

5

10 **PROCÉDÉ DE TRAITEMENT D'ONDES PWM ET DISPOSITIFS**
 APPLIQUANT CE PROCÉDÉ.

Objet de l'invention.

La présente invention concerne un procédé de
15 traitement d'ondes PWM destinées à un onduleur ou à un
redresseur commandé, et plus particulièrement en vue
d'obtenir la réduction d'harmoniques.

La présente invention se rapporte également aux
dispositifs pour la mise en oeuvre du procédé selon la
20 présente invention.

Etat de la technique à la base de l'invention.

Les onduleurs, et plus particulièrement les
onduleurs de tension, sont destinés à fournir une tension
alternative à partir d'une tension continue, tandis que les
25 redresseurs commandés sont destinés à fournir une tension
continue à partir d'une tension alternative.

Dans la description qui suit, on s'attache plus
particulièrement à décrire les onduleurs, mais exactement les
mêmes problèmes se posent pour les redresseurs commandés.

30 A titre d'exemple, les onduleurs peuvent être
utilisés pour la commande en vitesse variable de machines
synchrones ou asynchrones.

BAD ORIGINAL

Dans ce cas, il est nécessaire de fournir à la charge, et plus particulièrement à chaque phase d'un moteur synchrone ou asynchrone, un système triphasé en tension le plus proche possible d'un système triphasé sinusoïdal
5 équilibré variable en fréquence et en amplitude.

Les onduleurs de tension sont des dispositifs bien connus qui utilisent généralement des montages de composants de puissance tels que des thyristors, des GTO, ..., qui commutent de façon particulièrement rapide.

10 Un onduleur est commandé par un modulateur et un discriminateur. Le rôle du modulateur est de créer une onde de consigne, tandis que le discriminateur permet de séparer cette onde en plusieurs ondes destinées à la commande individuelle des différents commutateurs.

15 Les onduleurs les plus simples sont à deux niveaux et se composent de deux commutateurs (thyristors, GTO, ...) qui alimentent alternativement la charge. Cette charge étant de type selfique, il est nécessaire qu'une diode appelée "diode de roue libre" soit placée en parallèle sur chaque
20 commutateur afin de permettre au courant de charge de circuler lorsque le commutateur correspondant est ouvert.

Habituellement, on utilise une simple onde carrée comme onde de consigne, pour permettre la commutation de l'un ou l'autre des commutateurs à chaque flanc de créneau. Cette
25 onde carrée devrait commander successivement la fermeture de l'un ou l'autre des commutateurs et simultanément l'ouverture du commutateur opposé.

Pour des raisons évidentes de court-circuit de l'alimentation, il est impératif de vérifier que deux
30 commutateurs ne soient jamais simultanément fermés. C'est à ce niveau que l'on retrouve le rôle du discriminateur, qui a pour but d'introduire un retard à la fermeture des

commutateurs correspondants, de telle sorte que l'on soit toujours assuré que lorsque la commande de fermeture d'un commutateur est donnée, le commutateur opposé est déjà ouvert.

5 Ceci signifie qu'il subsiste toujours un léger délai appelé "temps mort" entre le moment où un commutateur est ouvert et le moment où le commutateur opposé est fermé, les deux opérations n'étant donc jamais simultanées.

10 Ceci est la cause de la présence d'harmoniques indésirables, et plus particulièrement d'harmoniques 5 et 7, qui apparaissent dans les courants moteur, ce qui génère la présence d'une harmonique 6 côté alimentation et côté couple moteur.

15 En réalité, c'est l'harmonique 6 qui est l'harmonique la plus gênante, car pour un moteur alimenté à $1/6$ de la fréquence utilisée pour la signalisation, il y aura risque d'interférence. A titre d'exemple, un moteur alimenté à $8 \frac{1}{3}$ Hz risque de provoquer une perturbation dans le système de signalisation qui utilise le 50 Hz.

20 Un autre problème réside dans le fait que les différents commutateurs ne peuvent commuter instantanément d'une valeur nulle (courant passant et correspondant à la fermeture) à une valeur positive de la tension (courant nul et correspondant à l'ouverture) et vice versa. Ceci signifie
25 que pendant un certain laps de temps, on a simultanément une tension non nulle et un courant non nul, et de ce fait, on observe une perte de puissance à chaque commutation.

Afin de résoudre ce problème, dans le cas où les divers composants ne peuvent supporter une telle perte de
30 puissance, il est connu de proposer une cellule d'aide à la commutation. Un exemple d'une telle cellule peut être constitué simplement par un "snubber" qui comprend

essentiellement une capacité mise en parallèle sur chaque commutateur. Ce snubber a pour but d'absorber les pertes de puissance en limitant la tension, et plus particulièrement en limitant sa croissance, lors de la commutation. Un autre
5 exemple de cellule souvent utilisé en combinaison avec le snubber est la cellule dite "di/dt", qui comprend essentiellement une self en série avec les commutateurs. Du fait de la présence de ces différentes cellules d'aide à la commutation, on observe alors une croissance plus lente de
10 la tension, ce qui permet de limiter les pertes de puissance lors de la commutation.

Le problème de la présence d'harmoniques est essentiellement le même pour un onduleur avec ou sans cellule d'aide à la commutation. En particulier, on observe également
15 dans le cas de l'utilisation d'un onduleur avec snubber la présence d'harmoniques 5 et 7 coté moteur ainsi que la présence de l'harmonique 6 côté alimentation et côté couple moteur.

Il convient de noter que dans le cas de redresseurs
20 commandés, exactement les mêmes problèmes se posent, à la différence près que la charge doit être considérée dans ce cas comme la source et l'alimentation comme étant la charge.

Buts de l'invention.

La présente invention vise à proposer un procédé
25 qui permette de réduire, jusqu'à annuler, l'effet des temps morts dans un onduleur ou un redresseur commandé, et permet donc de réduire l'effet des harmoniques indésirables.

La présente invention vise en particulier à proposer un procédé qui puisse être appliqué aux onduleurs
30 ou redresseurs commandés, avec ou sans cellule d'aide à la commutation, qu'ils soient à deux niveaux ou multi-niveaux.

En particulier, la présente invention vise à proposer dans le cas d'un onduleur triphasé alimentant un moteur synchrone ou asynchrone, un procédé qui permette de réduire les harmoniques indésirables telles que les harmoniques 5 et 7 apparaissant dans les courants moteur, et de ce fait l'harmonique 6 apparaissant côté alimentation et côté couple moteur.

Principaux éléments caractéristiques de l'invention.

La présente invention se rapporte à un procédé de traitement d'ondes PWM destinées à un onduleur de tension ou à un redresseur commandé de tension, comprenant au moins une paire de commutateurs, cet onduleur ou redresseur étant commandé par un modulateur et un discriminateur, caractérisé en ce que l'on applique au discriminateur deux consignes corrigées en fonction du sens du courant dans la charge ou dans la source, la consigne corrigée pour le courant sortant présentant un état haut augmenté d'un délai lors de la transition de l'état haut vers l'état bas, et la consigne corrigée pour le courant entrant présentant un état bas augmenté d'un délai lors de la transition de l'état bas vers l'état haut, l'état haut étant défini par le fait que le commutateur relié à la charge la plus positive est fermé tandis que le commutateur relié à la charge la plus négative est ouvert, l'état bas étant défini par l'inverse.

Dans le cas où l'onduleur ou redresseur est exempt de cellule d'aide à la commutation, les consignes corrigées introduisent des délais qui correspondent au temps mort créé lui-même par le discriminateur.

Dans le cas où il s'agit d'un onduleur ou redresseur avec cellule d'aide à la commutation, le délai introduit dans les consignes corrigées dépend non seulement du sens du courant, mais également de sa valeur.

Il convient de noter que le présent procédé peut être appliqué aussi bien aux onduleurs ou redresseurs à deux niveaux qu'aux onduleurs ou redresseurs multi-niveaux.

La présente invention se rapport également au dispositif pour la mise en oeuvre du procédé.

Brève description des figures.

La présente invention sera décrite plus en détails à l'aide des figures qui suivent :

La figure 1 représente une vue schématisée d'une branche d'un onduleur conventionnel à deux niveaux.

La figure 2 représente l'onde consigne (fig. 2a) créée par le modulateur pour un onduleur tel que décrit à la figure 1, ainsi que les ondes obtenues à la sortie du discriminateur et destinées à commander directement les commutateurs (fig. 2b et 2c) et les tensions correspondantes appliquées dans ce cas au moteur (fig. 2d et 2e).

La figure 3 représente un schéma de principe d'un dispositif permettant la mise en oeuvre du procédé selon l'invention.

La figure 4 représente les ondes corrigées (figs. 4b et 4c) pour une onde consigne donnée (fig. 4a) à appliquer à l'onduleur à deux niveaux tel que décrit à la figure 1 afin de mettre en oeuvre le procédé selon la présente invention ainsi que les tensions de sortie appliquées dans ce cas au moteur (figs. 4d et 4e).

- La figure 5 représente une vue schématisée d'une branche d'un onduleur conventionnel à deux niveaux avec snubber.
- 5 La figure 6 représente l'onde consigne (fig. 6a) créée par le modulateur et destinée à commander un onduleur tel que décrit à la figure 5, ainsi que les tensions de sortie appliquées dans ce cas au moteur pour un courant entrant faible ou élevé (fig. 6b et 6c) et pour un courant sortant faible ou élevé (fig. 6d et 6e), les fig. 6f et 6g représentant des détails des figures 6b et 6c.
- 10 La figure 7 représente l'allure générale du courant moteur d'une part en n'appliquant pas le procédé selon la présente invention (fig. 7a) et d'autre part en appliquant ce procédé (fig 7b).
- 15 La figure 8 représente les harmoniques, et plus particulièrement les harmoniques 5 et 7 côté moteur ainsi que l'harmonique 6 côté alimentation, d'une part lorsque l'on n'applique pas le procédé selon la présente invention (figs. 8a et 8b) et
- 20 d'autre part lorsque l'on applique ce procédé (figs. 8c et 8d).
- 25

Description de plusieurs formes d'exécution préférées de l'invention.

- 30 Dans cette partie, on s'est limité à décrire un onduleur à deux niveaux. L'Homme de l'Art pourra aisément généraliser cette description à un onduleur multi-niveaux

ainsi qu'à un redresseur deux niveaux ou multi-niveaux.

La figure 1 représente de manière schématique une
branche d'un onduleur conventionnel à deux niveaux et qui est
utilisé dans le cadre de la présente invention. De manière
classique, cet onduleur comprend deux commutateurs S1 et S2
5 qui alimentent alternativement une charge qui peut être par
exemple une phase d'un moteur asynchrone. Dans ce cas, la
charge est de type selfique et il est nécessaire que chacun
des deux commutateurs S1 et S2 soit monté en parallèle avec
une diode que l'on appelle "diode de roue libre" DR1 ou DR2
10 qui permet au courant de charge de circuler lorsque le
commutateur correspondant est ouvert. En effet, la présence
de cette diode permet au courant de charge inductif de
décroître et d'éviter ainsi toute surtension destructive
lorsque le commutateur correspondant est ouvert.
15

L'onduleur est commandé par un modulateur et un
discriminateur.

A la figure 2a, on a représenté une onde consigne
M qui se présente sous la forme de créneaux successifs.
20 Lorsqu'on atteint le niveau haut 1, ceci signifie que le
commutateur S1 doit être fermé et que le commutateur S2 doit
être ouvert. Inversement, lorsque l'on atteint le niveau bas
2, le commutateur S2 doit être fermé tandis que le
commutateur S1 doit être ouvert. Par conséquent, à chaque
25 flanc montant ou descendant, on devrait commuter
instantanément le commutateur S1 afin de le fermer et le
commutateur S2 afin de l'ouvrir ou vice versa.

Il convient bien entendu de vérifier que les deux
commutateurs (S1 et S2) ne soient jamais simultanément
30 fermés, ce qui mettrait l'alimentation en court-circuit. Afin
d'éviter cette situation, on impose de reculer le moment de
la fermeture d'un commutateur d'un certain délai après que

la consigne ait été donnée. Cette tâche est en réalité effectuée par le discriminateur.

Aux figures 2b et 2c, on a représenté les ondes modifiées par le discriminateur et qui vont commander les deux commutateurs S1 et S2. Ainsi qu'on l'observe, la fermeture d'un commutateur rendant la branche conductrice ne se fait plus de manière instantanée, mais s'effectue avec un délai appelé "temps mort", tandis que l'ouverture conduisant à la coupure peut être considérée comme instantanée.

Ainsi que l'on observe aux figures 2b et 2c, on n'a jamais les deux commutateurs simultanément fermés. Par contre, dans certains cas, les deux commutateurs S1 et S2 peuvent être considérés comme ouverts simultanément.

Il en résulte dans ce cas qu'au moins une des deux diodes de roue libre DR1 ou DR2 sera conductrice pendant les temps morts, ceci dépendant du sens du courant. En effet, lorsque le courant est sortant, c'est la diode inférieure DR2 qui conduit pendant le temps mort, diminuant ainsi le temps du niveau haut de la tension de sortie (voir courbe 2d). Dans le cas contraire, à courant entrant, c'est la diode supérieure DR1 qui conduit pendant le temps mort, augmentant dans ce cas le temps du niveau haut de la tension de sortie (voir courbe 2e).

Il convient néanmoins de noter que ce phénomène est variable, puisqu'il dépend du sens du courant.

Dans l'hypothèse où les commutateurs répondraient instantanément à la consigne M, c'est-à-dire dans l'hypothèse où il n'existerait pas de temps mort entre la consigne M et la réponse des commutateurs, on observe que les niveaux d'harmoniques 5 et 7 correspondraient à la théorie et ne perturberaient pas de manière importante les courants moteur.

Néanmoins, du fait de cette présence d'un temps mort à la commutation vers la fermeture, on observe l'augmentation des harmoniques 5 et 7 dans les courants moteur ainsi que de l'harmonique 6 côté alimentation et côté couple moteur. Cette harmonique est particulièrement gênante pour les raisons évoquées ci-dessus.

La présente invention vise à proposer une solution à ce problème en suggérant d'utiliser deux consignes de commande corrigées, l'une pour le cas où le courant est sortant et l'autre pour le cas où le courant est entrant.

La figure 3 représente un schéma de principe d'un dispositif permettant de commander un onduleur conventionnel à deux niveaux en utilisant le procédé selon la présente invention. Dans ce cas, le discriminateur est soit commandé par une consigne corrigée pour courant sortant, soit par une consigne corrigée pour courant entrant. C'est le sens du courant dans la charge qui déterminera si on utilise l'une ou l'autre des deux consignes corrigées.

La figure 4 représente l'onde consigne idéale M (fig. 4a) et chacune des deux consignes corrigées, d'une part pour le courant sortant (fig. 4b) et d'autre part pour le courant entrant (fig. 4c). Ainsi qu'on l'observe dans le cas d'une consigne corrigée pour courant sortant, le niveau haut 1 est augmenté d'un temps T_m correspondant dans le présent cas au temps mort sur le flanc descendant, c'est-à-dire lors d'une transition de l'état haut 1 vers l'état bas 2. Cette transition, correspond en réalité à l'ouverture du commutateur S1 et à la fermeture du commutateur S2. La consigne corrigée pour le courant entrant présente un niveau haut 1 diminué d'un temps T_m correspondant également au temps mort à chaque flanc montant, c'est-à-dire lors de la transition de l'état bas 2 vers l'état haut 1.

On a également représenté aux figures 4d et 4e les tensions de sortie dans le cas où on utilise des consignes corrigées, soit pour courant entrant, soit pour courant sortant. On observe que la correction permet de rendre la tension de sortie de l'onduleur identique dans les deux cas et identique à ce qu'elle serait sans temps mort à un retard T_m près.

La figure 5 représente une vue schématisée d'une branche d'un onduleur conventionnel à deux niveaux avec snubber.

Ce snubber est en réalité une cellule d'aide à la commutation, qui permet d'absorber les pertes de puissance qui apparaissent à chaque commutation des commutateurs S1 et S2 en limitant la tension, et plus particulièrement en limitant sa croissance.

Ainsi que représenté à la figure 5, cette cellule comprend une capacité C1 (ou C2) mise en parallèle sur chaque commutateur, cette capacité étant elle-même en série avec une résistance R1 (ou R2) ainsi qu'une seconde diode D1 (ou D2) qui se présente en sens inverse de celui de la diode de roue libre DR1 (ou DR2).

Ceci permet, lors de l'ouverture d'un commutateur S1 (ou S2), de dévier le courant vers la capacité C1 (ou C2) correspondante qui était initialement non chargée.

Lorsque l'on ferme le commutateur S1 (ou S2), la capacité correspondante C1 (ou C2) se décharge à travers celui-ci. Dans ce cas, le courant de décharge sera limité par la présence de la résistance R1 (ou R2) en série avec la capacité C1 (ou C2), formant ainsi un circuit RC.

De manière générale, à chaque commutation, on observe qu'une des deux capacités va se charger tandis que l'autre commence à se décharger à travers sa résistance

associée.

On observe alors une croissance plus lente de la tension, limitant ainsi la perte de puissance lors de la commutation.

5 La figure 6 représente l'onde consigne M (fig. 6a) ainsi que les tensions correspondantes appliquées au moteur dans le cas d'un courant entrant faible (fig. 6b), dans le cas d'un courant entrant élevé (fig. 6c), dans le cas d'un courant sortant faible (fig. 6d) et dans le cas d'un courant
10 sortant élevé (fig. 6e).

Analysons de manière plus approfondie le cas d'un courant entrant lors d'une transition bas-haut de la consigne M, c'est-à-dire dans le cas où le commutateur S1 va se fermer tandis que le commutateur S2 va s'ouvrir (fig. 6f et 6g).

15 Dans ce cas de figure, on observe que la tension de sortie initialement nulle ne peut s'accroître de manière instantanée. En effet, il faut d'abord charger la capacité C2 du snubber inférieur grâce au courant.

 Si le courant est important, la tension monte vite
20 et la tension de sortie atteint rapidement la tension d'alimentation. Dans ce cas, la diode de roue libre supérieure DR1 conduit et laisse s'écouler le courant vers l'alimentation (fig. 6g).

 Dans le cas où le courant est faible, la tension
25 de sortie appliquée au moteur reste inférieure à la tension d'alimentation au terme du temps mort. A ce moment, la commutation du commutateur supérieur S1 s'effectue et la capacité C2 du snubber inférieur est chargée brutalement (fig. 6f).

30 Ceci signifie que l'on observe une déformation des tensions appliquées au moteur qui dépend d'une part du sens du courant, mais également de sa valeur.

De ce fait, il conviendrait de proposer une consigne corrigée qui dépende non seulement du sens du courant, mais également de son intensité dans le cas de la commande d'un onduleur avec cellule d'aide à la commutation.

5 En particulier, la consigne corrigée devrait présenter, selon qu'il s'agit d'un courant sortant ou entrant, un niveau 1 augmenté ou diminué d'un temps correspondant à un temps appelé "temps efficace" qui tiendrait compte de la valeur du courant.

10 En pratique, pour un certain courant I_T , le temps de charge du snubber est équivalent au temps mort, à savoir

$$I_T = \frac{C \times U_0}{T_{mort}}$$

Pour $I > I_T$, l'effet du temps mort est équivalent à un délai T_{eff} :

$$T_{eff} = T_{mort} \left(1 - \frac{I_T}{2|I|} \right)$$

15 Pour $I < I_T$, l'effet du temps mort est équivalent à un délai T_{eff} :

$$T_{eff} = T_{mort} \frac{|I|}{2I_T}$$

De cette manière, on compense ainsi l'effet réel d'un temps mort lors de la commutation vers la fermeture et on réduit le niveau d'harmonique 6 côté alimentation.

20 Il convient de noter que l'on peut envisager dans certains cas, et plus particulièrement dans le cas où un courant est faible et quel que soit le sens de ce courant, de ne pas utiliser de consignes corrigées. En effet, dans le cas de faibles courants, l'influence de ces corrections est

relativement limitée.

On a également représenté aux figures 7 l'allure générale des courants moteur soit dans le cas où l'on n'applique pas le procédé selon la présente invention (fig. 7a), soit dans le cas où on applique ce procédé (fig. 7b), pour un onduleur sans snubber.

En particulier, on observe l'élimination de la distorsion due à la présence d'un temps mort qui se présente dans le cas où l'on n'utilise pas de consignes corrigées en appliquant le procédé selon la présente invention.

On a représenté aux figures 8 les harmoniques 5 et 7 côté courant ainsi que l'harmonique 6 côté alimentation, d'une part dans le cas où l'on n'applique pas le procédé selon la présente invention (voir figs. 8a et 8b) et d'autre part dans le cas où l'on applique ce procédé (figs. 8c et 8d).

On observe à nouveau que les harmoniques 5 et 7 dans le moteur dues à la présence d'un temps mort lors des commutations ont fortement diminué, tandis que l'harmonique 6 vue côté alimentation est ramenée à des valeurs négligeables.

Exactement les mêmes performances peuvent être obtenues pour un onduleur avec snubber.

REVENDICATIONS.

1. Procédé de traitement d'ondes PWM destinées à un onduleur de tension ou à un redresseur commandé de tension, comprenant au moins une paire de commutateurs, cet
5 onduleur ou redresseur étant commandé par un modulateur et un discriminateur, caractérisé en ce que l'on applique au discriminateur deux consignes corrigées en fonction du sens du courant dans la charge ou dans la source, la consigne corrigée pour le courant sortant présentant un état haut
10 augmenté d'un délai lors de la transition de l'état haut vers l'état bas, et la consigne corrigée pour le courant entrant présentant un état bas augmenté d'un délai lors de la transition de l'état bas vers l'état haut, l'état haut étant défini par le fait que le commutateur relié à la charge la
15 plus positive est fermé tandis que le commutateur relié à la charge la plus négative est ouvert, l'état bas étant défini par l'inverse.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le délai introduit dans les consignes corrigées
20 correspond essentiellement au temps mort lui-même introduit par le discriminateur lors de l'opération de fermeture des commutateurs, ceci dans le cas où l'on utilise un onduleur ou un redresseur sans cellule d'aide à la commutation.

3. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le délai introduit dans les consignes corrigées
25 dépend non seulement du sens du courant mais également de sa valeur, ceci dans le cas où l'on utilise un onduleur ou un redresseur avec cellule d'aide à la commutation.

4. Dispositif pour la mise en oeuvre du procédé
30 selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend un modulateur qui à partir d'une onde consigne, crée deux consignes corrigées en

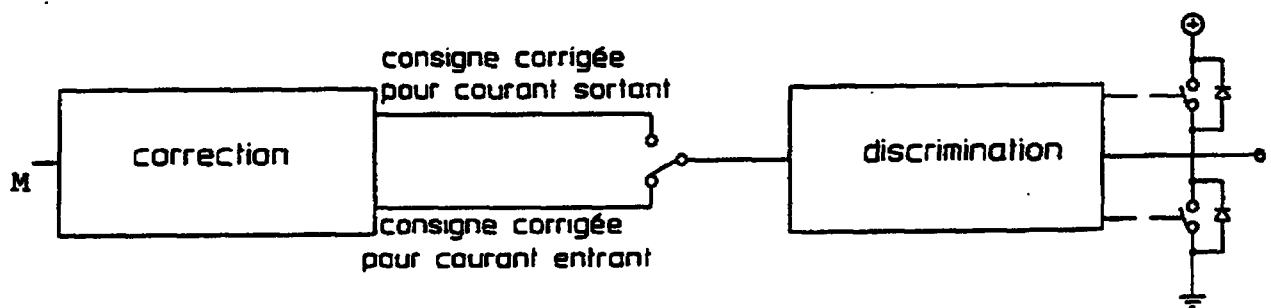
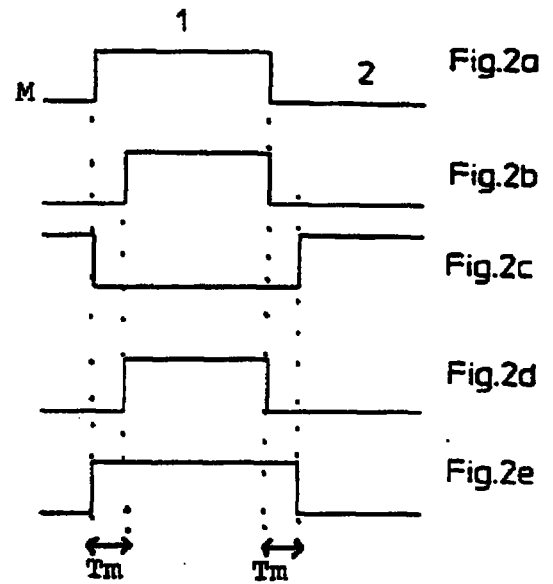
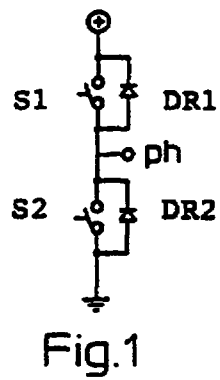


fonction du courant sortant et du courant entrant qui seront appliquées au discriminateur.

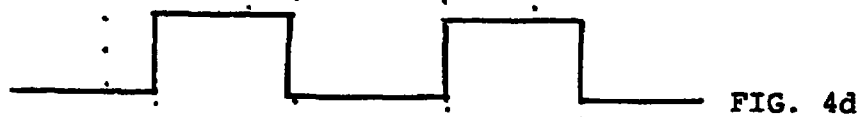
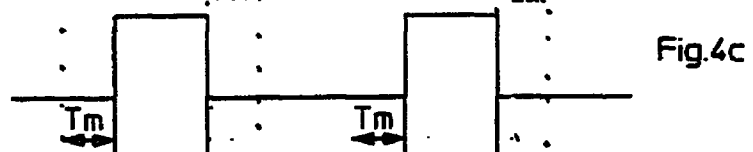
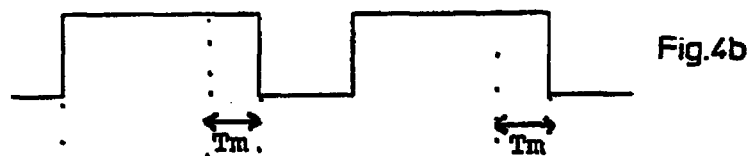
5. Utilisation du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3 ou du dispositif selon la
- 5 revendication 4 pour un onduleur ou un redresseur commandé de tension avec ou sans cellule d'aide à la commutation, à deux niveaux ou multi-niveaux.



1/10



2/10



3 / 10

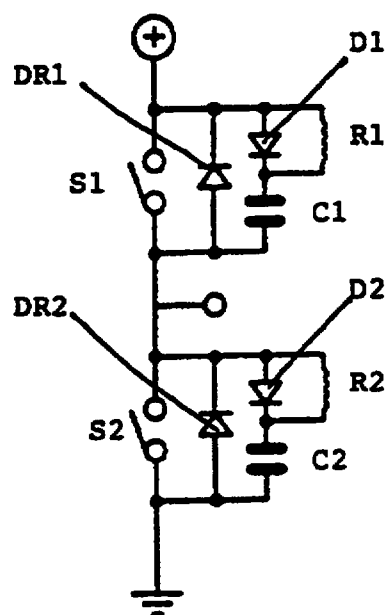
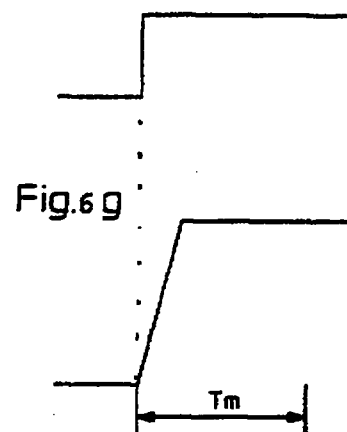
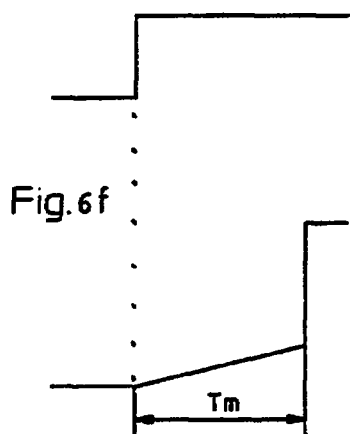
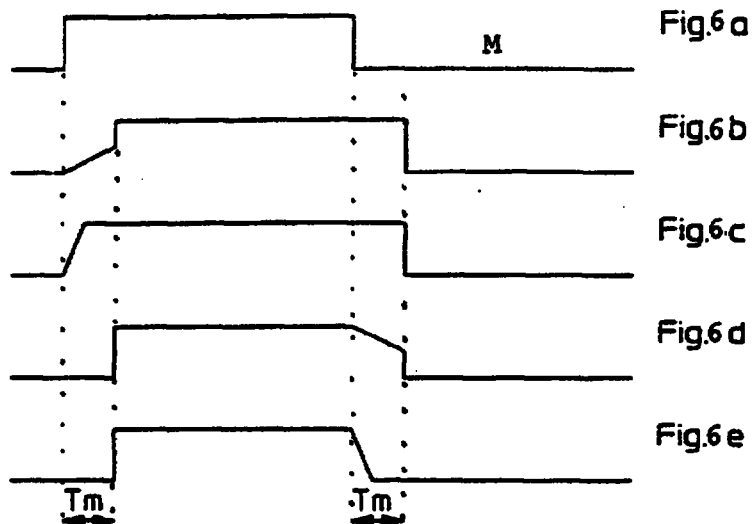


Fig .5

4 / 10.



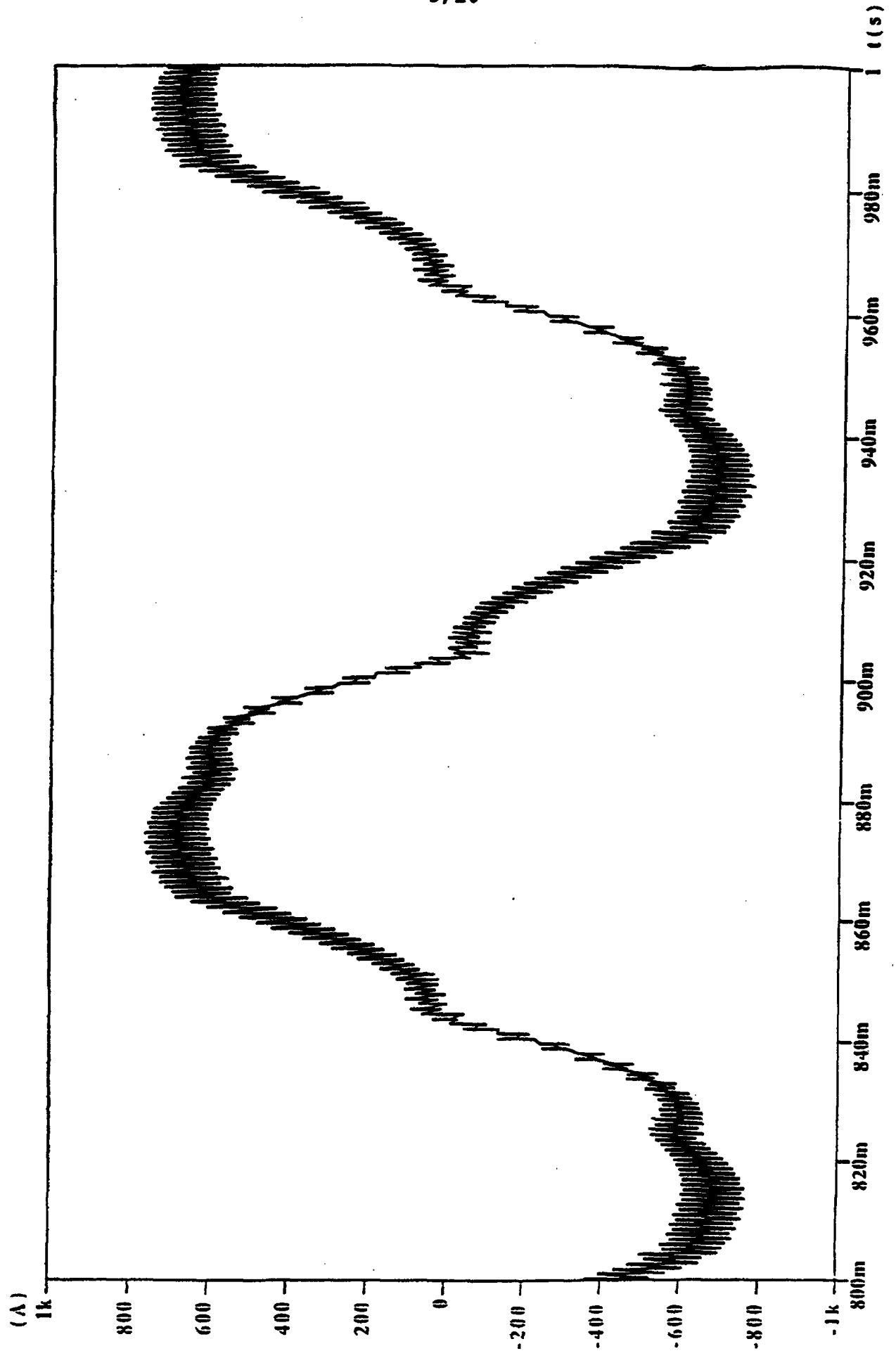


Fig.7a

6/10.

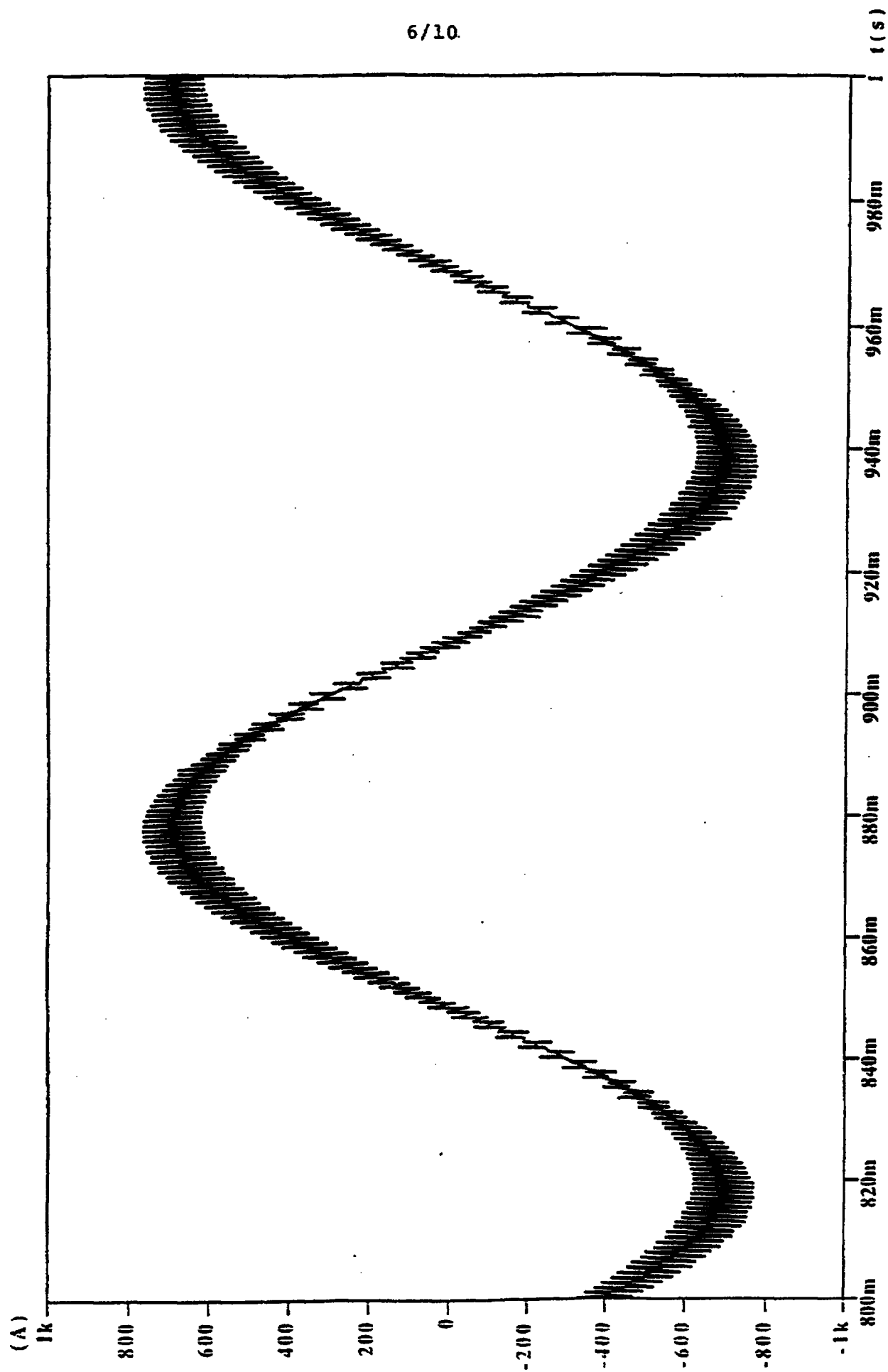
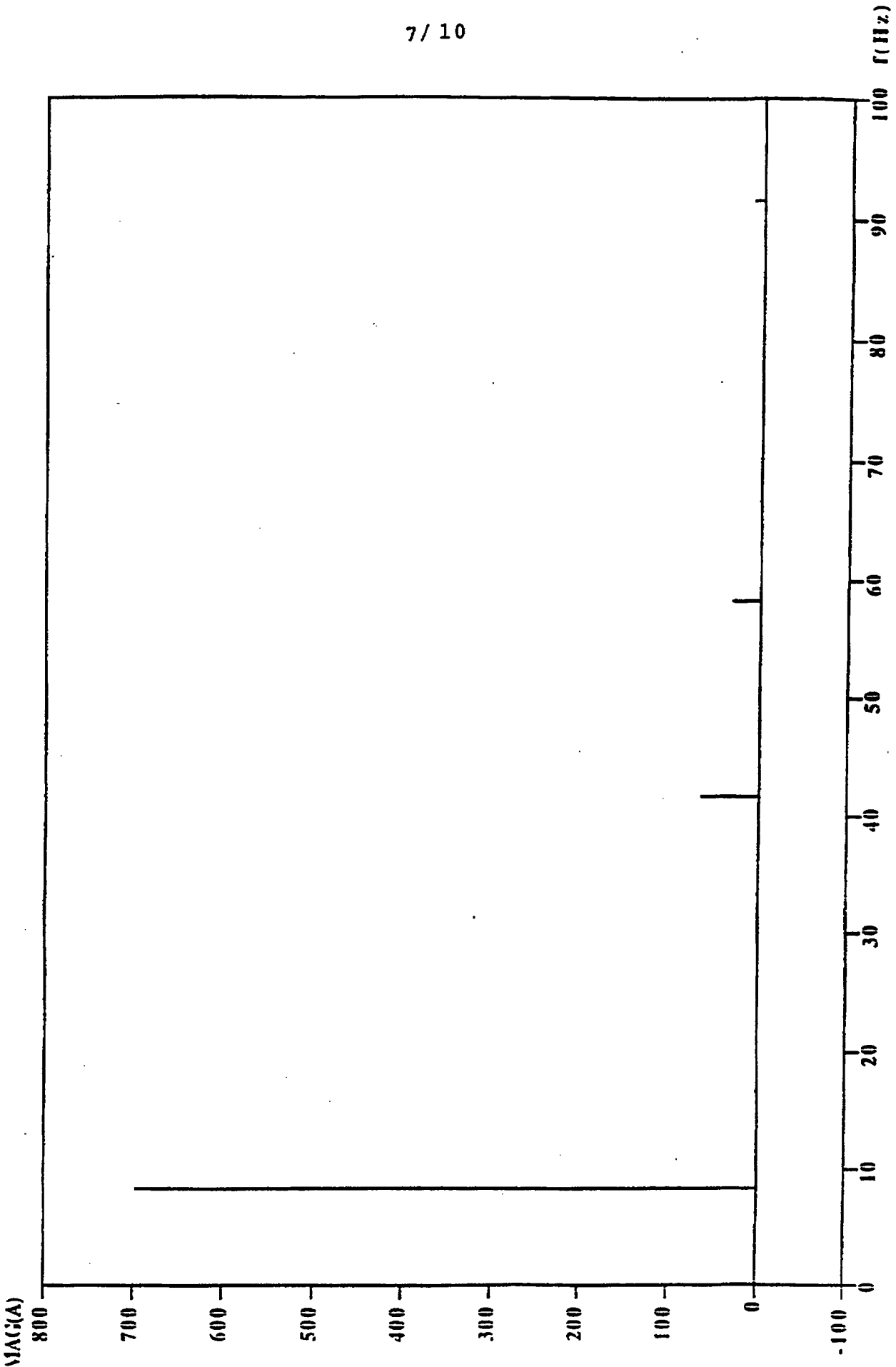


Fig.7b

7/ 10



8/10

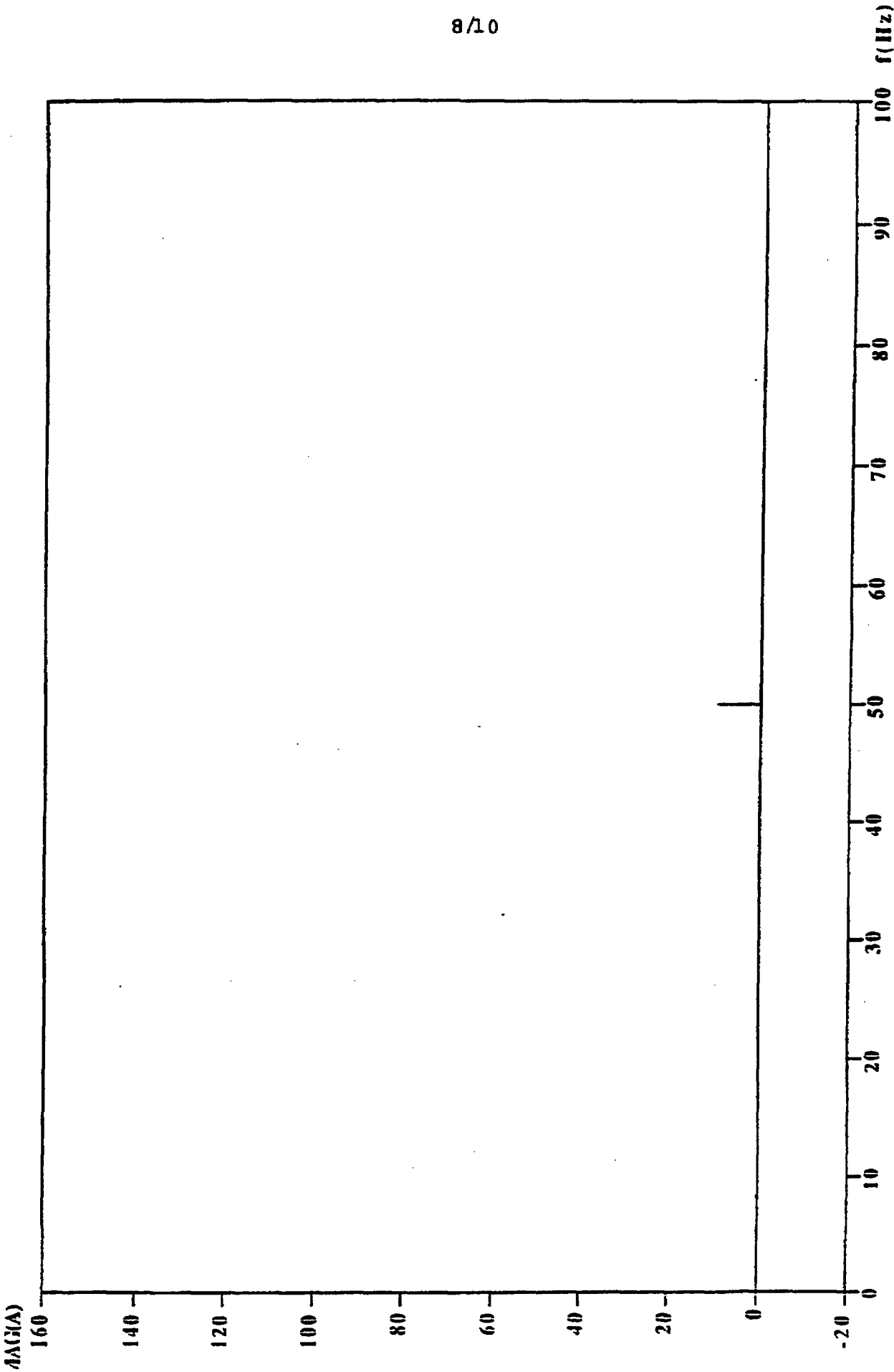
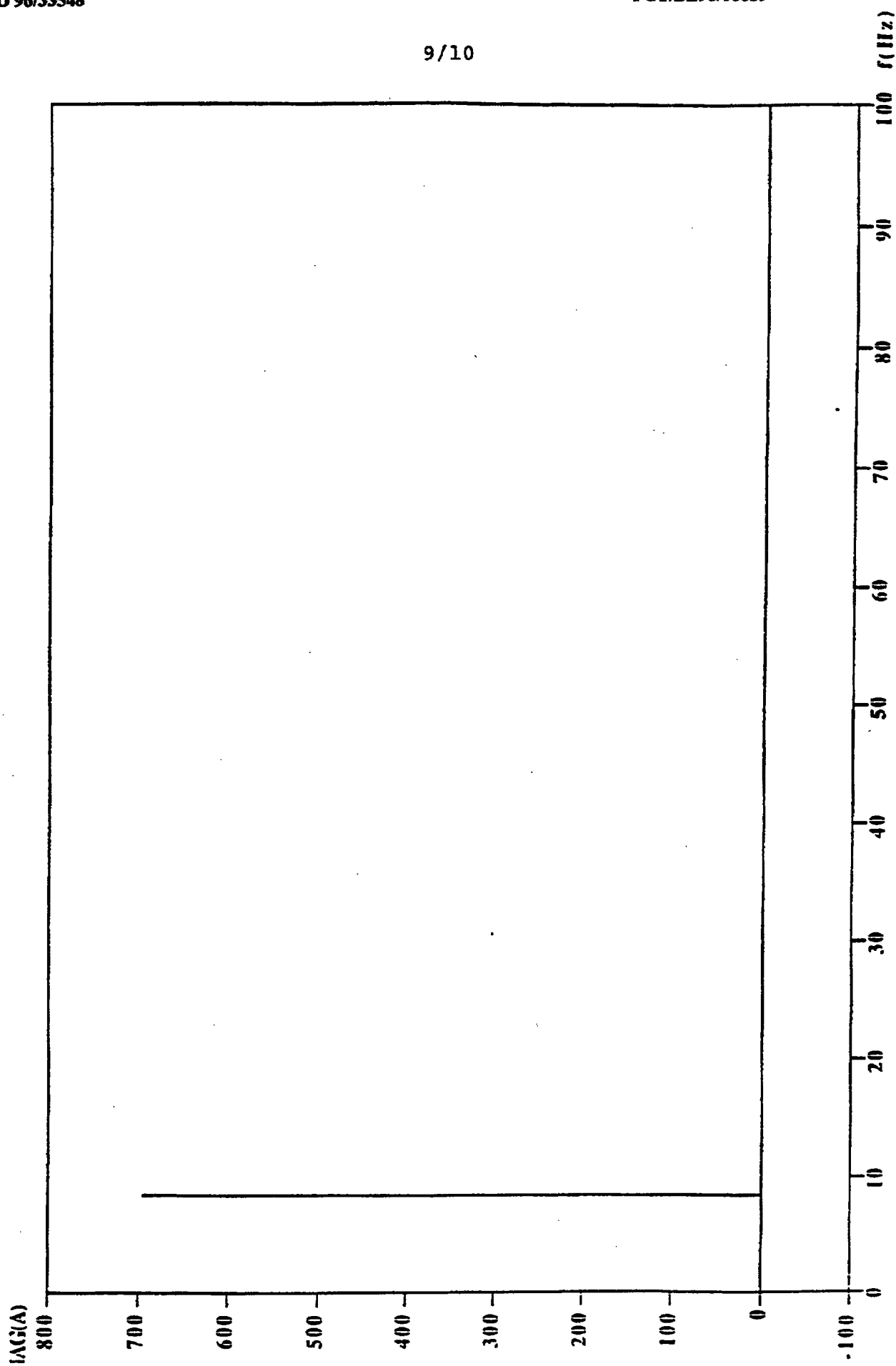
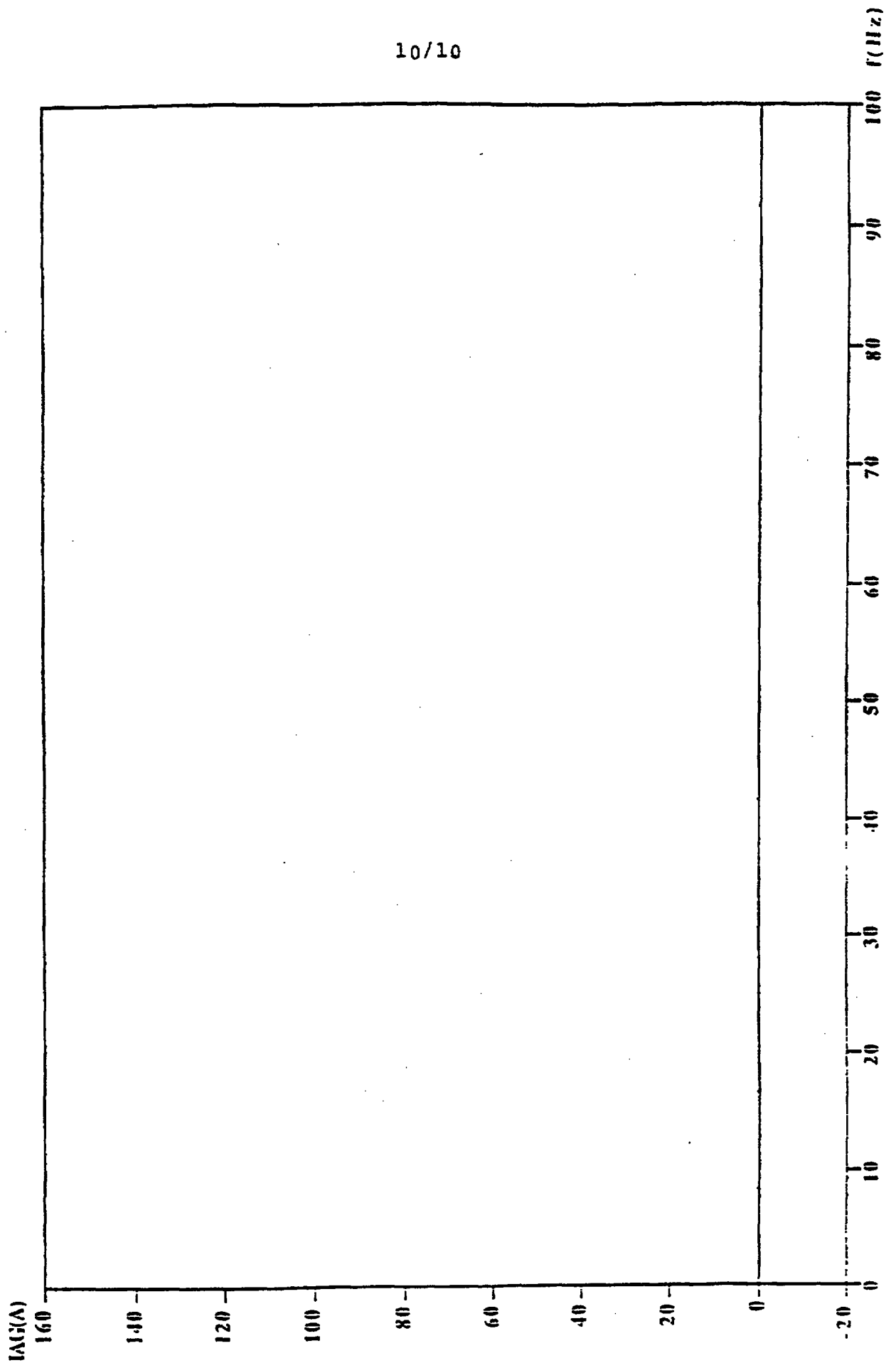


Fig.8b

9/10



10/10



**METHOD FOR PROCESSING PWM WAVES AND
DEVICES APPLYING THIS METHOD**

Subject of the invention.

5 The present invention relates to a method for processing PWM waves intended for an inverter or a controlled rectifier, and more particularly with a view to obtaining the reduction of harmonics.

10 The present invention also relates to devices for implementing the method according to the present invention.

Prior art relevant to the invention.

15 Inverters, and more particularly voltage inverters, are intended to deliver an AC voltage from a DC voltage, whereas controlled rectifiers are intended to deliver a DC voltage from an AC voltage.

20 In the following description, reference will more particularly be made to inverters, but exactly the same problems arise for controlled rectifiers.

 By way of example, inverters can be used for variable-speed control of synchronous or asynchronous machines.

25 In this case, it is necessary to supply the load, and more particularly each phase of a synchronous or asynchronous motor, with a three-phase voltage system as close as possible to a balanced sinusoidal three-phase system that can vary in frequency and in amplitude.

30 Voltage inverters are well-known devices which generally use circuits of power components such as thyristors, GTOs, etc. which switch particularly quickly.

35 An inverter is controlled by a modulator and a discriminator. The role of the modulator is to create a set wave, whereas the discriminator makes it possible to split this wave into a plurality of waves which are intended for individually controlling the various switches.

The simplest inverters have two levels and are composed of two switches (thyristors, GTOs, etc.) which alternately supply the load. Since this load is of the inductive type, it is necessary for a diode referred to
5 as a "free-wheeling diode" to be placed in parallel with the switch in order to allow the load current to flow when the corresponding switch is open.

A simple square wave is customarily used as the set wave, in order to allow switching of one or other
10 of the switches at each edge of the pulse. This square wave should successively close one or other of the switches and simultaneously open the opposite switch.

For obvious reasons of supply short-circuit, it is essential to check that two switches are never
15 closed at the same time. It is here that the discriminator is involved, having the purpose of introducing a delay on closure of the corresponding switches, so that it is always certain that, when the command to close one switch is given, the opposite
20 switch is already open.

This means that there is always a slight delay, referred to as "dead time" between the instant when one switch is opened and the instant when the opposite switch is closed, these two operations being therefore
25 never simultaneous.

This is the cause of the presence of undesirable harmonics, and more particularly of the 5th and 7th harmonics which appear in the motor currents, this generating the presence of a 6th harmonic on the supply
30 side and the drive torque side.

In reality, it is the 6th harmonic which is the most problematic because, for a motor supplied at $1/6$ of the frequency used for signalling, there will be a risk of interference. By way of example, the motor
35 supplied at $8 \frac{1}{3}$ Hz risks causing a perturbation in the signalling system which uses 50 Hz.

Another problem resides in the fact that the various switches cannot switch instantaneously from a zero value (current on, corresponding to closure) to a

positive value of the voltage (current off and corresponding to opening) and vice versa. This means that, for a certain time lapse, there is simultaneously a non-zero voltage and non-zero current, and a loss of power is therefore observed each time switching takes place.

In order to solve this problem, in the case when the various components cannot sustain a power loss of this type, it is known to propose a switching-aid cell. An example of a cell of this type may consist simply of a snubber which essentially comprises a capacitor connected in parallel on each switch. The purpose of this snubber is to absorb the power losses by limiting the voltage, and more particularly by limiting its growth, on switching. Another example of a cell which is often used in combination with the snubber is the so-called "di/dt" cell, which essentially comprises an inductor in series with the switches. Because of the presence of these various switching-aid cells, a slower increase in the voltage is observed, which makes it possible to limit the power losses on switching.

The problem of the presence of harmonics is essentially the same for an inverter with or without a switching-aid cell. In particular, the presence of 5th and 7th harmonics on the motor side is also observed in the case of using an inverter with a snubber, as is the presence of the 6th harmonic on the supply side and the drive torque side.

It should be noted that, in the case of controlled rectifiers, exactly the same problems arise, except for the fact that the load should in this case be considered as the source, and the supply as being the load.

Objects of the invention.

The object of the present invention is to provide a method which makes it possible to reduce, or eliminate, the effect of the dead times in an inverter or a controlled rectifier, and therefore makes it

possible to reduce the effect of the undesirable harmonics.

The object of the present invention is, in particular, to provide a method which can be applied to
5 inverters or control rectifiers, with or without a switching-aid cell, irrespective of whether they have two levels or multiple levels.

In particular, the object of the present invention is, in the case of a three-phase inverter
10 supplying a synchronous or asynchronous motor, to provide a method which makes it possible to reduce the undesirable harmonics such as the 5th and 7th harmonics appearing in the motor currents, and thereby the 6th harmonic appearing on the supply side and the drive
15 torque side.

Principal characteristic elements of the invention.

The present invention relates to a method for processing PWM waves intended for a voltage inverter or a voltage-controlled rectifier, comprising at least one
20 pair of switches, this inverter or rectifier being controlled by a modulator and a discriminator, characterized in that two set signals, corrected as a function of the direction of the current in the load or in the source, are applied to the discriminator, the
25 set signal corrected for the output current having a high state supplemented by a delay on transition from the high state to the low state, and the set signal corrected for the input current having a low state supplemented by a delay on transition from the low
30 state to the high state, the high state being defined by the fact that the switch connected to the most positive load is closed whereas the switch connected to the most negative load is open, the low state being defined by the reverse.

35 In the case when the inverter or rectifier does not have a switching-aid cell, the corrected set signals introduce delays which correspond to the dead time created itself by the discriminator.

In the case involving an inverter or rectifier with a switching-aid cell, the delay introduced in the corrected set signals depends not only on the direction of the current but also on its value.

5 It should be noted that the present method can be applied equally well to inverters or rectifiers with two levels and to multi-level inverters or rectifiers.

The present invention also relates to a device for implementing the method.

10 **Brief description of the figures**

The present invention will be described in more detail with reference to the following figures:

Figure 1 represents a schematized view of a branch of a conventional two-level inverter.

15 Figure 2 represents the set wave (Fig. 2a) created by the modulator for an inverter as described in Figure 1, as well as the waves which are obtained at the output of the discriminator and are intended for directly controlling the switches (Figs. 2b and 2c) and the corresponding voltages applied in this case to the motor (Figs. 2d and 2e).

20 Figure 3 represents a block diagram of a device for implementing the method according to the invention.

25 Figure 4 represents the corrected waves (Figs. 4b and 4c) for a given set wave (Fig. 4a) to be applied to a two-level inverter as described in Figure 1 in order to implement the method according to the present invention as well as the output voltages applied in this case to the motor (Figs. 4d and 4e).

30 Figure 5 represents a schematized view of a branch of a conventional two-level inverter with a snubber.

35 Figure 6 represents the set wave (Fig. 6a) created by the modulator and intended to control an inverter as described in Figure 5, as well as the output voltages applied in this case to

the motor for a low or high input current (Figs. 6b and 6c) and for a low or high output current (Figs. 6d and 6e), Figs 6f and 6g representing details of Figures 6b and 6c.

- 5 Figure 7 represents the general shape of the motor current, on the one hand when not applying the method according to the present invention (Fig. 7a), and on the other hand, applying this method (Fig. 7b).
- 10 Figure 8 represents the harmonics, and more particularly the 5th and 7th harmonics on the motor side, as well as the 6th harmonic on the supply side, on the one hand when the method according to the present invention is
- 15 not applied (Figs. 8a and 8b) and, on the other hand, when this method is applied (Figs. 8c and 8d).

Description of several preferred embodiments of the invention.

- 20 In this section, the description is limited to a two-level inverter. The person skilled in the art will find it easy to generalize this description to a multi-level inverter as well as to a two-level or multi-level rectifier.

- 25 Figure 1 schematically represents a branch of a conventional two-level inverter which is used in the context of the present invention. In conventional fashion, this inverter comprises two switches S1 and S2 which alternately supply a load that may, for example,
- 30 be a phase of an asynchronous motor. In this case, the load is of the inductive type and it is necessary for each of the two switches S1 and S2 to be connected in parallel with a diode, which is referred to as a "free-wheeling diode" DR1 or DR2, which allows the load
- 35 current to flow when the corresponding switch is open. Indeed, the presence of this diode allows the inductive load current to decrease and thus makes it possible to avoid any destructive overvoltage when the corresponding switch is opened.

The inverter is controlled by a modulator and a discriminator.

Figure 2a represents a set wave M which is in the form of successive pulses. When the high level 1 is reached, this means that the switch S1 is to be closed and the switch S2 is to be open. Conversely, when the low level 2 is reached, the switch S2 is to be closed whereas the switch S1 is to be opened. Consequently, at each leading or trailing edge, it is necessary to switch instantaneously the switch S1 in order to close it and the switch S2 in order to open it, or vice versa.

Of course, a check should be made that the two switches (S1 and S2) are never simultaneously closed, which would short-circuit the supply. In order to avoid this situation, the instant when one switch is closed is delayed for a certain length of time after the set signal has been given. In reality, this task is performed by the discriminator.

Figures 2b and 2c represented the waves which are modified by the discriminator and which will control the two switches S1 and S2. As can be seen, the closure of a switch turning the branch on does not take place instantaneously, but happens with a delay referred to as the "dead time", whereas the opening leading to a break may be considered as instantaneous.

As can be seen in figures 2b and 2c, the two switches are never simultaneously closed. Conversely, in certain cases, the two switches S1 and S2 may be considered as opened simultaneously.

The result of this is that at least one of the two free-wheeling diodes DR1 or DR2 will be on during the dead times, this depending on the direction of the current. Specifically, when the current is an output current, it is the lower diode DR2 which is on during the dead time, thus reducing the high-level time of the output voltage (see curve 2d). In the opposite case, with an input current, it is the upper diode DR1 which

is on during the dead time, in this case increasing the high-level time of the output voltage (see curve 2e).

It should, however, be noted that this phenomenon is variable, since it depends on the direction of the current.

With the assumption that the switches respond instantaneously to the set signal M , that is to say with the assumption that there is no dead time between the set signal M and the response of the switches, it is found that 5th and 7th harmonic levels correspond to theory and do not significantly perturb the motor currents.

Nevertheless, because of this presence of a dead time on switching to closure, an increase in the 5th and 7th harmonics is observed in the motor currents, as well as in the 6th harmonic on the supply side and the drive torque side. This harmonic is particularly problematic for the reasons set out above.

The object of the present invention is to provide a solution to this problem by suggesting the use of two corrected control set signals, one for the case when the current is an output current and the other for the case when the current is an input current.

Figure 3 represents a block diagram of a device for controlling a conventional two-level inverter by using the method according to the present invention. In this case, the discriminator is either controlled by a set signal corrected for an output current, or by a set signal corrected for an input current. It is the direction of the current in the load which will determine whether one or other of the two corrected set signals is used.

Figure 4 represents the ideal set wave M (Fig. 4a) and each of the two corrected set signals, on the one hand for the output current (Fig. 4b) and on the other hand for the input current (Fig. 4c). As can be seen in the case of a set signal corrected for an output current, the high level 1 is supplemented by a

time T_m which, in the present case, corresponds to the dead time on the trailing edge, that is to say on a transition from the high state 1 to the low state 2. This transition corresponds in reality to the opening
 5 of the switch 1 and to the closure of the switch 2. The set signal corrected for the input current has a high level 1 decreased by a time T_m which also corresponds to the dead time at each leading edge, that is to say on transition from the low state 2 to the high state 1.

10 Furthermore, Figures 4d and 4e represent the output voltages in the case when corrected set signals are used, either for an input current or an output current. It is observed that the correction allows the output voltage of the inverter to be made identical in
 15 both cases, and identical to what it would be without a dead time, to within a delay T_m .

Figure 5 represents a schematized view of a branch of a conventional two-level inverter with a snubber.

20 This snubber is in reality a switching-aid cell, which makes it possible to absorb the power losses which occur each time the switches S1 and S2 are switched, by limiting the voltage, and more particularly by limiting its increase.

25 As represented in Figure 5, this cell comprises a capacity C1 (or C2) connected in parallel on each switch, this capacitor being itself in series with a resistor R1 (or R2) as well as a second diode D1 (or D2) which is in the opposite direction to the free-wheeling diode DR1 (or DR2).
 30

When a switch S1 (or S2) is opened, this makes it possible to divert the current to the corresponding capacitor C1 (or C2), which was initially uncharged.

35 When the switch S1 (or S2) is closed, the corresponding capacitor C1 (or C2) discharges through it. In this case, the discharge current will be limited by the presence of the resistor R1 (or R2) in series with the capacitor C1 (or C2), thus forming an RC circuit.

In general, each time switching takes place, it is observed that one of the two capacitors will charge whereas the other starts to discharge through its associated resistor.

5 A slower increase in the voltage is then observed, thus limiting the power loss from switching.

Figure 6 represents the set wave M (Fig. 6a) as well as the corresponding voltages applied to the motor in the case of a low input current (Fig. 6b), in the
10 case of a high input current (Fig. 6c), in the case of a low output current (Fig. 6d) and in the case of a high output current (Fig. 6e).

Let us analyse in more depth the case of an input current on a low/high transition of the set
15 signal M, that is to say in the case when the switch S1 is to close whereas the switch S2 is to open (Figs. 6f and 6g).

In this figurative case, it is found that the initially zero output voltage cannot increase instant-
20 aneously. This is because it is first necessary to charge the capacitor C2 of the lower snubber using the current.

If the current is high, the voltage rises quickly and the output voltage rapidly reaches the
25 supply voltage. In this case, the upper free-wheeling diode DR1 conducts and allows the current to flow to the supply (Fig. 6g).

In the case when the current is low, the output voltage applied to the motor remains less than the
30 supply voltage at the end of the dead time. At this moment, the switching of the upper switch S1 takes place and the capacitor C2 of the lower snubber is charged suddenly (Fig. 6f).

This means that a deformation is observed in
35 the voltages supplied to the motor, this depending both on the direction of the current and also on its value.

For this reason, a corrected set signal should be proposed which depends not only on the direction of

the current but also on its strength, in the case of controlling an inverter with a switching-aid cell.

In particular, the corrected set signal should, depending on whether an output or an input current is involved, have a level 1 supplemented or reduced by a
5 time corresponding to a time referred to as the "effective time", which takes into account the value of the current.

In practice, for a certain current I_T , the
10 charging time of the snubber is equivalent to the dead time, namely

$$I_T = \frac{C X U_0}{T_{dead}}$$

For $I > I_T$, the effect of the dead time is
15 equivalent to a delay T_{eff} :

$$T_{eff} = T_{dead} \left(1 - \frac{I_T}{2|I|} \right)$$

For $I < I_T$, the effect of the dead time is
20 equivalent to a delay T_{eff} :

$$T_{eff} = T_{dead} \frac{|I|}{2I_T}$$

In this way, compensation is thus made for the
25 actual effect of a dead time on switching to closure, and the level of the 6th harmonic on the supply side is reduced.

It should be noted that, in certain cases, and more particularly in the case when a current is low,
30 and irrespective of the direction of this current, it may be envisaged not to use corrected set signals. This is because, in the case of low currents, the influence of these corrections is relatively limited.

Furthermore, Figures 7 represent the general
35 appearance of the motor currents, either in the case when the method according to the present invention is

not applied (Fig. 7a), or in the case when this method is applied (Fig. 7b), for an inverter without a snubber.

5 Elimination is observed of the distortion due to the presence of a dead time which exists in the case when corrected set signals are not used, by applying the method according to the present invention.

10 Figures 8 represent the 5th and 7th harmonics on the current side, as well as the 6th harmonic on the supply side, on the one hand in the case when the method according to the invention is not applied (see Fig. 8a and 8b), and on the other hand in the case when this method is applied (Fig. 8c and 8d).

15 It is again observed that the 5th and 7th harmonics in the motor, which are due to the presence of a dead time when switching takes place, have been greatly reduced, whereas the 6th harmonic seen on the supply side is brought to negligible values.

20 Exactly the same performance can be obtained for an inverter with a snubber.

CLAIMS

1. Method for processing PWM waves intended for a voltage inverter or a voltage-controlled rectifier, comprising at least one pair of switches, this inverter or rectifier being controlled by a modulator and a discriminator, characterized in that two set signals, corrected as a function of the direction of the current in the load or in the source, are applied to the discriminator, the set signal corrected for the output current having a high state supplemented by a delay on transition from the high state to the low state, and the set signal corrected for the input current having a low state supplemented by a delay on transition from the low state to the high state, the high state being defined by the fact that the switch connected to the most positive load is closed whereas the switch connected to the most negative load is open, the low state being defined by the reverse.
2. Method according to Claim 1, characterized in that the delay introduced into the corrected set signals corresponds essentially to the dead time itself introduced by the discriminator during the operation of closing the switches, this being in the case when an inverter or a rectifier is used without a switching-aid cell.
3. Method according to Claim 1, characterized in that the delay introduced into the corrected set signals depends not only on the direction of the current but also on its value, this being in the case when an inverter or a rectifier is used with a switching-aid cell.
4. Device for implementing the method according to any one of the preceding claims, characterized in that it comprises a modulator which, on the basis of a set wave, creates two set signals which are corrected as a function of the output current and the input current and will be applied to the discriminator.





5. Use of the method according to any one of Claims 1 to 3 or of the device according to Claim 4 for an inverter or a voltage-controlled rectifier with or without a switching-aid cell, having two levels or 5 having multiple levels.



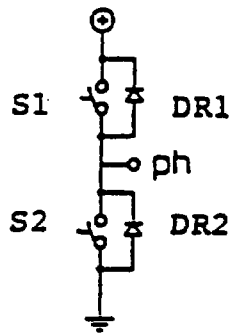


Fig. 1

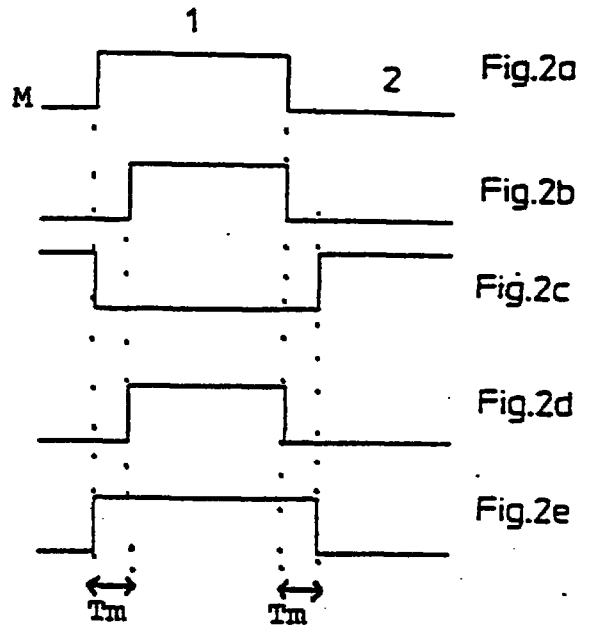


Fig. 2a

Fig. 2b

Fig. 2c

Fig. 2d

Fig. 2e

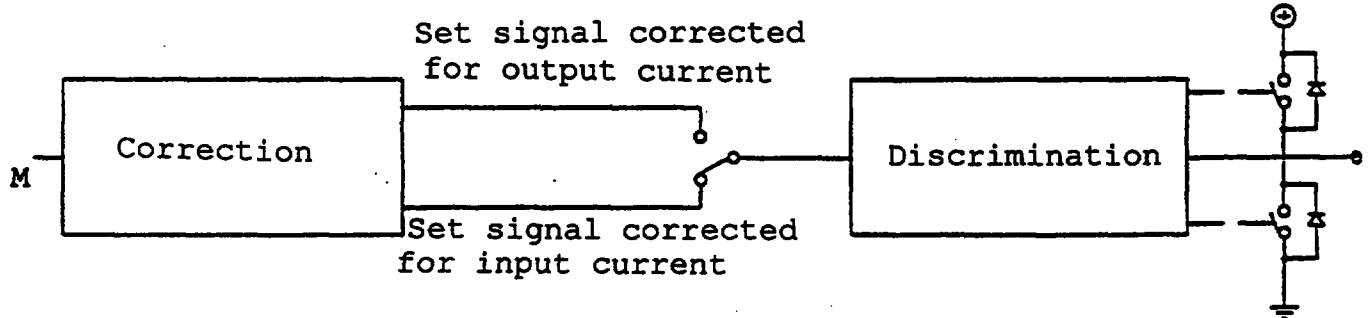
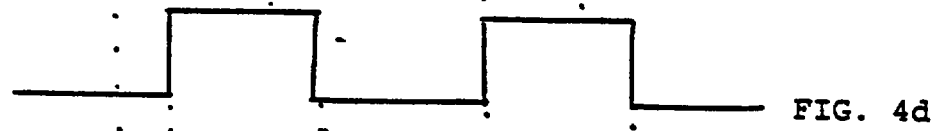
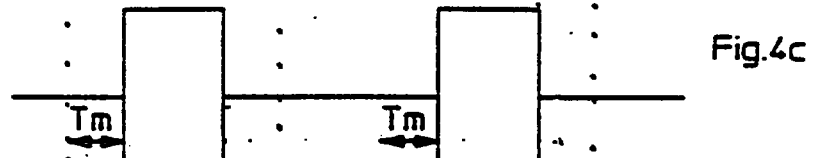
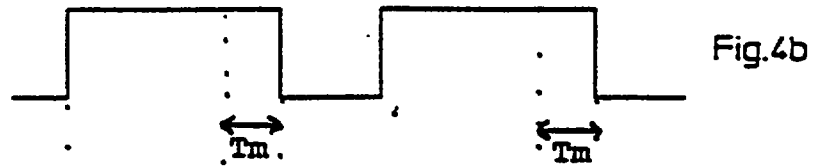


FIG. 3.



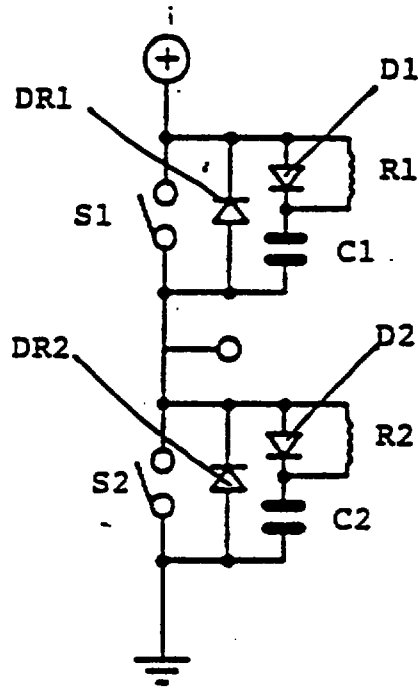
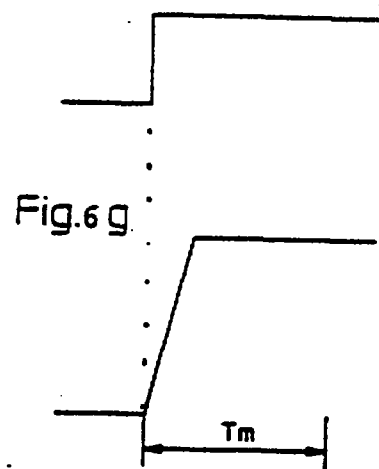
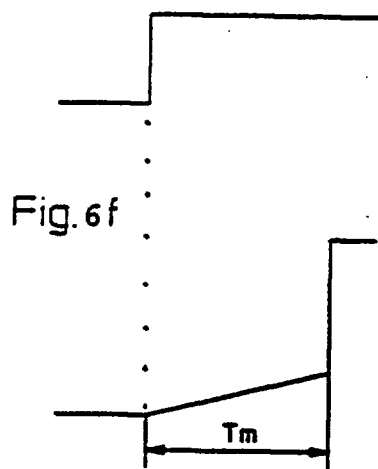
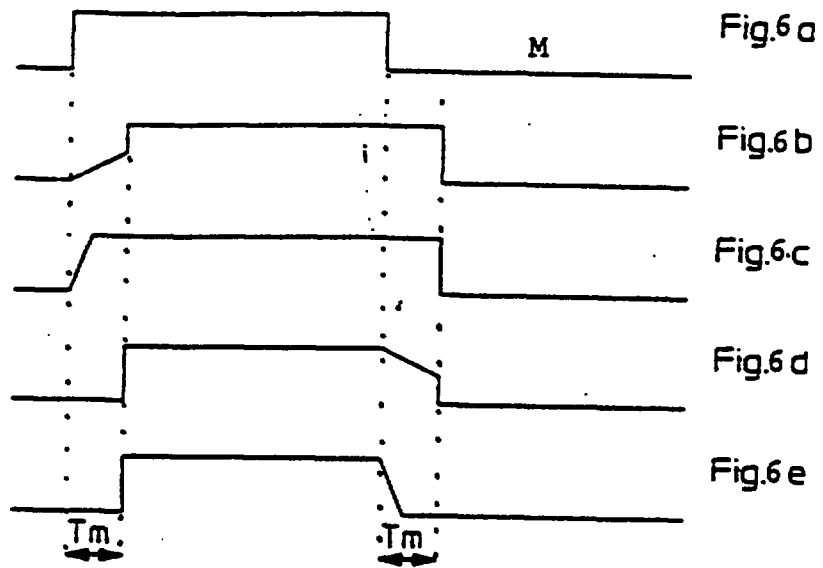


Fig .5



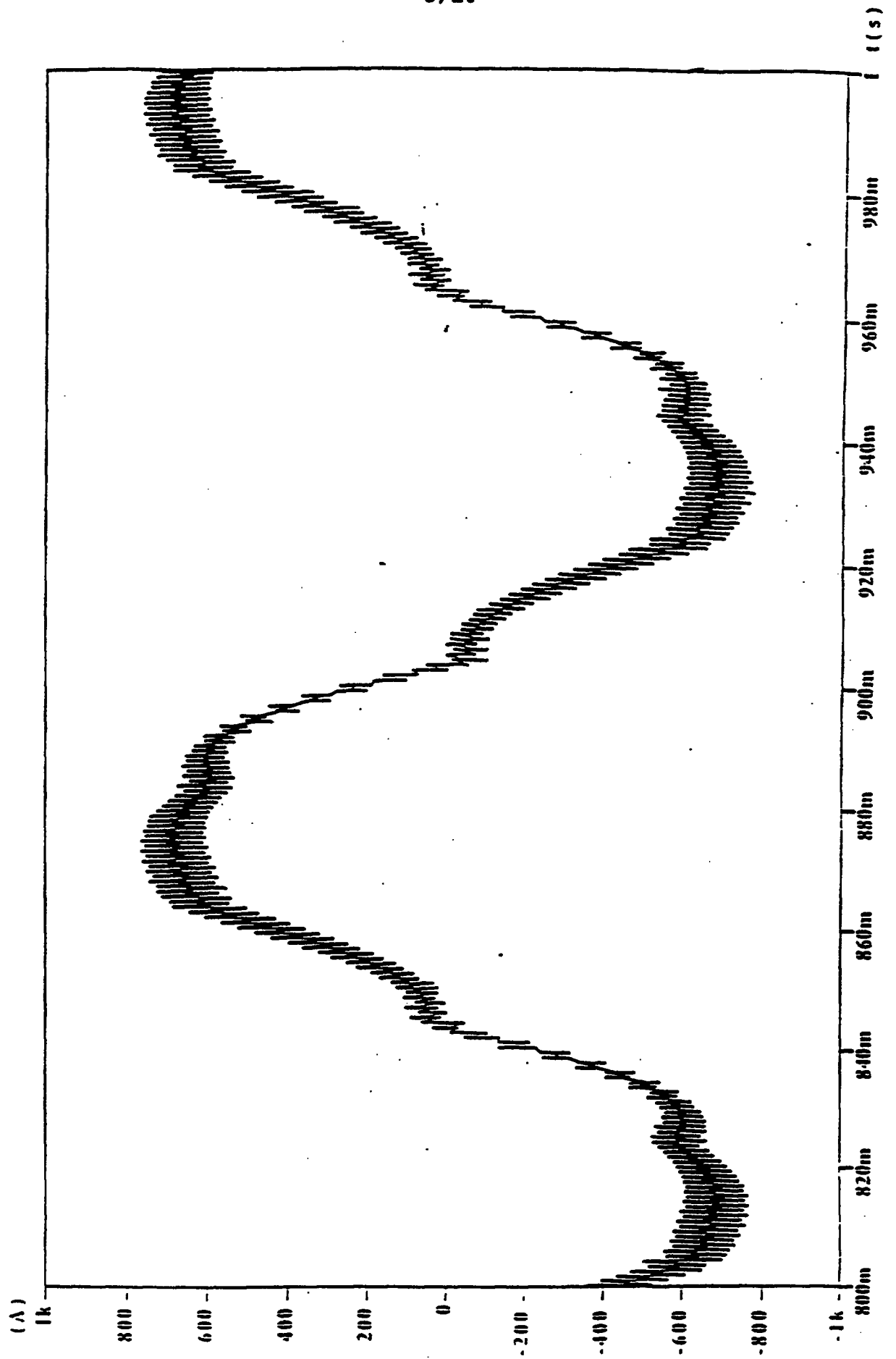


Fig. 7a

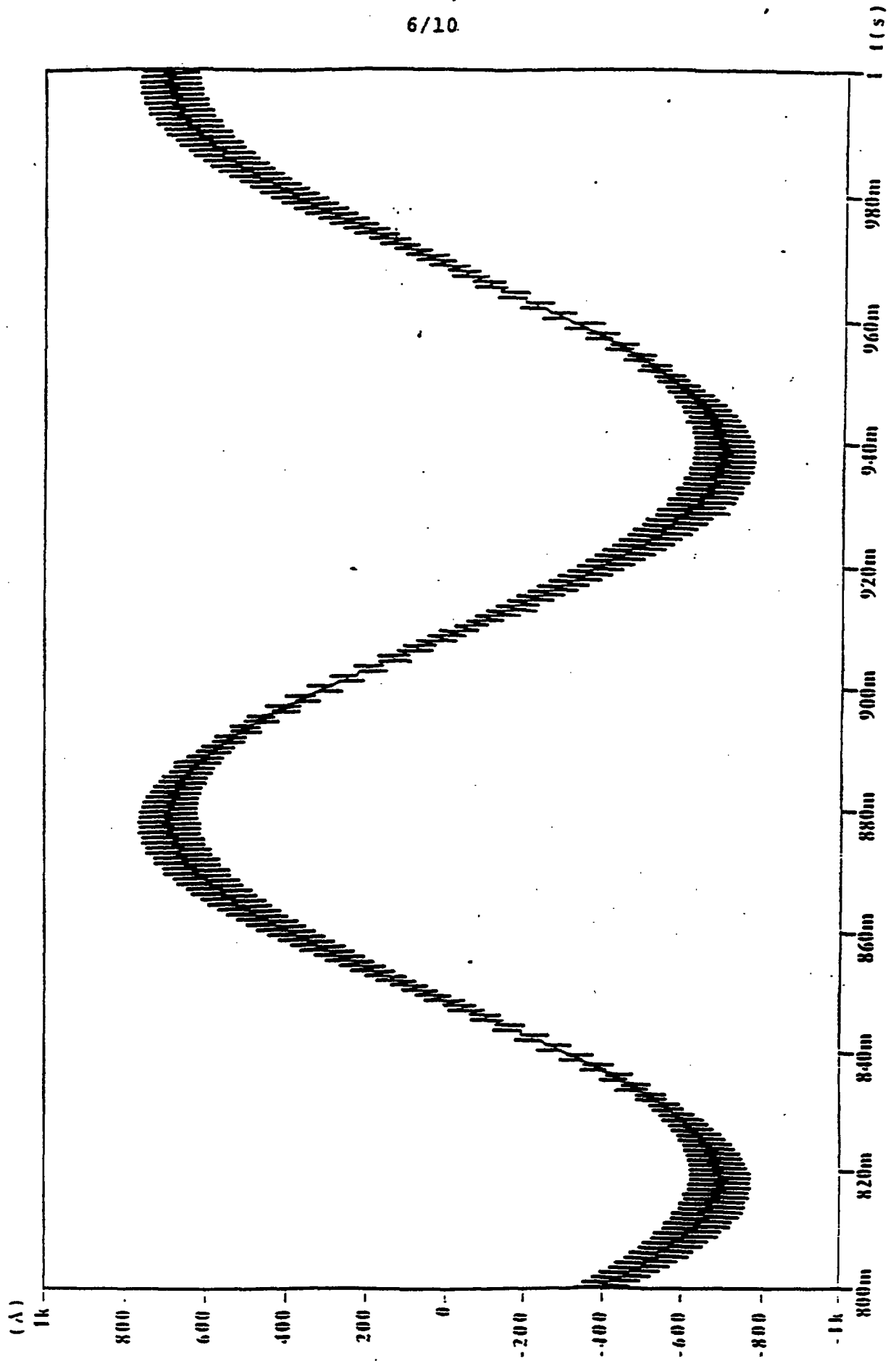


Fig 7b

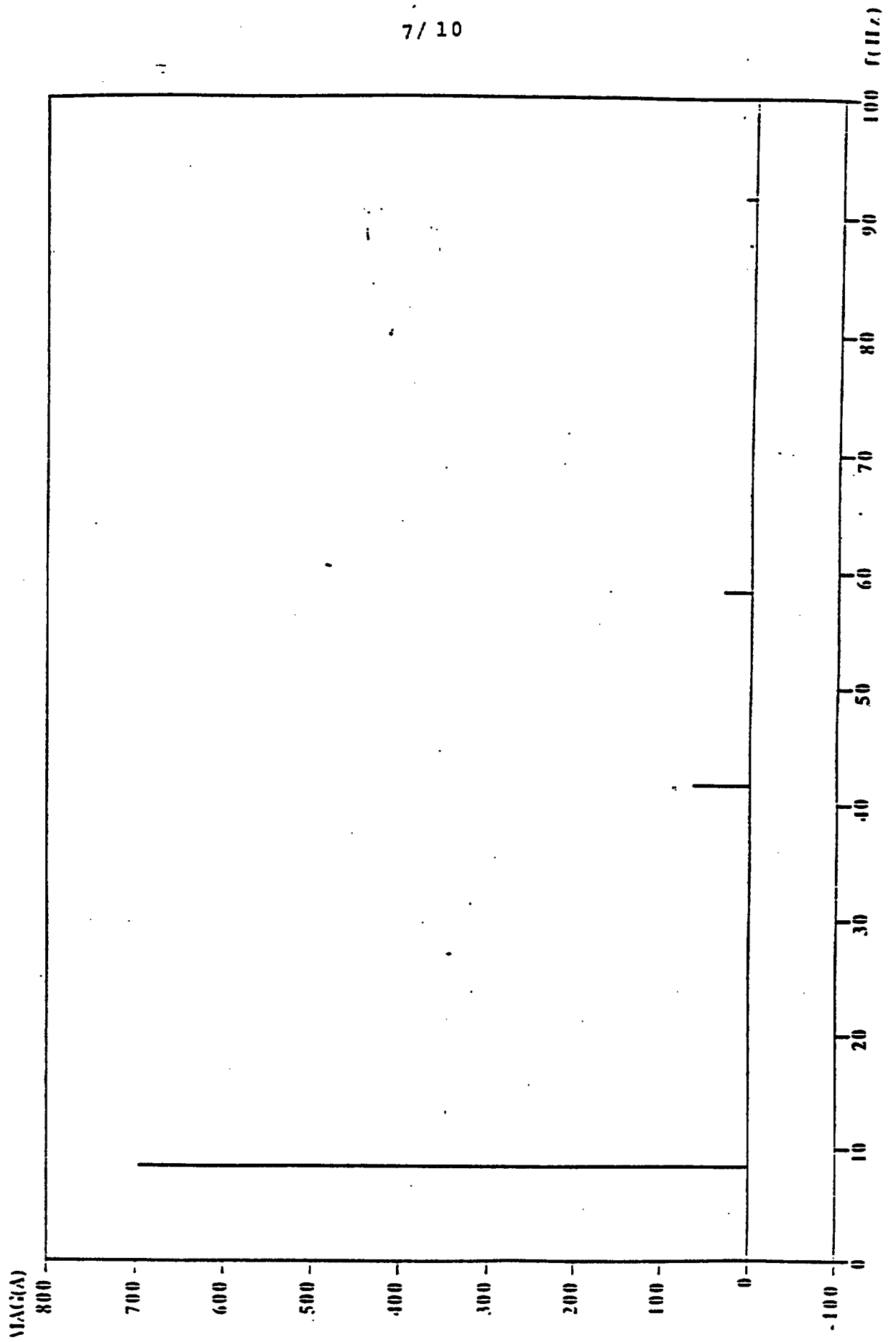


Fig 8a

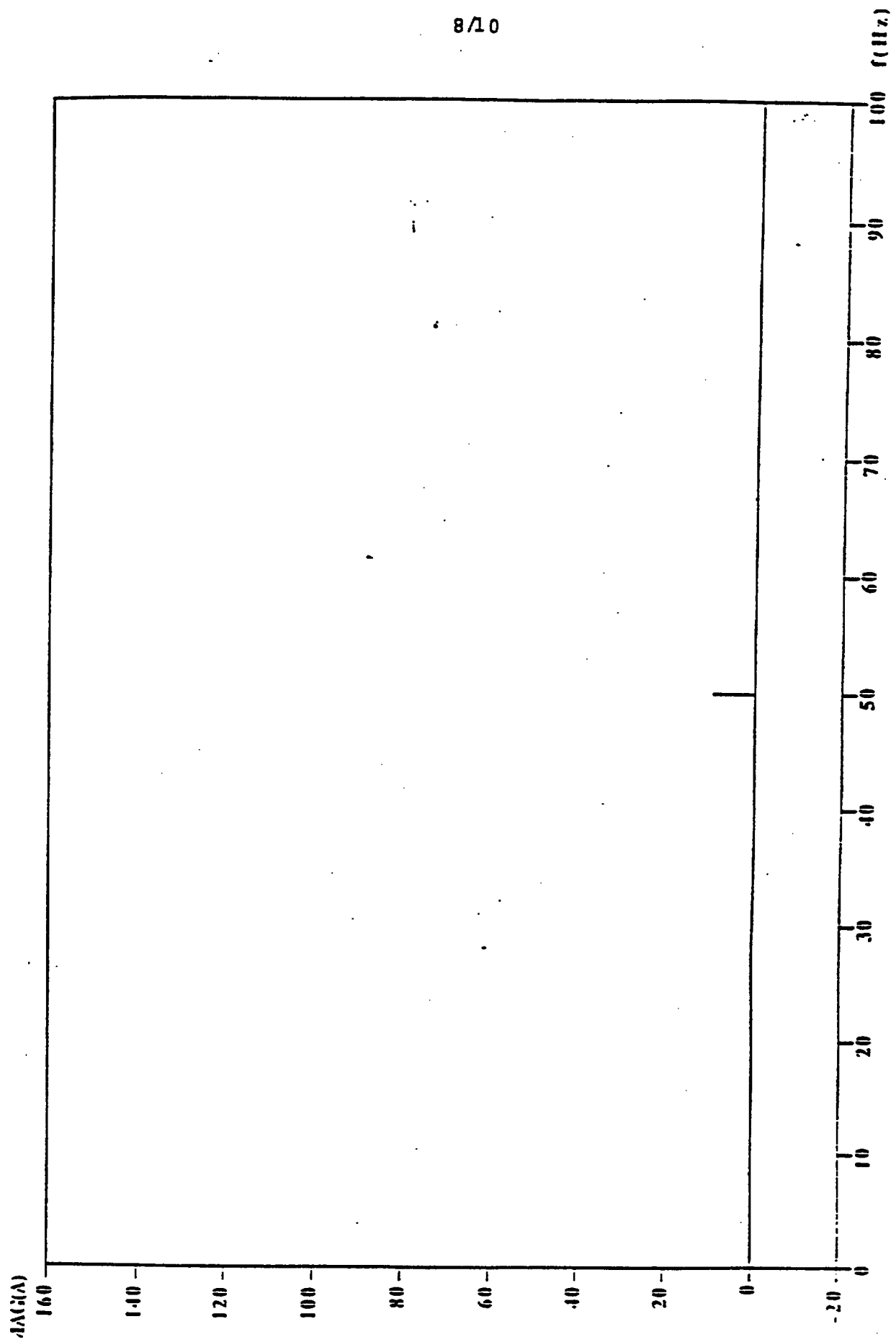


Fig. 8b

9/10

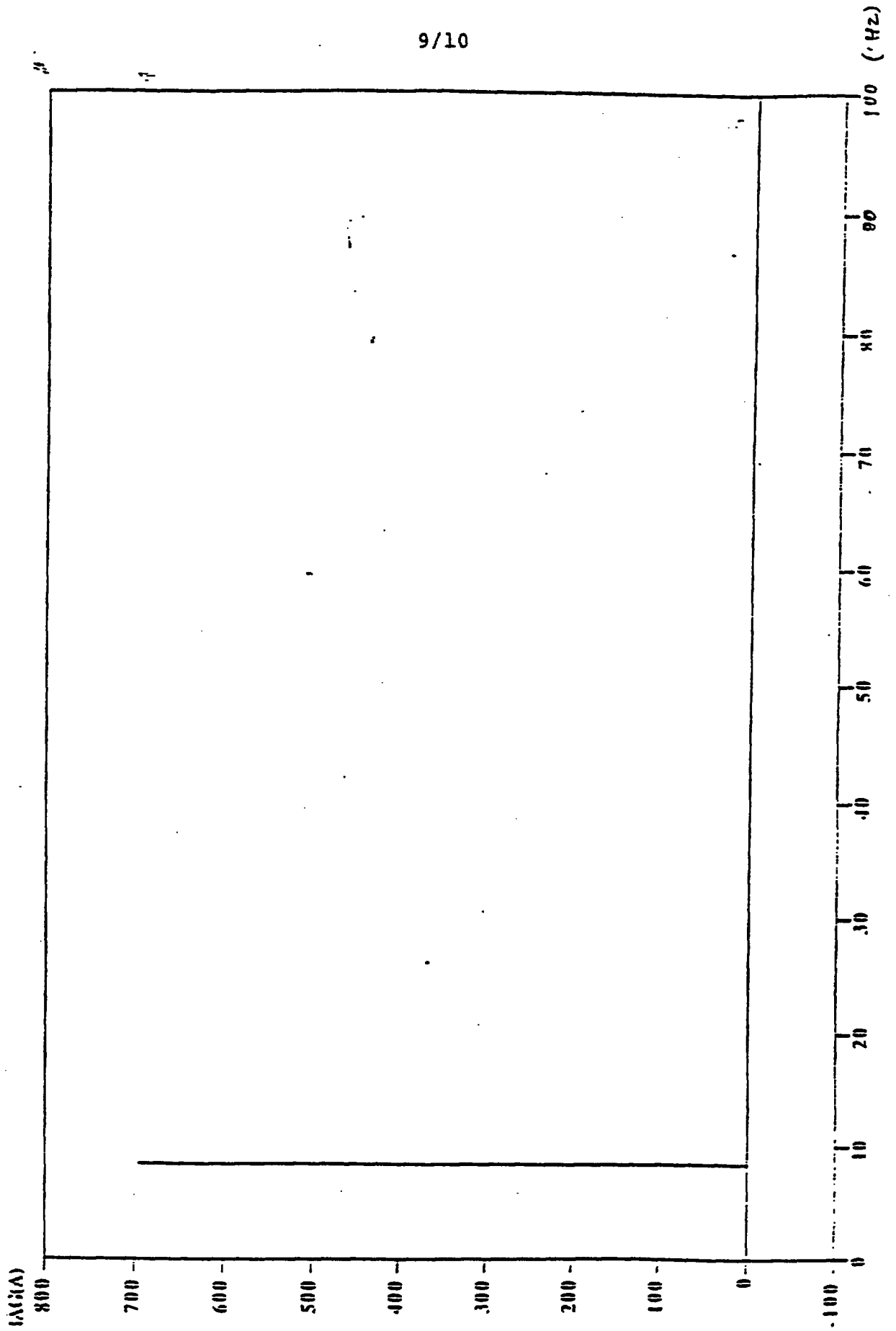


Fig 8c

10/10

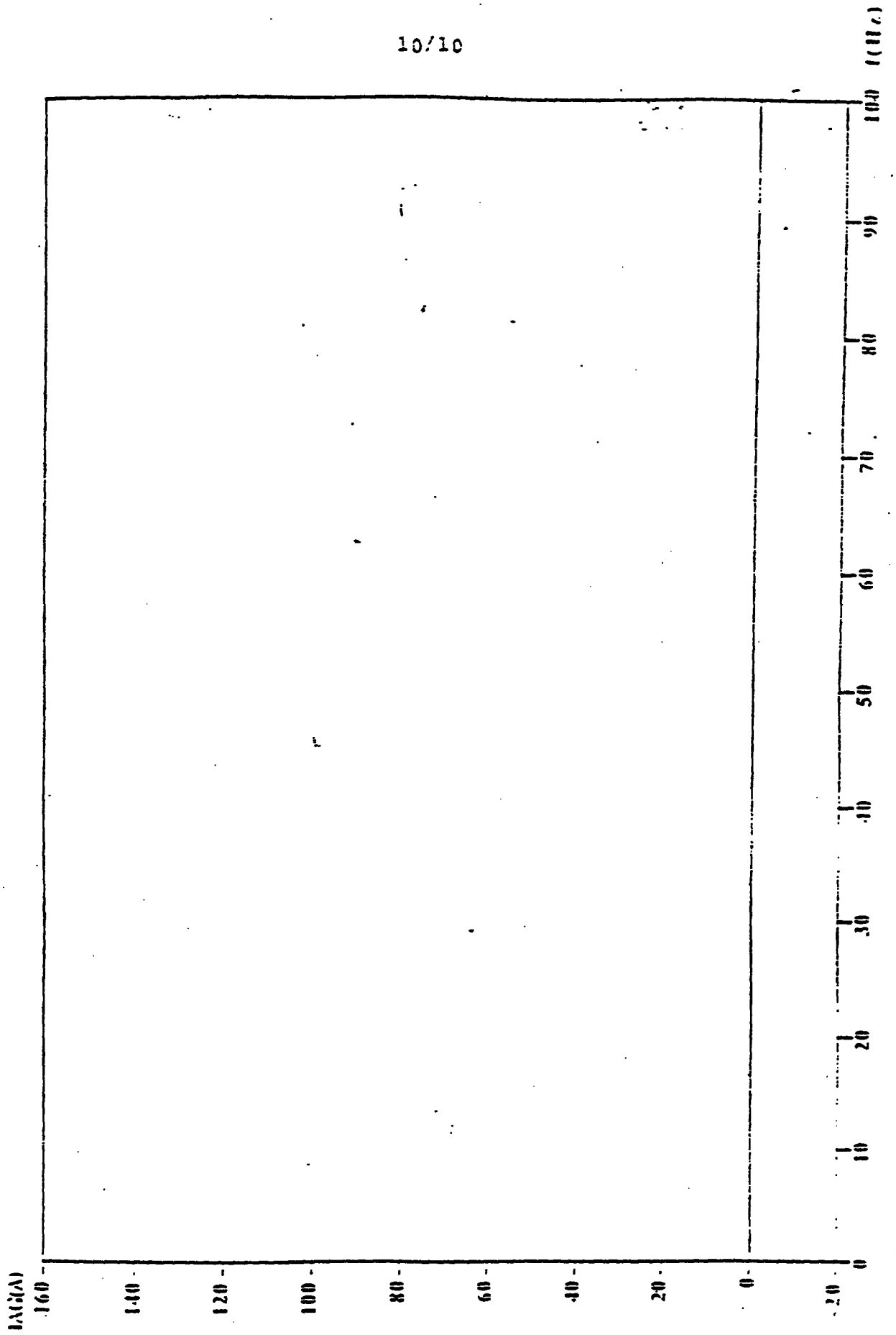


Fig 8d

This Sheet Has Been Replaced



THIS SHEET HAS BEEN
REPLACED

CLAIMS

1. Method for processing PWM waves intended for a voltage inverter or a voltage-controlled rectifier, comprising at least one branch with at least one pair
5 of switches connected in series, this inverter or rectifier being controlled by at least one wave having a succession of high states and low states, which is obtained with the aid of a modulator, the high state being defined by the fact that the switch connected to
10 the most positive voltage is closed whereas the switch connected to the most negative voltage is open, and the low state being defined by the reverse, characterized in that, with the aid of a discriminator, two set signals corrected as a function of the direction of the
15 current leaving or entering the branch are applied, the set signal corrected for the output current having a high state supplemented by a delay on transition from the high state to the low state, and the set signal corrected for the input current having a low state
20 supplemented by a delay on transition from the low state to the high state.



AMENDED SHEET

2 1 OCT 1998

CLAIMS

1. Method for processing PWM waves intended for a voltage inverter or a voltage-controlled rectifier, comprising at least one pair of switches, this inverter or rectifier being controlled by a modulator and a discriminator, characterized in that two set signals, corrected as a function of the direction of the current in the load or in the source, are applied to the discriminator, the set signal corrected for the output current having a high state supplemented by a delay on transition from the high state to the low state, and the set signal corrected for the input current having a low state supplemented by a delay on transition from the low state to the high state, the high state being defined by the fact that the switch connected to the most positive load is closed whereas the switch connected to the most negative load is open, the low state being defined by the reverse.

2. Method according to Claim 1, characterized in that the delay introduced into the corrected set signals corresponds essentially to the dead time itself introduced by the discriminator during the operation of closing the switches, this being in the case when an inverter or a rectifier is used without a switching-aid cell.

3. Method according to Claim 1, characterized in that the delay introduced into the corrected set signals depends not only on the direction of the current but also on its value, this being in the case when an inverter or a rectifier is used with a switching-aid cell.

4. Device for implementing the method for processing PWM waves according to any one of the preceding claims, the waves being intended for controlling a voltage inverter or a voltage-controlled rectifier, this inverter or rectifier comprising at least one branch with at least one pair of switches connected in series, this device



* C L M S *

21 OCT 1998

comprising a modulator creating the PWM control wave in the form of a succession of high states and low states, the high state being defined by the fact that the switch connected to the most positive voltage is closed whereas the switch connected to the most negative voltage is open, and the low state being defined by the reverse, characterized in that correcting means correct the PWM control wave as a function of the direction of the current leaving or entering the branch, so as to create two set signals, a corrected set signal for the output current having a high state supplemented by a delay on transition from the high state to the low state, and a corrected set signal for the input current having a low state supplemented by a delay on transition from the low state to the high state.

5. Use of the method according to any one of Claims 1 to 3 or of the device according to Claim 4 for an inverter or a voltage-controlled rectifier with or without a switching-aid cell, having two levels or having multiple levels.



PCT

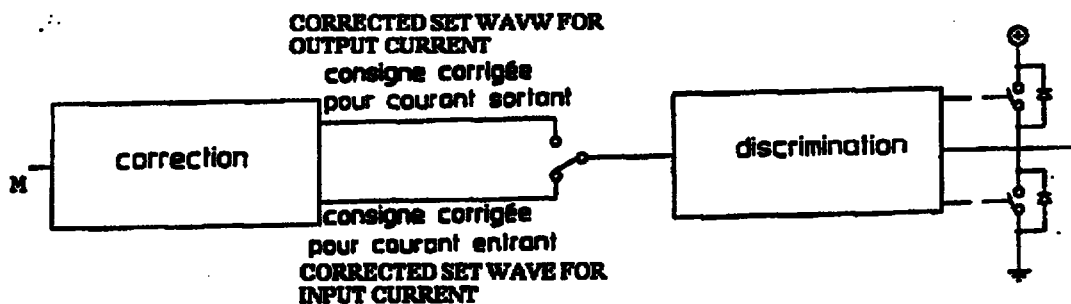
ORGANISATION MONDIALE DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE
Bureau international

DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(51) Classification internationale des brevets ⁶ : H02M 1/12		(11) Numéro de publication internationale: WO 96/33548
A1		(43) Date de publication internationale: 24 octobre 1996 (24.10.96)
(21) Numéro de la demande internationale: PCT/BE96/00039 (22) Date de dépôt international: 12 avril 1996 (12.04.96) (30) Données relatives à la priorité: 95870040.3 21 avril 1995 (21.04.95) EP (34) Pays pour lesquels la demande régionale ou internationale a été déposée: AT etc. 95870058.5 22 mai 1995 (22.05.95) EP (34) Pays pour lesquels la demande régionale ou internationale a été déposée: AT etc. (71) Déposant (pour tous les Etats désignés sauf US): GEC ALSTHOM ACEC TRANSPORT S.A. [BE/BE]; Rue Cambier-Dupret 50-52, B-6001 Charleroi (BE). (72) Inventeurs; et (75) Inventeurs/Déposants (US seulement): BOU SAADA, Johnny [BE/BE]; Rue Maximilien 31, B-1050 Bruxelles (BE). COLIGNON, Philippe [BE/BE]; Rue des Petits-Sarts 60, B-6230 Viesville (BE). (74) Mandataires: VAN MALDEREN, Joëlle etc.; Office Van Malderen, Place Reine Fabiola 6/1, B-1083 Bruxelles (BE).		(81) Etats désignés: AL, AM, AU, BB, BG, BR, CA, CN, CZ, DE (modèle d'utilité), EE, FI, GE, HU, IS, JP, KP, KR, <u>UK</u> , LR, LT, LV, MG, MK, MN, MX, NO, NZ, PL, RO, SG, SI, SK, TR, TT, UA, US, VN, brevet ARIPO (KE, LS, MW, SD, SZ, UG), brevet eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet européen (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, ML, MR, NE, SN, TD, TG). Publiée Avec rapport de recherche internationale.

(54) Title: METHOD FOR PROCESSING PWM WAVES AND DEVICES THEREFOR

(54) Titre: PROCEDE DE TRAITEMENT D'ONDES PWM ET DISPOSITIFS APPLIQUANT CE PROCEDE



(57) Abstract

A method for processing PWM waves for a voltage inverter or a voltage-controlled rectifier, including at least one pair of switches, said inverter or rectifier being controlled by a modulator and a discriminator. According to the method, two set waves corrected according to the current direction in the load or the source are applied to the discriminator. The corrected set wave for the output current has a high level to which a delay is added during transition from the high level to the low level, and the corrected set wave for the input current has a low level to which a delay is added during transition from the low level to the high level. The high level is defined by the fact that the switch connected to the most positive load is closed while the switch connected to the most negative load is open, and the low level is defined by the reverse.

(57) Abrégé

Procédé de traitement d'ondes PWM destinées à un onduleur de tension ou à un redresseur commandé de tension, comprenant au moins une paire de commutateurs, cet onduleur ou redresseur étant commandé par un modulateur et un discriminateur, caractérisé en ce que l'on applique au discriminateur deux consignes corrigées en fonction du sens du courant dans la charge ou dans la source, la consigne corrigée pour le courant sortant présentant un état haut augmenté d'un délai lors de la transition de l'état haut vers l'état bas, et la consigne corrigée pour le courant entrant présentant un état bas augmenté d'un délai lors de la transition de l'état bas vers l'état haut, l'état haut étant défini par le fait que le commutateur relié à la charge la plus positive est fermé tandis que le commutateur relié à la charge la plus négative est ouvert, l'état bas étant défini par l'inverse.

UNIQUEMENT A TITRE D'INFORMATION

Codes utilisés pour identifier les Etats parties au PCT, sur les pages de couverture des brochures publiant des demandes internationales en vertu du PCT.

AT	Arménie	GB	Royaume-Uni	MW	Malawi
AT	Autriche	GE	Géorgie	MX	Mexique
AU	Australie	GN	Guinée	NE	Niger
BB	Barbade	GR	Grèce	NL	Pays-Bas
BE	Belgique	HU	Hongrie	NO	Norvège
BF	Burkina Faso	IE	Irlande	NZ	Nouvelle-Zélande
BG	Bulgarie	IT	Italie	PL	Pologne
BJ	Bénin	JP	Japon	PT	Portugal
BR	Brsil	KE	Kenya	RO	Roumanie
BY	Bélarus	KG	Kirghizistan	RU	Fédération de Russie
CA	Canada	KP	République populaire démocratique de Corée	SD	Soudan
CF	République centrafricaine	KR	République de Corée	SE	Suède
CG	Congo	KZ	Kazakhstan	SG	Singapour
CH	Suisse	LI	Liechtenstein	SI	Slovénie
CI	Côte d'Ivoire	LK	Sri Lanka	SK	Slovaquie
CM	Cameroun	LR	Libéria	SN	Sénégal
CN	Chine	LT	Lituanie	SZ	Swaziland
CS	Tchécoslovaquie	LU	Luxembourg	TD	Tchad
CZ	République tchèque	LV	Lettonie	TG	Togo
DE	Allemagne	MC	Monaco	TJ	Tadjikistan
DK	Danemark	MD	République de Moldova	TT	Trinité-et-Tobago
EE	Estonie	MG	Madagascar	UA	Ukraine
ES	Espagne	ML	Mali	UG	Ouganda
FI	Finlande	MN	Mongolie	US	Etats-Unis d'Amérique
FR	France	MR	Mauritanie	UZ	Ouzbékistan
GA	Gabon			VN	Viet Nam