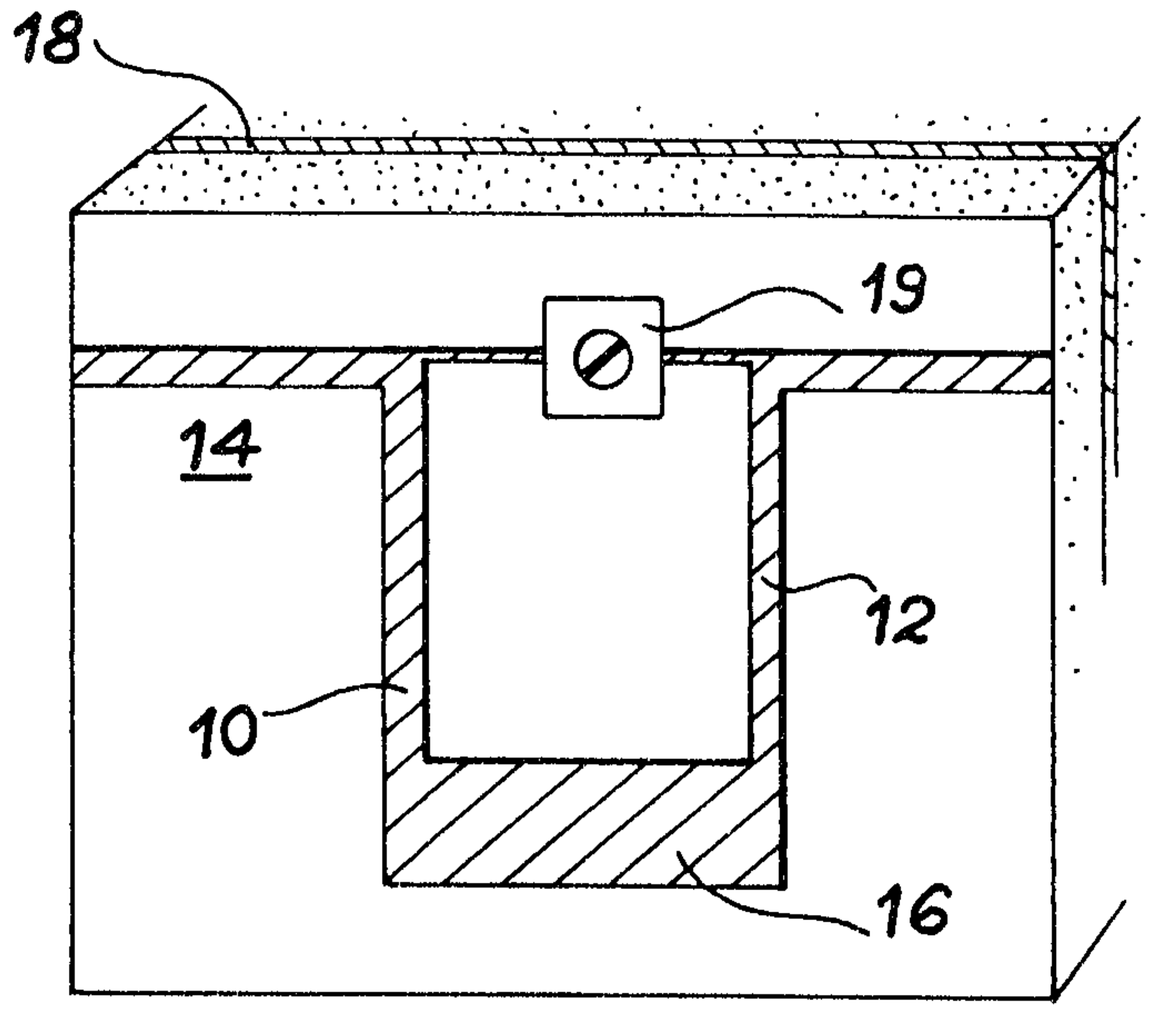


FIG. 15

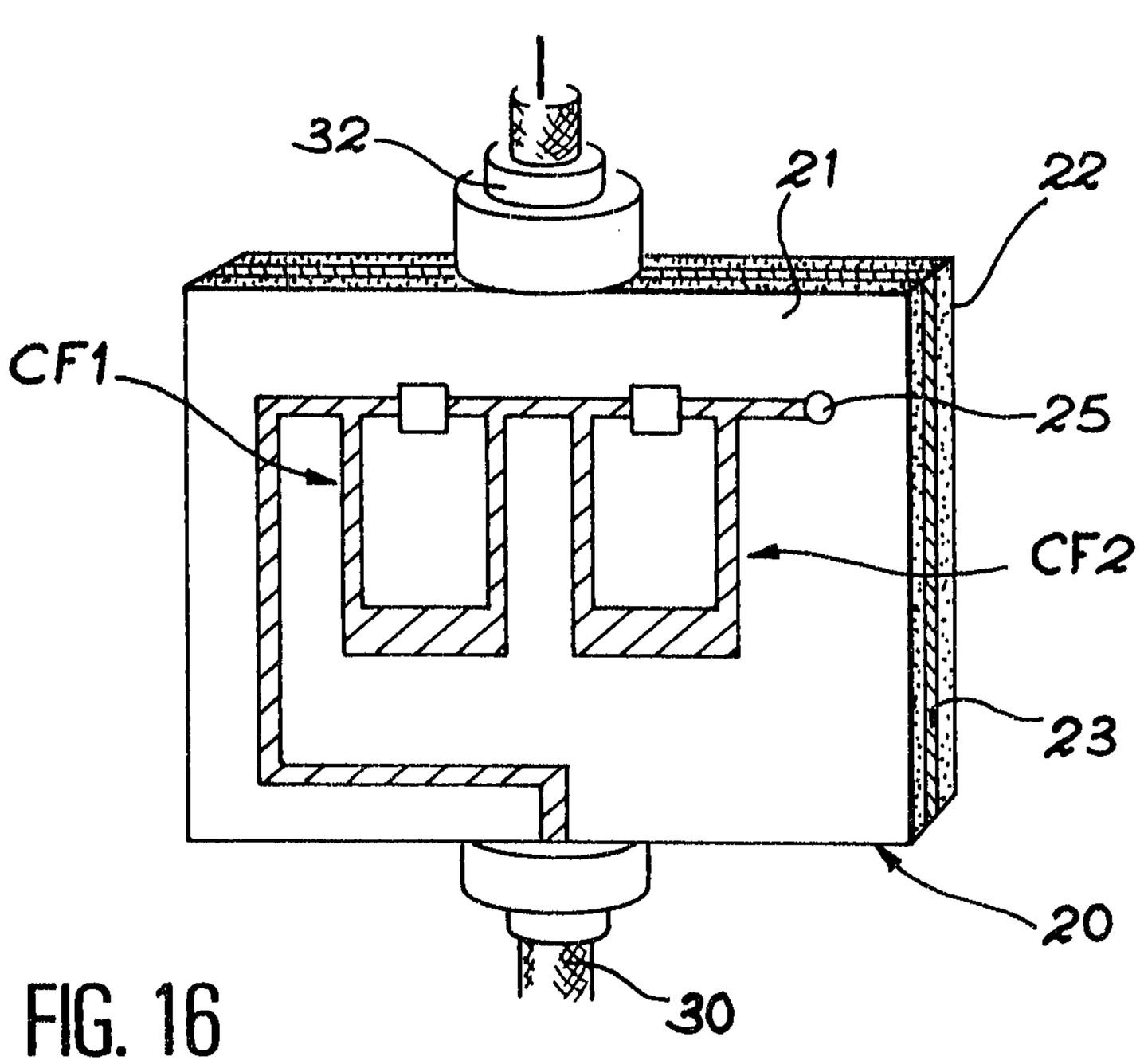


FIG. 16

Goodrich Lage Dodge & Watkins Walker

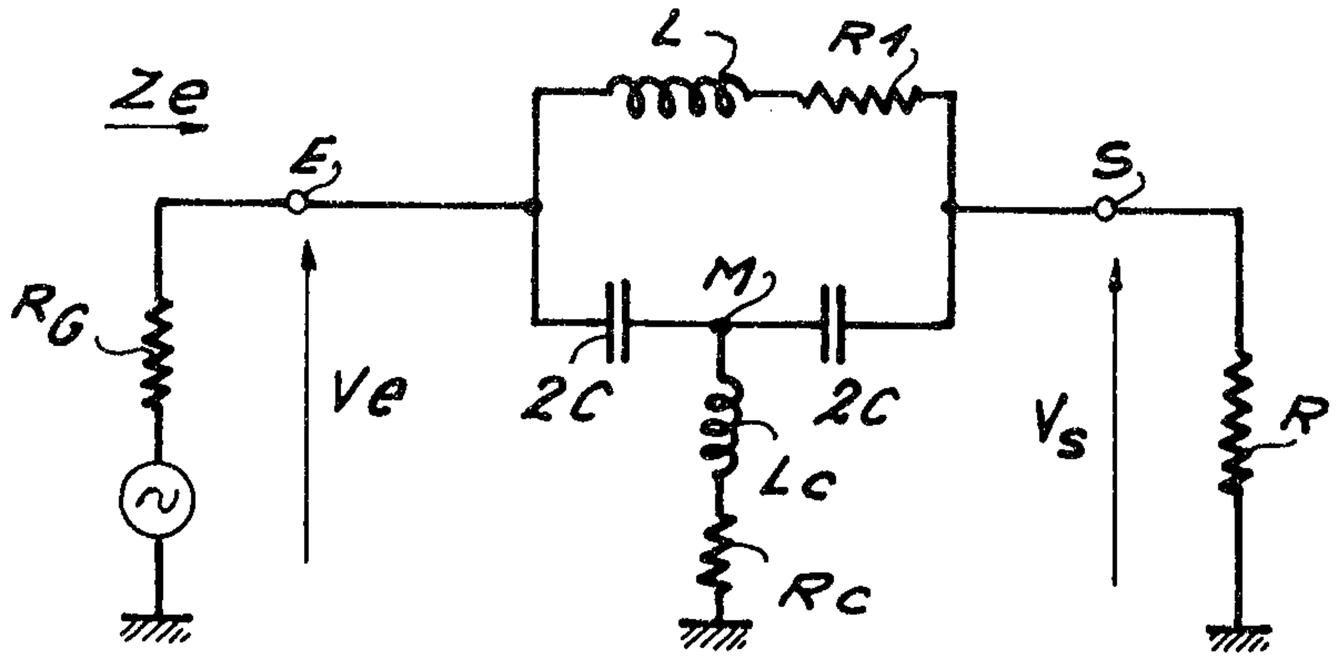


FIG. 17

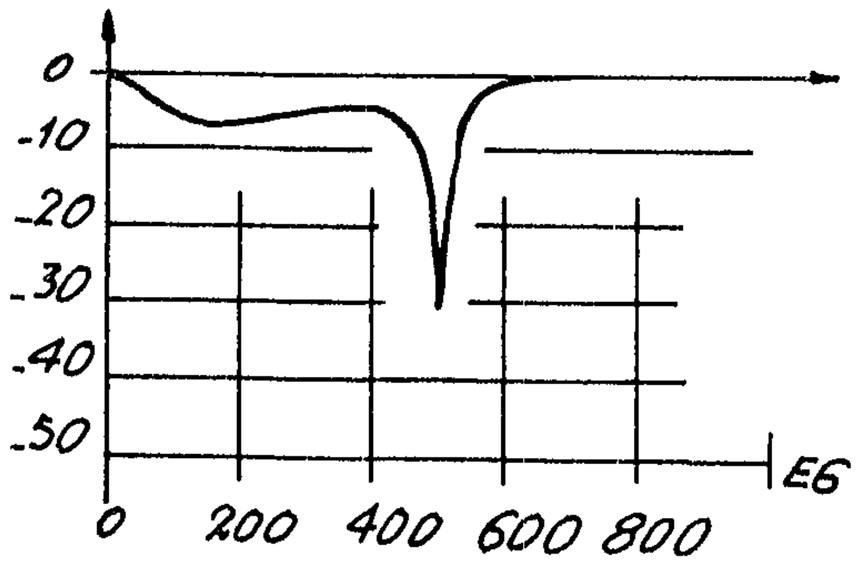


FIG. 18A

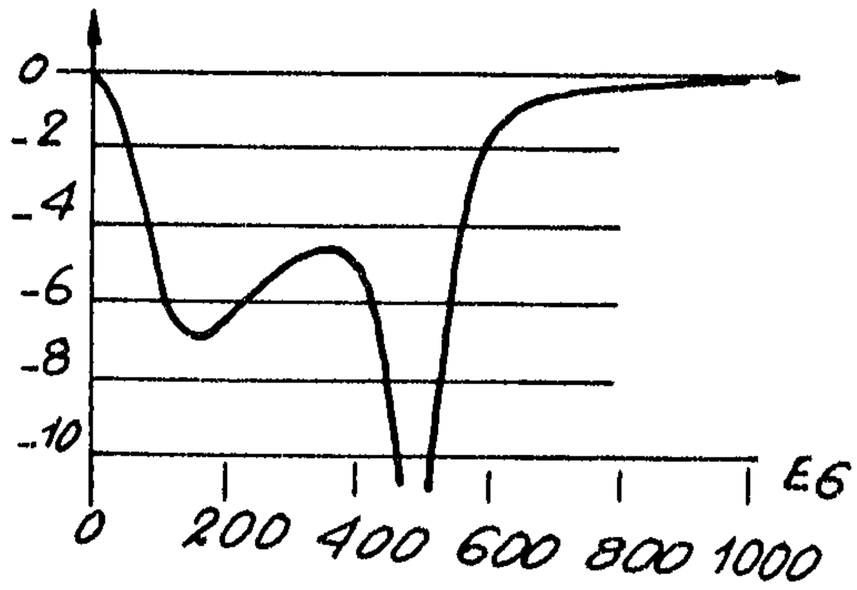


FIG. 18B

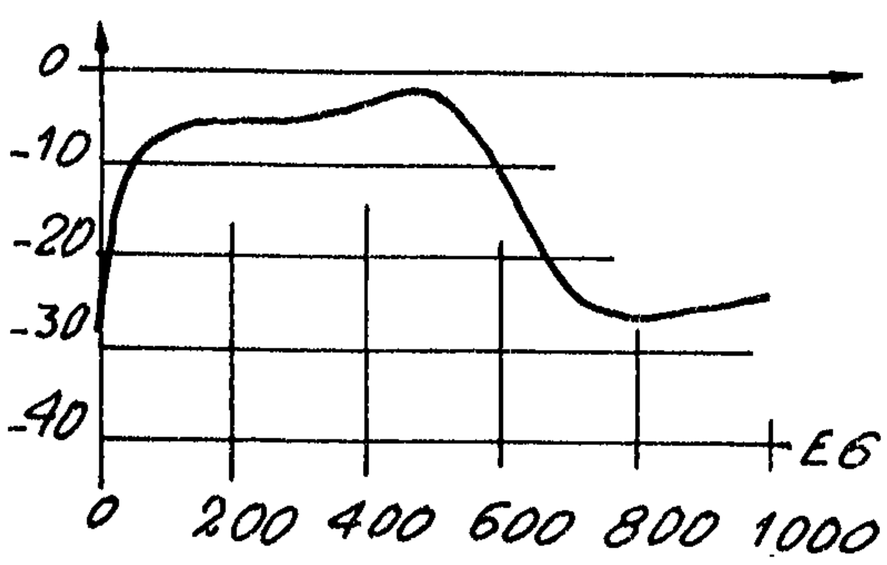
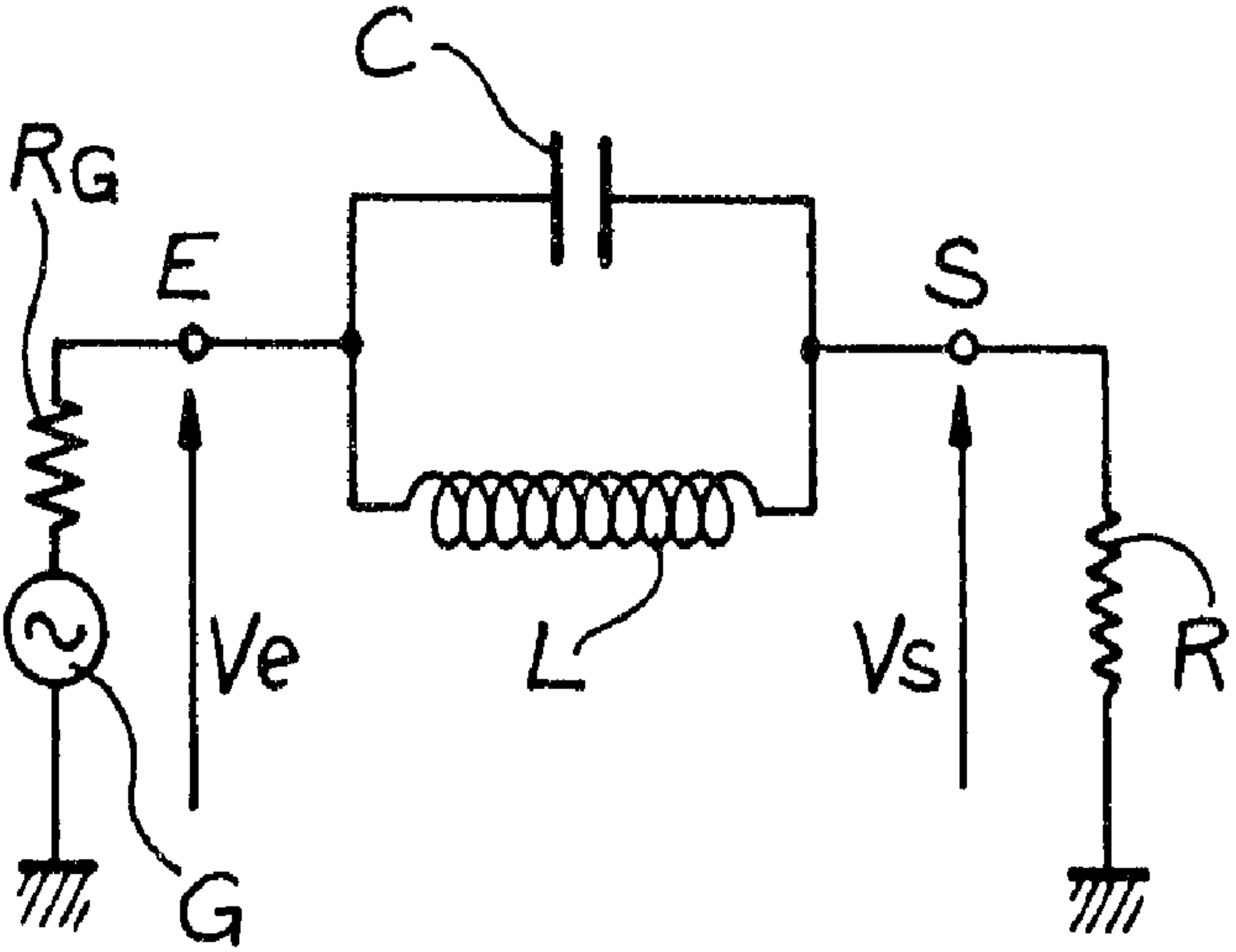


FIG. 18C

Goodman Lage Dalen & Kattman Walters


C
RG
E
S
Ve
L
Vs
R
G