

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

①⑪ N° de publication :  
(A n'utiliser que pour  
le classement et les  
commandes de reproduction).

**2.208.155**

②① N° d'enregistrement national  
(A utiliser pour les paiements d'annuités,  
les demandes de copies officielles et toutes  
autres correspondances avec l'I.N.P.I.)

**73.39816**

# DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

1<sup>re</sup> PUBLICATION

- ②② Date de dépôt ..... 9 novembre 1973, à 9 h 43 mn.  
④① Date de la mise à la disposition du  
public de la demande..... B.O.P.I. — «Listes» n. 25 du 21-6-1974.
- ⑤① Classification internationale (Int. Cl.) G 10 I 1/00.
- ⑦① Déposant : KORN & MACWAY LABORATORIES S.P.R.L., résidant en Belgique.
- ⑦③ Titulaire : *Idem* ⑦①
- ⑦④ Mandataire :
- ⑤④ Dispositif de transmission du son, éliminant l'intermodulation d'enveloppes.
- ⑦② Invention de :
- ③③ ③② ③① Priorité conventionnelle : *Demande de brevet déposée aux Pays-Bas le 10 novembre 1972,  
n. 72/15.246 au nom de la demanderesse.*

L'invention se rapporte aux chaînes de transmission, enregistrement ou reproduction du son, et son but est de fournir aux auditeurs l'impression de se trouver devant un véritable orchestre dans une salle de concert. L'invention est basée sur la découverte d'un certain type de distorsion du son qui existait toujours lors de l'écoute de la musique enregistrée, mais dont l'origine était inconnue jusqu'à présent. Cette distorsion a pu être éliminée grâce à la découverte d'une caractéristique particulière de l'écoute binaurale (par deux oreilles), qui joue un rôle principal lors de l'écoute directe dans une salle de concert.

Il est bien connu qu'en comparaison avec l'ampleur et la clarté des ensembles orchestraux écoutés en direct dans des bonnes salles de concert, la même musique reproduite par des chaînes électroacoustiques traditionnelles paraît "terne" et "rugueuse", comme si elle était affectée par une sorte de distorsions. Jusqu'à présent, on attribuait ce défaut à l'intermodulation non-linéaire dans des chaînes de transmission, mais les récentes expériences ont prouvé que ledit défaut persiste même avec des chaînes parfaitement linéaires.

Nous avons découvert que ladite "rugosité" de la musique transmise n'est pas d'origine technique, mais qu'elle est produite par un type de distorsion acoustique, inconnu jusqu'à présent. Cette distorsion "para-technique" provient de l'interférence, et plus précisément de "l'intermodulation d'enveloppes" des sons successivement réfléchis par la salle de la prise du son, qui sont additionnés aux sons directs dans des microphones. L'existence de ce type de distorsion n'a pas pu être décelée par les mesures conventionnelles basées sur la notion des signaux sinusoïdaux stationnaires, mais elle a été révélée grâce à une nouvelle approche qui peut être résumée comme suit :

Les sons qui portent l'information sur la hauteur tonale des notes musicales et de leurs harmoniques, ne sont jamais stationnaires, mais de courte durée, ou - ce qui revient au même - de structure spectrale variable rapidement dans le temps. Dans un travail précédent (Acustica, 1970) nous avons déjà démontré que l'information sur la hauteur tonale d'un son musical est apporté par un signal élémentaire du type :  $s_a(t) = t^2 e^{-\alpha t} \cos \omega_0 t$

Le spectre (transformé de Fourier) d'un tel signal accuse un maximum à la fréquence  $\nu_0 = \omega_0/2\pi$  (voir 29. 3), qui correspond à la hauteur tonale de la note musicale.

La présente invention est basée sur l'application de cette théorie auditive à l'addition de signaux directs et réfléchis, et des sons réfléchis successifs, qui a lieu dans des microphones de la prise du son. On peut démontrer mathématiquement que l'addition des sons musicaux élémentaires de même fréquence, mais décalés légèrement dans le temps, produit une "intermodulation d'enveloppes" entre les signaux additionnés, de sorte que l'enveloppe du signal résultant devient déformée. Ceci donne naissance à des maxima spectraux parasites qui, perçus comme des sons étrangers, produisent l'effet audible de "rugosité", fort similaire à celui produit par la non-linéarité des chaînes de transmission.

L'exemple d'intermodulation d'enveloppes est illustré sur la fig. 1 qui montre l'addition d'un son musical (a) et de sa réflexion retardée (b). On constate qu'à l'exception d'un cas peu probable de coïncidence parfaite de phases (c), les enveloppes de ces deux signaux s'intermodulent mutuellement, ce qui produit une distorsion d'enveloppe du son résultant (d). Les conséquences audibles de cette intermodulation peuvent être démontrées par l'analyse spectrale du signal résultant: Soit un signal élémentaire du type :

$$s_a(t) = t^2 e^{-\alpha t} \cos \omega_0 t \quad (1)$$

suivi d'une réflexion de même amplitude, mais retardé de  $\tau$  (29c):

$$s_b(t) = (t-\tau)^2 e^{-\alpha(t-\tau)} \cos \omega_0 (t-\tau) \quad (2)$$

Rappelons que le spectre énergétique du signal initial  $s_a(t)$  est égal à :

$$P_a(\omega) = |\hat{S}_a(\omega)|^2 = 4 / [\alpha^2 + (\omega - \omega_0)^2]^3 \quad (3)$$

ou  $\hat{S}_a(\omega)$  est la transformée de Fourier de  $s_a(t)$ . Ce spectre accuse un seul maximum à la fréquence  $\nu_0 = \omega_0/2\pi$ , qui porte l'information sur la hauteur tonale de la note musicale.

Le signal résultant de l'addition des signaux (1) et (2) sera :

$$s(t) = s_a(t) + s_b(t) \quad (4)$$

dont le spectre est :

$$P(\omega) = |\hat{S}(\omega)|^2 = \frac{8(1 + \cos \omega \tau)}{[\alpha^2 + (\omega - \omega_0)^2]^3} \quad (5)$$

où  $\hat{S}(\omega)$  est la transformée de Fourier de  $s(t)$ .

Le calcul de la dérivée  $dP/d\omega$  montre que, généralement, le spectre  $P(\omega)$  accuse plusieurs maxima dont les positions et les amplitudes dépendent de la valeur du produit  $\nu_0 \tau$ , c'est-à-dire du rapport du retard  $\tau$  à la période du son. Il est évident que dans une salle,

5 le produit  $\nu_0 \tau$  peut prendre toutes les valeurs également probables entre:  $n$  et  $n + 1$  (où  $n$  est un nombre entier arbitraire), et que le cas de coïncidence exacte de phases :  $\nu_0 \tau = n$ , est très peu probable.

La courbe  $d$  de la fig. 2 représente, à titre d'exemple numérique, le spectre  $P(\omega)$  dans le cas de  $\nu_0 = 1000 \text{ Hz}$  et  $\nu_0 \tau = n + 0,5$ .

10 On voit que dans ce cas, le spectre  $P(\omega)$  accuse deux maxima parasites écartés de  $\pm 17 \text{ Hz}$  de la fréquence nominale du son ( $1000 \text{ Hz}$ ), dont le maximum initial disparaît totalement. Conformément à la définition conventionnelle on peut dire que, suivant la valeur de  $\nu_0 \tau$ ,

15 l'intermodulation d'enveloppes peut produire jusqu'à 100% de distorsions. Ceci explique bien l'origine de la "rugosité" du son lors de la reproduction de la musique orchestrale accompagnée par les réflexions de la salle de la prise du son.

Reste à expliquer pourquoi lors de l'écoute directe dans une bonne

salle de concert les auditeurs n'entendent jamais de produits

20 d'intermodulation d'enveloppes, malgré le hasard de phases ( $\nu_0 \tau$ ) entre les sons réfléchis par la salle. Bien au contraire, il est universellement connu que les réflexions rapides venant de la partie frontale d'une salle bien dessinée, sont toujours très favorables

pour améliorer l'ampleur et la clarté des sons orchestraux émis sur

25 l'estrade (effet de Haas). Ce n'est qu'en connaissance de ce phénomène apparemment paradoxal, qu'on peut songer à restituer les mêmes conditions lors de l'écoute de la musique reproduite par des chaînes électro-

acoustiques.

Ce problème a été éclairci grâce aux expériences auditives faisant

30 partie de la présente invention. Elles ont d'abord confirmé que lorsque les signaux  $a$  et  $b$  de la fig. 1 sont présentés monoralement (à une seule oreille), ou d'une seule direction, l'effet audible du son résultant est bien celui qui a été prévu par l'analyse spectrale de la fig. 2. En effet, le son  $c$  (addition de son  $a$  et  $b$  en phase, ou

35  $\nu_0 \tau = n$ ) donne l'effet d'une note musicale améliorée, tandis que

le son d (addition en contre-phase, ou  $\Delta \tau = n + 0,5$ ) est perçu comme un "crack", terne et "rugueux". Mais l'effet audible change radicalement, lorsque les signaux a et b sont présentés en écoute binaurale (par deux oreilles) de deux directions différentes. Dans ces conditions, le son résultant est toujours perçu comme une note musicale améliorée, quelque soit la relation de phase entre le signal a et le signal b.

- Il en faut conclure que l'organe d'écoute binaurale possède une faculté particulière (qu'on ignorait jusqu'à présent) de recevoir les signaux acoustiques séparément lorsqu'ils arrivent de directions différentes.
- 10 On peut supposer qu'en écoute binaurale, la synthèse de tels signaux en un seul message ne se fait pas au niveau de la pression acoustique comme dans un microphone, mais bien au niveau du système nerveux de l'auditeur, où le mécanisme redresseur des neurones (constaté par les biologistes) a déjà éliminé le problème de phases entre les signaux.
- 15 Ceci explique pourquoi en écoute binaurale dans une salle de concert, les réflexions de la partie frontale de la salle, qui arrivent à l'auditeur de multiples directions, améliorent toujours la musicalité des sons instrumentaux sans produire la moindre intermodulation audible. Il en résulte que lors de la reproduction du son, l'effet de la salle de concert peut être obtenu par une répartition géométrique adéquate des ondes acoustiques réfléchies par la partie frontale de la salle de la prise du son. Cette possibilité est évidemment exclue lors d'une transmission monophonique. La reproduction stéréophonique traditionnelle fournit déjà une certaine répartition spatiale des sources sonores, mais elle est encore loin de pouvoir séparer
- 20 suffisamment les réflexions individuelles de la salle de la prise du son, pour que l'écoute binaurale puisse éliminer l'intermodulation d'enveloppes comme dans une vraie salle de concert.

- A première vue on pourrait croire qu'une telle séparation exigerait un très grand nombre de canaux terminés par les haut-parleurs, où ces derniers devraient simuler les multiples sources de réflexions individuelles. Heureusement, une autre expérience faisant partie de la présente invention a démontré que lors de la reproduction du son, la perception de la direction des ondes acoustiques, qui joue dans l'élimination d'intermodulation d'enveloppes, n'est pas liée à la
- 35 position d'un haut-parleur, mais bien à la position des images

sonores des sources de réflexions, qui peuvent être recréées à l'aide de deux composantes géométriques, rayonnées par deux haut-parleurs seulement. Cette expérience est illustrée sur la fig. 3 qui représente une source du son primaire ( $S_a$ ) et sa réflexion en contre-phase ( $S_b^1$ ),  
5 qui arrivent à l'auditeur de la même direction et produisent un son résultant distordu ( $S_a + S_b^1$ ). Or, cette expérience a démontré que lorsque le signal  $S_b^1$  est accompagné d'un même signal venant d'une autre direction ( $S_b^2$ ), l'effet d'intermodulation disparaît. Il en faut conclure qu'en écoute binaurale, l'auditeur se base sur la direction de  
10 l'image sonore de la réflexion située en  $S_b$ , ce qui lui permet d'éliminer l'intermodulation, malgré que le haut-parleur de gauche continue à émettre un son distordu  $S_a + S_b^1$ . L'expérience de la fig. 3 montre que dans un local d'écoute, l'effet de salle de concert peut être restitué à l'aide de deux haut-parleurs frontaux qui, conjointement avec des sons directs de sources primaires, rayonnent des  
15 composantes de réflexions frontales de la salle de la prise du son. Le dosage et la caractéristique de ces composantes doivent être adéquats, afin que les images des réflexions créées par elles soit réparties largement et uniformément devant l'auditeur, avec une amplitude correspondant à l'intensité des réflexions naturelles d'une salle  
20 de concert.

L'information sur les réflexions de la salle de la prise du son existe, dans une certaine mesure, dans tout bon enregistrement stéréophonique. Elle comporte surtout les réflexions frontales, vu  
25 que les microphones de la prise du son sont toujours placés assez près de l'estrade. Mais cette information reproduite par les chaînes traditionnelles ne parvient pas à créer des images de réflexions suffisamment réparties.

Suivant la présente invention, nous proposons d'insérer dans les chaînes  
30 à deux canaux un dispositif qui extrait du programme stéréophonique les signaux réfléchis et, après un traitement spécial, les additionne aux signaux stéréophoniques traditionnels. Le fonctionnement de ce système ainsi que les caractéristiques de signaux ainsi "traités" sont décrits dans des paragraphes suivants.

Les réflexions acoustiques enregistrées sont des signaux dits  
35 "incohérents" c'est-à-dire qu'ils apparaissent dans les deux canaux

stéréophoniques avec la même puissance moyenne, mais avec une grande différence en amplitudes et phases des réflexions individuelles. Ainsi, un son différentiel résultant de la soustraction de deux signaux stéréophoniques comporte principalement les signaux réfléchis, vu qu'une grande partie des signaux directs (surtout des sources centrales) y est éliminée, ou fortement atténuée. On a constaté que lorsqu'un tel signal différentiel est reproduit en opposition de phases par les deux haut-parleurs frontaux, il produit une rampe diffuse de réflexions uniformément réparties, dont la largeur apparente dépasse même l'écartement des haut-parleurs. Lorsqu'on superpose sur ce fond musical les signaux stéréophoniques classiques qui comportent en majorité les sons directs et produisent les images des instruments sur l'estrade, on obtient ainsi la diversité souhaitable de directions, qui permet à l'écoute binaurale d'éliminer l'intermodulation d'enveloppes, comme lors de l'écoute directe dans une bonne salle de concert.

Pourtant un simple signal différentiel n'est pas suffisant pour simuler l'acoustique de la salle de concert d'une façon satisfaisante. Les amplitudes et les caractéristiques directives des réflexions, ainsi que la résolution temporelle de l'oreille, sont fonction de fréquences, de sorte que dans le traitement de signaux il faut respecter les conditions suivantes :

- 1) Aux fréquences extrêmes graves (disons en dessous de 70 HZ) la durée des sons instrumentaux et la résolution temporelle d'oreille sont de l'ordre de centaines de millisecondes. Il n'y est pas question de réflexions acoustiques successives de directions déterminées, mais bien de la réponse globale de la salle par l'excitation de ses sons propres. Ainsi, dans cette zone de fréquences, les signaux doivent être rayonnés par les deux haut-parleurs en concordance de phase, afin d'exciter le local d'écoute de façon la plus efficace.
- 2) Aux fréquences moyennes (entre 70 et 2.000 HZ), où la durée des signaux informatifs est de l'ordre de dizaines de millisecondes, l'action des réflexions individuelles devient très importante, et le signal "traité" doit pouvoir les restituer comme décrit précédemment.
- 3) Aux fréquences aiguës (au dessus de 2.000 HZ), la durée des signaux informatifs est de l'ordre de millisecondes, de sorte que les sons directs et les réflexions successives se détachent les uns des

autres. L'intermodulation d'enveloppes ne se fait plus, et l'amplitude de réflexions diminue progressivement à cause de l'absorption croissante des matériaux de construction et dans l'air. Ainsi, les signaux traités doivent aussi diminuer progressivement avec la fréquence, laissant place aux signaux stéréophoniques conventionnels

Toutes ces conditions sont satisfaites dans le dispositif suivant la présente invention. Ce dispositif, dont le schéma de principe est représenté sur la fig. 4, est composé essentiellement de deux additionneurs 1 et 2, un dans chaque canal, qui additionnent les signaux "traités" 16 et 17 aux signaux stéréophoniques 14 et 15.

Aux fréquences extrêmes graves, lesdits signaux "traités" 16 et 17 résultent de l'addition de signaux stéréophoniques à l'aide d'additionneur 3, précédé et suivi des filtres passe-bas 7, 8, 9 et 10, et ils sont injectés en amplitudes et phases égales dans les additionneurs 1 et 2.

Aux fréquences moyennes, les signaux "traités" 16 et 17 résultent de la soustraction de signaux stéréophoniques à l'aide du soustracteur 4, suivi du filtre passe-haut 11 qui supprime les fréquences extrêmes graves. Le résultat de cette soustraction est injecté en opposition de phases, à l'aide de l'inverseur de phase 13, dans les additionneurs respectifs 1 et 2.

Aux fréquences extrêmes aiguës, l'amplitude des signaux traités 16 et 17 diminue progressivement, grâce au filtre passe-bas à pente douce 12.

Le dispositif décrit est complété par quelques perfectionnements supplémentaires. Afin d'éliminer tout déséquilibre éventuel aux fréquences extrêmes graves, à cause d'un enregistrement stéréophonique asymétrique, les canaux conduisant les signaux stéréophoniques 14 et 15 sont pourvus de filtres passe-haut 5 et 6, qui éliminent cette zone de fréquences. Aux fréquences aiguës, les mêmes canaux sont pourvus des filtres 18 et 19 qui relèvent légèrement ces fréquences, en compensant ainsi leur atténuation dans les signaux traités 16 et 17. Les filtres 18 et 19 peuvent être réalisés, par exemple, par des simples résistances en série, shuntées par des condensateurs.



Les éléments : soustracteur 4, filtre passe-bas 11, et inverseur de phases 13 peuvent être groupés ensemble dans un seul composant, et notamment dans un transformateur différentiel 20 à trois enroulements 22, 23 et 24, qui est représenté à titre d'exemple non-limitatif sur la fig. 5. L'enroulement primaire de ce transformateur est  
5 raccordé aux deux entrées stéréophoniques par une ou deux résistances en série 21 et 21', de sorte que ces résistances, conjointement avec l'inductance d'enroulement primaire 22, forment un filtre passe-bas symbolisé par l'élément 11 de la fig. 4. Les deux enroulements

10 secondaires 23 et 24, mis en opposition de phase, remplissent la fonction de l'inverseur de phases 13 de la fig. 4. Les sorties de ces enroulements, marquées par des flèches, sont raccordées aux additionneurs 1 et 2 de la fig. 4, lorsque ces additionneurs sont de type "parallèle". Une autre version des additionneurs 1 et 2,  
15 peut être réalisée sous forme de l'addition "en série" des signaux 14 et 16, respectivement 15 et 17. Dans ce cas, les deux bouts de l'enroulement 23, respectivement de l'enroulement 24 sont conduits vers l'additionneur correspondant, où lesdits enroulements sont insérés en série dans des canaux 14 et 15.

REVENDICATIONS

1. Dispositif de traitement de l'information stéréophonique à deux canaux, caractérisé en ce qu'il comporte deux additionneurs (1, 2), un dans chaque canal, qui additionnent les signaux stéréophoniques conventionnels (14, 15) à des signaux respectifs (16, 17) qui résultent du traitement des signaux initiaux à l'aide des éléments suivants : un additionneur des signaux stéréophoniques initiaux (3) équipé de filtres passe-bas (7, 8, 9, 10) et fournissant aux fréquences graves les signaux traités (16, 17) de même amplitude et phase, ainsi qu'un soustracteur des signaux stéréophoniques initiaux (4) équipé du filtre passe-haut (11), et fournissant, dans la zone de fréquences moyennes et aigües, les signaux traités (16, 17) de même amplitude, mais en phases inversées à l'aide de l'inverseur de phases (13).
2. Dispositif suivant la revendication 1, caractérisé en ce que le soustracteur (4) est équipé d'un filtre passe-bas à pente douce (12) atténuant progressivement les fréquences aigües en fonction de leur fréquence.
3. Dispositif suivant la revendication 2, caractérisé en ce qu'il comporte les circuits relevant les fréquences aigües (18, 19), qui sont insérées dans les canaux de signaux stéréophoniques classiques (14, 15).
4. Dispositif suivant la revendication 1, 2 ou 3, caractérisé en ce qu'il comporte les filtres passe-haut (5, 6) insérés dans des canaux 14 et 15, qui suppriment les fréquences extrêmes graves dans lesdits canaux.
5. Dispositif suivant la revendication 1, 2, 3 ou 4, caractérisé en ce qu'il comporte un transformateur (20) accomplissant le rôle du soustracteur (4), du filtre passe-haut (11) et de l'inverseur de phases (13), et dont l'enroulement primaire 22 est raccordé entre les deux entrées stéréophoniques en travers d'une ou deux résistances (21, 21'), et dont les enroulements secondaires 23 et 24 sont raccordés en opposition de phases à des additionneurs (1, 2).

FIG. 1

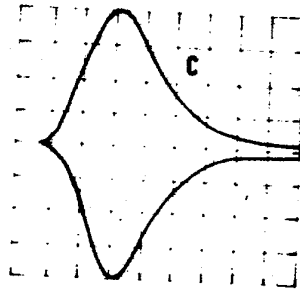
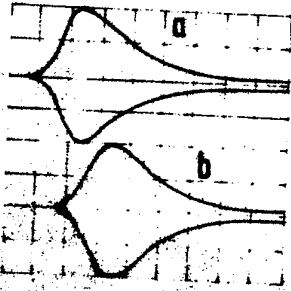


FIG. 2

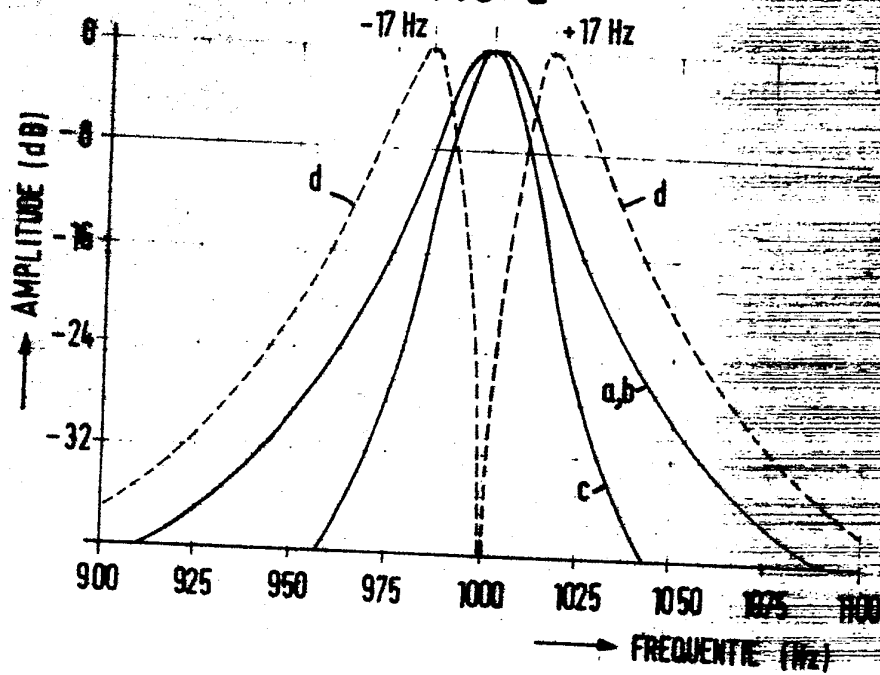
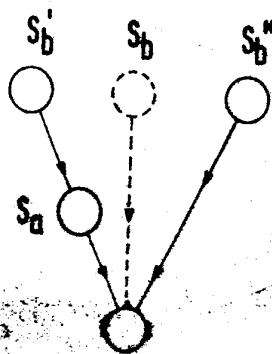


FIG. 3



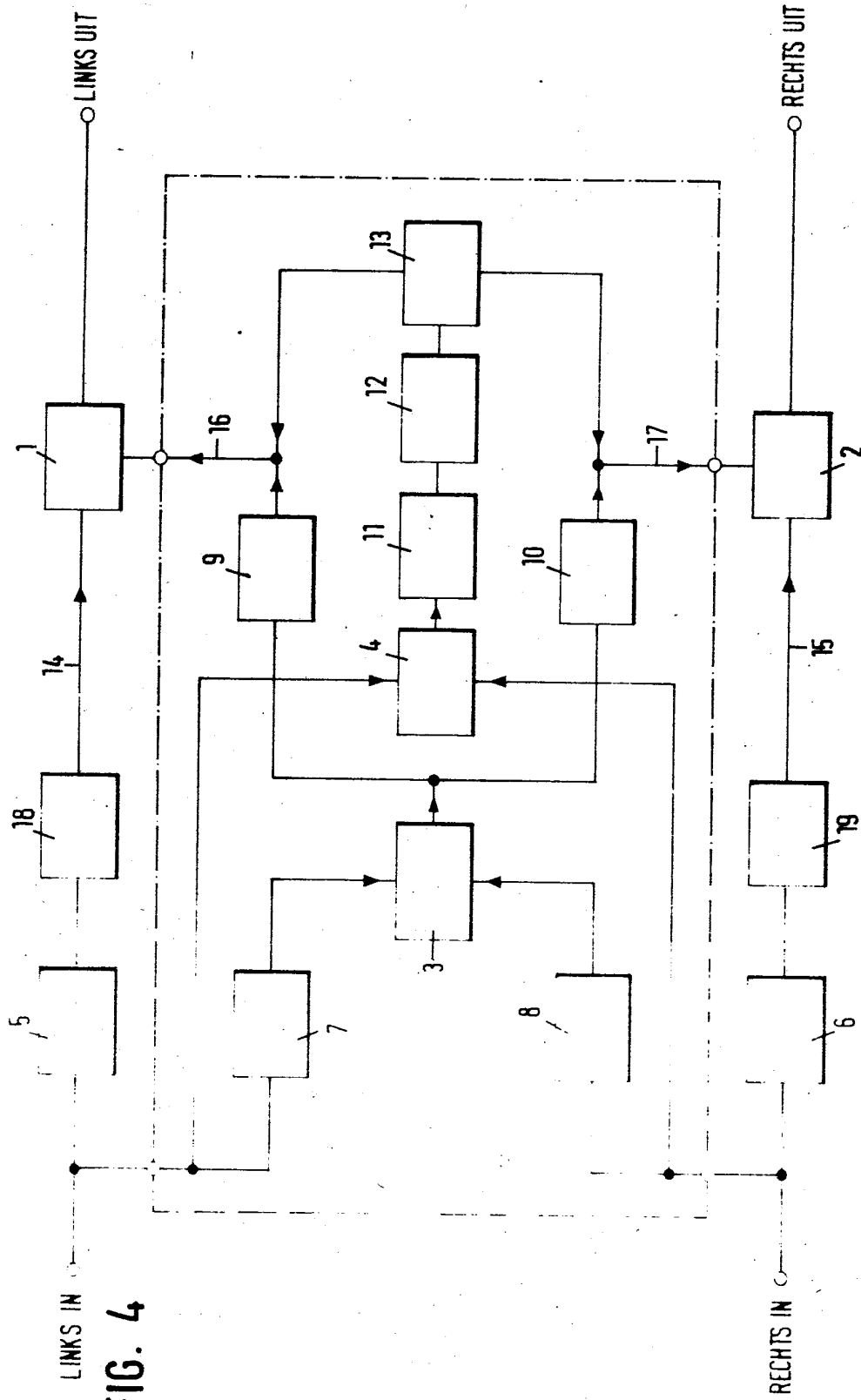


FIG. 4

FIG. 5

