



Patent dodatkowy
do patentu nr _____

Zgłoszono: 12.05.75 (P. 180312)

Pierwszeństwo: 13.05.74 Francja

Zgłoszenie ogłoszono: 19.06.76

Opis patentowy opublikowano: 15.06.1979

CZYTELNIA

Urzędu Patentowego
Polskiej Rzeczypospolitej Ludowej

Int. Cl.²

**G01P 3/54
G01B 7/00**

Twórca wynalazku: Lucien Lheritier

Uprawniony z patentu: Compagnie Internationale pour l'Informatique
CII-Honeywell Bull, Paryż (Francja)

Układ detektora ruchu prostoliniowego

1

Przedmiotem wynalazku jest układ detektora ruchu prostoliniowego mierzącego głównie jego parametry jak przemieszczenie, prędkość i jeśli zachodzi tego potrzeba, przyspieszenie.

Układy takie znajdują w szczególności zastosowanie w układach nastawiania położenia elementu ruchomego względem elementu nieruchomego, gdzie ruch elementu ruchomego jest przesunięciem prostoliniowym lub jest odczytywany jako takie przesunięcie przez jego czujnik.

Czujnik przetwarza ruch w sygnał elektryczny, którego odpowiednie parametry mogą odpowiadać odpowiednim parametrom ruchu. Układy nastawiania położenia zawierają zazwyczaj obwody automatycznego sterowania położeniem, prędkością, a w licznych przypadkach również obwody sterowania przyspieszeniem. Parametry tych układów są tym wyższe, im szersze są pasma przenoszenia częstotliwości poszczególnych obwodów w zakresie częstotliwości małych i bardzo małych włączając nawet przebiegi o częstotliwości zero Hz.

Bardzo często sygnał elektryczny detektora zawiera składowe pasyżnicze spowodowane poprzecznym przyspieszeniem wywołanym przez wibracje mechaniczne obudów i/lub samego czujnika.

Celem zmniejszenia tych składowych dąży się, jeśli jest to możliwe, do przesunięcia własnych częstotliwości i ich harmonicznych poza pasmo użyteczne, lub co najczęściej ma miejsce, ogranicza się

2

pasmo użyteczne, lecz to z kolei ogranicza parametry układu sterowania.

Celem wynalazku jest zaprojektowanie struktury detektora nieczułego na zakłócenia mechaniczne, których częstotliwości rezonansowe lub ich harmoniczne mieszczą się w paśmie użytecznym obwodów pracujących w oparciu o sygnał elektryczny pochodzący z czujnika. Innym celem wynalazku jest zaprojektowanie układu jak najlepiej wykorzystującego tę strukturę detektora.

Według wynalazku czujnik jest utworzony przez falowód z polem elektromagnetycznym o strukturze TEM bardzo wielkiej częstotliwości, na długości którego znajduje się przesłona dyfrakcyjna napędzana przez element ruchomy, zakłócająca odpowiednio do swego przemieszczania się rozkład pola.

Według wynalazku, w detektorze stosuje się falowód koncentryczny, którego przewód zewnętrzny jest rozcięty wzdłuż tworzącej, a przesłonę zakłócającą stanowi płytka przewodnika przemieszczająca się wzdłuż tego rozcięcia tak, że część tej płytki znajduje się w obszarze sąsiadującym z przewodem środkowym falowodu koncentrycznego. Falowód stanowi integralną część obwodu rezonansowego generatora bardzo wielkiej częstotliwości. Do tego generatora jest dołączony dyskryminator częstotliwości przetwarzający zmianę częstotliwości generowanego sygnału spowodowaną przesunięciem przesłony zakłócającej w odwzorowujący tę zmianę sygnał elektryczny. Do wyjścia dyskryminatora

częstotliwości dołączony jest układ różniczkujący — celem uformowania sygnału pomiaru szybkości przemieszczania się przesłony.

Korzystnym jest, gdy falowód, w którym jest wytwarzana fala bieżąca, jest dołączony do wyjścia generatora bardzo wielkiej częstotliwości natomiast komparator fazy jest podłączony do wyjścia generatora bardzo wielkiej częstotliwości i do wyjścia falowodu, w którym występuje fala odbita powstająca w wyniku przemieszczania się przesłony zakłócającej w tym falowodzie. Przeznaczeniem komparatora fazy jest przetwarzanie zmiany fazy fali odbitej spowodowanej przemieszczeniem się przesłony. Demodulator zmiany wartości częstotliwości będącej wynikiem przetworzenia zmiany wartości fazy tworzy sygnał pomiarowy, który jest odwzorowaniem elektrycznym prędkości przemieszczania się przesłony.

Przedmiot wynalazku jest bliżej objaśniony w przykładzie wykonania na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia funkcjonalny schemat blokowy układu według wynalazku, fig. 2, 3 — przykłady wykonania obwodów wielkiej i małej częstotliwości i fig. 4 — funkcjonalny schemat blokowy według innego przykładu wykonania.

Na podstawie podanych przykładów i ich opisów można wyobrazić sobie wszystkie inne warianty możliwe do zastosowania w ramach wynalazku. Falowód z polem elektromagnetycznym o strukturze TEM pracujący w zakresie bardzo wielkiej częstotliwości jest oznaczony jako LC.

Falowód LC o budowie koncentrycznej ma przewodnik zewnętrzny przecięty wzdłuż tworzącej F na długości określonej przez możliwy skok przesłony zakłócającej rozkład pola TEM we wnętrzu falowodu. W przypadku stosowania falowodu koncentrycznego, przesłona stanowi płytka P, np. z materiału przewodzącego, wprowadzona do falowodu przez szczelinę F w obszar sąsiadujący z przewodnikiem środkowym lecz bez stykania się z nim. Przesłona P jest sztywno połączona z elementem ruchomym E i może być przemieszczana w dwóch kierunkach przy przemieszczaniu się tego elementu. Falowód LC jest zakończony z jednej strony wtykiem koncentrycznym B, znanego typu N.

Z drugiej strony falowód jest zakończony małą pojemnością CR, przynajmniej w przypadku pracy falowodu w warunkach fali stojącej. W przypadku pracy falowodu w warunkach fali bieżącej (fig. 4) jest on zakończony obciążeniem rzeczywistym o wartości równej jego impedancji charakterystycznej Z_0 .

W przykładzie wykonania pokazanym na fig. 1, falowód jest włączony podobnie, jak dipol indukcyjny, w obwód generatora OSC. Sygnał wyjściowy z generatora OSC jest doprowadzony do dyskryminatora częstotliwości Df przez obwód sprzęgający C dopasowujący impedancję wyjściową generatora do obciążenia, którym w tym przypadku jest dyskryminator Df. Sygnał wyjściowy dyskryminatora częstotliwości Df jest doprowadzony do detektora De, a następnie sygnał z wyjścia De jest wzmacniany przez wzmacniacz A1.

Na schemacie funkcjonalnym przedstawionym na fig. 1 jako A2 pokazano wzmacniacz załączony na

wyjściu wzmacniacza A1 wytwarzający sygnał do pomiaru przemieszczenia $k1x$.

Wyjście wzmacniacza A1 jest połączone z obwo-
dem różniczkującym Dx. Sygnał po różniczkowa-
niu jest wzmacniany przez wzmacniacz A3, który
wytwarza sygnał do pomiaru szybkości przemiesz-
czania $k2x$. Obwód Dx również dobrze może być
podłączony do wyjścia wzmacniacza A2, tak jak
to jest pokazane na fig. 3.

W przypadku konieczności wytworzenia sygnału pomiarowego odwzorowującego przyspieszenie, można go uzyskać korzystnie na drodze różniczkowania sygnału bardzo wielkiej częstotliwości — celem przejścia z modulacji fazy na modulację częstotliwości, po czym następuje różniczkowanie sygnału małej częstotliwości, jak to ma miejsce przy tworzeniu sygnału odwzorowującego prędkości przemieszczania się przesłony.

Obwód dostarczający napięcia zasilania $V+$ i $V-$ jest oznaczony jako S. Jego pełny schemat jest przedstawiony na fig. 2. Generator OSC z falowodem LC jest zrealizowany w układzie Colpitts'a na tranzystorze T, typu npn. Generator wytwarza sygnał o częstotliwości podstawowej f_0 , rzędu 500 MHz, przy środkowym położeniu przesłony zakłócającej P. Jedną z pojemności wyznaczającą częstotliwość pracy generatora jest pojemność szkodliwa C_1 między kolektorem a emitern tranzystora. Drugą pojemność stanowi równoległe połączenie pojemności C_3 wyprowadzenia emitiera, przybierającej wartość np. 0-8pF i wejściowej pojemności szkodliwej złącza baza-emiter tranzystora.

Pojemność całkowita obwodu rezonansowego jest utworzona z powyższych pojemności, do których dołącza się równoległe pojemność szkodliwą złącza kolektor-baza i pojemność C_2 wejścia obwodu sprzęgającego C, przybierająca na przykład wartość 0-8pF.

Część indukcyjna obwodu rezonansowego jest utworzona z dipola indukcyjnego LC-CL. Pojemność łącząca falowód i kolektor tranzystora jest pojemnością odsprzęgającą, zabezpieczającą przed możliwością zwarcia kolektora z falowodem. Pozwala ona także zwiększyć stabilność częstotliwości generatora gdyż podnosi dobroć Q obwodu rezonansowego. Z tego względu można zastosować do tego celu kondensator o pojemności rzędu 10 pF w przypadku falowodu, którego impedancja charakterystyczna jest rzędu 50 om. Pojemność kondensatora CR może wynosić około 2 pF.

Długość geometryczna falowodu jest wyznaczana jednocześnie przez wymagany skok przesłony P i częstotliwość roboczą układu, która określa długość odcinka falowodu, na której pole elektryczne osiąga wartość maksymalną i prawie stałą (przesłona jest typu pojemnościowego).

Grubość przewodnika zewnętrznego falowodu jest tak dobrana, aby jak najbardziej ograniczyć promieniowanie elektromagnetyczne na zewnątrz przez szczelinę, której szerokość jest wyznaczana szerokością płytki stanowiącej przesłonę P.

W jednym ze zrealizowanych przykładów zastosowania skok przesłony był ustalony na ok. 6 cm przy zapewnionej liniowej zmianie częstotliwości generatora w zależności od przemieszczenia. Można

odnotować, że w niektórych przypadkach jest możliwym zastąpienie w detektorze koncentrycznego falowodu falowodem w postaci ekranowanej linii dwuprzewodowej.

Obwód zasilania **S**, do którego są doprowadzane napięcia V^+ i V^- , jest symetryzowany w stosunku do masy za pomocą obwodu **PR**. Napięcie V^- jest doprowadzone do emitera tranzystora **T** poprzez podwójny odsprężający filtr indukcyjny $\Phi 3$. Napięcie V^+ jest doprowadzone do kolektora tranzystora **T** poprzez prosty filtr indukcyjny $\Phi 4$, który podobnie jak $\Phi 3$, blokuje składową zmienną.

Połączenie między generatorem **OSC** a dyskryminatorem częstotliwości **Df** jest zrealizowane za pomocą obwodu sprzęgającego **C** w postaci linii ćwierćfalowej 75 omowej, obciążonej rezystancją r o wartości 50 om i impedancją wejściową obwodu **Df**.

Kondensator **C1** zabezpiecza przed zwarcie z masą wyjścia generatora. Jako **CC** jest oznaczony dzielnik pojemnościowy, z którego może być pobierany sygnał **CRF** do kontroli częstotliwości lub, jeśli zachodzi tego potrzeba, do pomiaru tego sygnału.

Dyskryminator częstotliwości **Df** przekształca sygnał modulowany częstotliwościowo w sygnał modulowany amplitudowo na skutek zmiany impedancji dwóch odcinków falowodu **Zf1** i **Zf2**, których wejścia są dołączone do wyjścia falowodu ćwierćfalowego poprzez rezystancję **Rf**, o jednakowej wartości wynoszącej w opisywanym przykładzie 50 om. Normalnie, celem otrzymania układu zrównoważonego, jeden z dwóch odcinków falowodu- wych musi być rozarty, drugi zwarty.

Jednakże celem uzyskania symetrii zwarcia dla składowej stałej z detektora **De**, który jest załączony do wyjścia dyskryminatora **Df**, rozarty odcinek falowodu został zastąpiony linią zwartą o długości elektrycznej przewyższającej o ćwierć długości fali, w odniesieniu do częstotliwości f_0 , długość drugiego odcinka falowodu. Np. falowód **Zf1** może mieć długość odpowiadającą $9/8$ długości fali, a falowód **Zf2** $7/8$ tej długości.

W przypadku opisywanym impedancje wprowadzane przez odcinki falowodu **Zf** są odpowiednio $\pm jZ_c$, przy czym Z_c jest równe 50 om. Detektor **De** jest detektorem różnicowym i zawiera dwie diody **d1** i **d2**, z których każda jest połączona szeregowo odpowiednio z filtrem $\Phi 1$ i $\Phi 2$. Filtry te są jednakowe, a diody są włączone przeciwobnie.

Sygnał z wyjścia detektora **De** jest doprowadzony do punktu **A**. Sygnał ma postać różnicową i może przybierać wartości symetryczne wokół potencjału zerowego wyznaczonego przez masę, po wyeliminowaniu składowej stałej reprezentującej częstotliwość f_0 generatora.

Dewiacja częstotliwości przy generowaniu sygnału modulowanego częstotliwościowo zależy oczywiście od wielkości wzdluznego przesunięcia przesłony zakłócającej **P** i stopnia jej wnikania w pole elektromagnetyczne wytworzone wewnątrz falowodu **LC**. Szybkość zmian częstotliwości w sygnale modulowanym częstotliwościowo zależy od szybkości przemieszczania się przesłony **P**.

Wymagane pasmo przenoszenia dyskryminatora

Df zależy od dewiacji częstotliwości, tak samo jak wymagane pasmo przenoszenia detektora **De** zależy odwrotnie od widma funkcji reprezentującej prędkość v/t przemieszczania przesłony **P**, przekształcone na szereg Fouriera.

Fig. 3 przedstawia tytułem ilustracji jedną z możliwych realizacji obwodu przekształcającego sygnał pobierany z wyjścia **A** detektora **De**. Obwód ten jest zrealizowany na elementach scalonych typu **FET** i jest szczególnie przydatny do otrzymywania sygnału pomiaru prędkości przy bardzo wolnych przemieszczeniach. Zawiera on stopień pierwszego wzmacniacza **A1/A2** zbudowanego na dwóch elementach **FET1** i **FET2**. Na wyjściu tego wzmacniacza otrzymuje się sygnał **k1x** odpowiadający zmianie położenia przesłony zakłócającej **P** w falowodzie **LC**. Z wyjścia tego obwodu poprzez klasyczny obwód różniczkujący zbudowany z rezystancji **R** i pojemności **K**, sygnał odpowiadający pierwszej pochodnej **k1x** jest doprowadzany do następnego identycznego stopnia wzmacniacza **A3**. Stopień ten zbudowany jest z elementów **FET3** i **FET4**. Na wyjściu tego wzmacniacza wytwarza się sygnał **k2x** odpowiadający przyśpieszeniu przemieszczania się przesłony zakłócającej **P**.

Powyższe wzmacniacze są zasilane dwoma napięciami V^+ i V^- . Układ tych wzmacniaczy może być zastąpiony przez układ dwustopniowego wzmacniacza przeciwobnego zbudowanego z komplementarnych par elementów **FET**.

Ponieważ w takim przypadku wyjście detektora ma być również symetrycznym, jako układ detektora, który mógłby sterować wzmacniaczem zrealizowanym na komplementarnych elementach **FET**, można stosować dwustopniowy wzmacniacz różnicowy zbudowany z dobranych parami elementów **FET** wytwarzający symetryczny względem zera sygnał.

We wszystkich przypadkach część rzeczywista impedancji układu różniczkującego musi być dużo większa od impedancji wyjściowej stopnia sterującego, inaczej mówiąc wzmacniacz sygnału odwzorowującego przemieszczenie musi odznaczać się małą impedancją wyjściową w stosunku do impedancji wejściowej stopnia następnego — wzmacniacza sygnału odwzorowującego prędkość przemieszczania się przesłony.

Aby poprawić parametry sygnału odwzorowującego przemieszczenie można, jak zaznaczono na fig. 1, włączyć odrębny i dokładnie zestrojony wzmacniacz tego sygnału na wyjście detektora **De**. Zapewnia się wówczas różniczkowanie zdemodulowanego sygnału małych częstotliwości. W układzie przedstawionym na fig. 4 zapewnia się różniczkowanie w zakresie częstotliwości wielkich.

Falowód **LC** jest falowodem, w którym wytwarza się pole elektromagnetyczne o strukturze **TEM** z falą bieżącą. Ten falowód pracuje obciążeniem **Zc**. Przesłona zakłócająca **P** zapewnia mały współczynnik fali stojącej, którego argument jest funkcją jej położenia. Falowód jest zasilany przez generator **UHF** pracujący na stałej częstotliwości f_0 o dużej stabilności, wynoszącej np. 10^{-6} . Faza fali odbitej zależy jednocześnie od długości elektrycznej trasy, a więc od położenia przesłony **P**

i argumentu współczynnika fali stojącej, a więc od zagłębienia przesłony w polu elektromagnetycznym. Jest więc możliwym wyregulowanie na zero przesunięcia fazowego dla środkowego położenia przesłony.

Dwukierunkowy obwód sprzęgający **CBD** przekazuje do falowodu prawie całość sygnału pochodzącego z generatora oraz w tym samym czasie kieruje jego małą część do wyjścia odniesienia **d**. Obwód **CBD** kieruje również część fali odbitej w falowodzie na wyjście **r**.

Wyjścia **d** i **r** są podłączone do układu synchronicznego **OCT1**, który realizuje demodulację w zakresie wielkiej częstotliwości. Układ ten może być zrealizowany pod różnymi postaciami, a zwłaszcza w postaci oktopola hybrydowego lub każdego innego obwodu hybrydowego o czterech wejściach, takiego jak obwód pierścieniowy lub magiczne **T**, wytwarzającego sygnały wyjściowe odpowiadające sumie i różnicy wektorowej fal wchodzących. Sygnały te są doprowadzone do detektora **De1**, a następnie sygnał z wyjścia detektora **De1** jest wzmacniany przez wzmacniacz **A4** celem otrzymania sygnału **k1x** reprezentującego przemieszczenie. Z drugiej strony fala odbita wychodząca z dwukierunkowego obwodu sprzęgającego **CBD** jest jednocześnie przez obwód sprzęgający **CAF** kierowana do dwóch falowodów **L1** i **L2** o różnych długościach. Falowody te zasilają obwód hybrydowy np. oktopol **OCT2**, który zapewnia demodulację częstotliwości. Zdemodulowany sygnał jest doprowadzany do detektora **De2** a następnie do wzmacniacza **A5**. Na wyjściu wzmacniacza **A5** sygnał przybiera postać taką, że jest elektrycznym odwzorowaniem przemieszczania się przesłony **P** w falowodzie **LC**.

Układ uzupełniający, lecz nie bezwzględnie wymagany, zapewnia modulację o małej głębokości sygnału doprowadzonego do falowodu **LC** i w tym celu, jak to pokazano na schemacie z fig. 4, modulator **MOD** może być dołączony do generatora **OSC**. Częstotliwość modulacji jest mała w stosunku do roboczej częstotliwości generatora, lecz jednakże jest stasunkowo wielka, aby ograniczyć wpływ zakłóceń wprowadzanych przez szumy małej częstotliwości, w szczególności przez szumy, pochodzące od efektu migotania generatora. Jest ona także odpowiednio wysoka w stosunku do wyższych składowych widma sygnału reprezentującego przemieszczenie.

Modulacja ta ułatwia realizację wzmocnienia sygnału małej częstotliwości odpowiadającego przemieszczeniu, pozwalając zastosować wzmacniacz selektywny na wyjściu detektora — przed układem demodulacji małej częstotliwości.

W układzie demodulacji sygnału odpowiadającego prędkości przemieszczenia modulacja amplitudy powoduje powstanie pasożytniczego prążka w widmie częstotliwościowym który to prążek do czasu jego wyeliminowania jest traktowany jako sygnał pilotujący.

Wzmacniacz **A5** jest wzmacniaczem selektywnym. Dwukierunkowy obwód sprzęgający **CBD** może być zastąpiony przez pojemnościowy układ sprzęgający dla fali padającej i cyrkulator, to znaczy przez

rozgałęźnik sześciobiegunowy niespełniający warunków wzajemności Maxwella dla fali odbitej.

Zastrzeżenia patentowe

1. Układ detektora ruchu prostoliniowego przeznaczonego do pomiaru przemieszczenia i prędkości ruchu elementu przemieszczającego się na ograniczonym odcinku, **znamienny tym**, że zawiera czujnik zrealizowany w postaci falowodu bardzo wielkiej częstotliwości, w którym utworzone jest pole elektromagnetyczne o strukturze TEM i w którego przestrzeni wewnętrznej umieszczono ruchomy element w postaci przesłony dyfrakcyjnej powodującej zniekształcenie rozkładu pola elektromagnetycznego w przestrzeni wewnętrznej falowodu przemieszczanej wzdłuż falowodu.

2. Układ według zastrz. 1, **znamienny tym**, że falowód jest falowodem koncentrycznym, w którego zewnętrznym przewodniku wykonana jest szczelina wzdłużna, w której umieszczona jest przemieszczana wzdłuż szczeliny płytka z materiału przewodzącego, przy czym dolna krawędź płytki znajduje się w pobliżu przewodnika środkowego lecz go nie dotyka.

3. Układ według zastrz. 1, **znamienny tym**, że falowód o regulowanej długości elektrycznej stanowi część obwodu rezonansowego generatora bardzo wielkiej częstotliwości, a dyskryminator częstotliwości poprzedzający detektor jest dołączony do tego generatora celem przekształcania zmiany częstotliwości sygnału generatora spowodowanej przemieszczaniem się przesłony na sygnał odwzorowujący przemieszczenie, przy czym obwód różniczkujący ten sygnał przekształca go w sygnał odwzorowujący prędkość przemieszczania.

4. Układ według zastrz. 1, **znamienny tym**, że falowód jest podłączony do wyjścia generatora bardzo wielkiej częstotliwości, a komparator fazy pracujący jako demodulator jest podłączony do wyjścia generatora i do wyjścia falowodu, w którym powstaje fala odbita od przesłony zakłócającej umieszczonej w falowodzie, przed detektorem celem wytworzenia sygnału reprezentującego przemieszczenie a demodulator zmian częstotliwości poprzedzający detektor jest dołączony do tego wyjścia komparatora na którym pojawia się fala odbita — celem wytworzenia sygnału pomiaru szybkości przemieszczania.

5. Układ według zastrz. 3, **znamienny tym**, że dyskryminator częstotliwości zawiera dwa odcinki falowodów, a długości elektryczne tych odcinków dla częstotliwości środkowej generatora bardzo wielkiej częstotliwości różnią się o jedną czwartą długości fali.

6. Układ według zastrz. 5, **znamienny tym**, że detektor sygnału z dyskryminatora częstotliwości poprzedza tor wzmocnienia, a zespół detektor — tor wzmocnienia dostarcza sygnałów symetrycznych względem zera.

7. Układ według zastrz. 4, **znamienny tym**, że komparator fazy jest układem synchronicznym zapewniającym demodulację fazy sygnału wielkiej częstotliwości, a demodulator częstotliwości ma wejścia przyłączone do wyjść falowodów o róż-

nych długościach elektrycznych zasilanych falą odbitą.

8. Układ według zastrz. 4, **znamienny tym**, że generator UHF jest połączony z modulatorem, zapewniającym modulację amplitudową sygnału generatora o małej głębokości modulacji, przy czym sygnał modulujący ma częstotliwość stosunkowo małą w porównaniu z częstotliwością roboczą generatora bardzo wielkiej częstotliwości, a detektory poprzedzają wzmacniacze selektywne przy czym wzmacniacz selektywny znajdujący się w torze pomiaru

przemieszczenia poprzedza demodulator amplitudy małej częstotliwości i eliminator pasożytniczego prążka widma sygnału modulowanego amplitudowo obecnego w dyskryminatorze zmian częstotliwości.

9. Układ według zastrz. 7, **znamienny tym**, że demodulatory są obwodami z grupy obwodów hybrydowych czterowejściowych.

10. Układ według zastrz. 4, **znamienny tym**, że obwody sprzęgające są obwodami z grupy dwukierunkowych obwodów sprzęgających, pojemnościowych obwodów sprzęgających i cyrkulatorów.

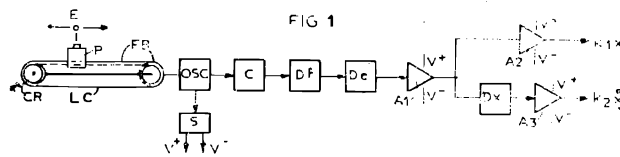


FIG. 2

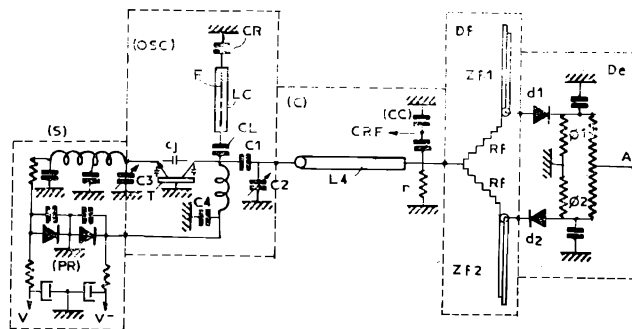


FIG. 3

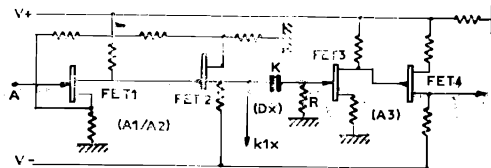


FIG. 4

