

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **214655**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **386534**

(51) Int.Cl.
H03F 5/00 (2006.01)

(22) Data zgłoszenia: **17.11.2008**

(54) **Układ polaryzacji stopnia końcowego lampowego wzmacniacza mocy**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
24.05.2010 BUP 11/10

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
30.08.2013 WUP 08/13

(73) Uprawniony z patentu:
POLITECHNIKA ŚLĄSKA, Gliwice, PL

(72) Twórca(y) wynalazku:
ADAM KRISTOF, Rydułtowy, PL

(74) Pełnomocnik:
rzec. pat. Urszula Ziółkowska

PL 214655 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest układ polaryzacji stopnia końcowego lampowego wzmacniacza mocy, który umożliwia precyzyjne ustalenie punktu pracy lamp stopnia końcowego w sposób odmienny od rozwiązań obecnie stosowanych w tego typu wzmacniaczach. Lampowy wzmacniacz mocy wraz z proponowanym układem polaryzacji można również nazwać układem wzmacniacza hybrydowego, w którym głównymi elementami stopnia końcowego wzmacniacza mocy pozostają lampy, zaś dzięki pomocniczemu tranzystorowemu układowi polaryzacji możliwe jest uzyskanie nowych, korzystnych cech wzmacniacza, takich jak precyzja w ustalaniu punktów pracy zastosowanych lamp mocy oraz poprawa liniowości ich funkcji przetwarzania.

Z opisu patentowego amerykańskiego US 5017884 znane jest rozwiązanie hybrydowe, w którym wykorzystano tranzystory oraz lampę pracującą w stopniu wejściowym wzmacniacza. Celem tego rozwiązania ma być nadanie „lampowego brzmienia” tak skonstruowanemu wzmacniaczowi hybrydowemu.

Z opisu patentowego amerykańskiego US 5148116 znane jest też inne rozwiązanie hybrydowe, w którym wykorzystano tranzystory w połączeniu z lampą elektronową w celu zmniejszenia rezystancji wyjściowej lampy, a tym samym zwiększenia jej transkonduktancji (wzmocnienia). Rozwiązanie to pozwala ponadto zwiększyć maksymalną moc wyjściową zbudowanego w taki sposób wzmacniacza.

Z innego opisu patentowego amerykańskiego US 5498996 znane jest rozwiązanie, gdzie w tradycyjnym lampowym wzmacniaczu przeciwsobnym zastosowano wiele równolegle połączonych lamp mocy, przy czym każda lampa ma swój własny układ polaryzacji. Celem takiego rozwiązania jest uzyskanie zarówno dużej mocy wyjściowej jak i dobrej liniowości przetwarzania (niewielkich zniekształceń) wzmacniacza.

Z opisu patentowego amerykańskiego US 5705950 znane jest rozwiązanie przedwzmacniacza, (wzmacniacza wstępnego), w którym wykorzystuje się pojedynczą lampę, pracującą w klasie A, w pętli ujemnego sprzężenia zwrotnego wzmacniacza operacyjnego. Celem jest „zachowanie mało- i wielkosygnałowych zniekształceń typowych dla lamp” i uzyskanie „ciepłego brzmienia, charakterystycznego dla wzmacniaczy lampowych”. Rozwiązanie to pozwala także znacząco obniżyć napięcia pracy lampy, co ma na celu przedłużenie jej żywotności. W podanych przykładach realizacji układ ten ma zastosowanie jako przedwzmacniacz sterujący pracą układów tranzystorowych przeciwsobnych stopni mocy.

Z nieco starszego opisu patentowego amerykańskiego US 3325742 znane jest też rozwiązanie hybrydowego tranzystorowo-lampowego napięciowego wzmacniacza różnicowego, w którym „zadaniem tranzystora współpracującego z lampą jest kompensacja zmian transkonduktancji zastosowanej lampy”, poprzez „włączenie obwodu baza-kolektor tranzystora w ścieżkę ujemnego sprzężenia zwrotnego, od katody do siatki lampy”. Według tego opisu patentowego, najlepszym zastosowaniem dla takiego wzmacniacza jest wzmacniacz toru odchylenia pionowego oscyloskopu z lampą katodową.

Układ stopnia końcowego lampowego wzmacniacza mocy według wynalazku, który zawiera dwie główne lampy mocy uczestniczące w przekazywaniu energii ze źródła zasilania poprzez transformator wyjściowy do odbiornika, charakteryzuje się tym, że wzmacniany sygnał elektryczny z wejścia układu doprowadza się poprzez układ inwertera, posiadający jedno wyjście odwracające fazę sygnału oraz drugie wyjście nie odwracające fazy, bezpośrednio lub korzystnie poprzez sieć elementów biernych (RC), do jednego z wejść pierwszego wzmacniacza linearyzującego oraz do jednego z wejść drugiego wzmacniacza linearyzującego. Wyjście pierwszego wzmacniacza linearyzującego dołączone jest do elektrody sterującej pierwszej lampy mocy, zaś katoda pierwszej lampy mocy połączona jest jednocześnie z drugim wejściem tego samego wzmacniacza linearyzującego i z rezystorem katodowym, którego druga końcówka połączona jest z masą układu. Podobnie wyjście drugiego wzmacniacza linearyzującego dołączone jest do elektrody sterującej drugiej lampy mocy, zaś katoda drugiej lampy mocy połączona jest jednocześnie z drugim wejściem tegoż wzmacniacza linearyzującego i z rezystorem katodowym drugiej lampy mocy, a druga końcówka rezystora katodowego połączona jest z masą układu. Anody lamp mocy dołączone są do zacisków głównego uzwojenia transformatora wyjściowego. Jako wzmacniacze linearyzujące, (pierwszy i drugi), bardzo korzystnie jest stosować układy tranzystorowe. Mogą to być układy zbudowane z elementów dyskretnych, jak w przedstawionych przykładach realizacji.

Układ według wynalazku nadaje się do stosowania we wszelkiego rodzaju lampowych wzmacniaczach mocy, a zwłaszcza we wzmacniaczach przeznaczonych do zestawów elektroakustycznych oraz we wzmacniaczach stanowiących część aparatury pomiarowej. Zasada działania układu według wynalazku pozwala uzyskać dobrą liniowość przetwarzania stopnia końcowego wzmacniacza lampo-

wego, (tzn. małe zniekształcenia nieliniowe) oraz zapewnić stabilizację punktów pracy lamp, dzięki czemu również efekt starzenia się lamp, (zmiana ich parametrów wraz z upływem czasu pracy), w mniejszym stopniu odbije się na parametrach całego wzmacniacza, niż ma to miejsce w tradycyjnych wzmacniaczach lampowych.

Przedmiot wynalazku przedstawiono na rysunku, na którym fig. 1 ilustruje istotę wynalazku na przykładzie wzmacniacza zbudowanego na triodach, fig. 2 ilustruje istotę wynalazku na przykładzie wzmacniacza zbudowanego na pentodach, fig. 3 przedstawia przykład realizacji wzmacniacza linearyzującego zbudowanego z wykorzystaniem tranzystorów bipolarnych (BJT), natomiast fig. 4 przedstawia inny przykład realizacji wzmacniacza linearyzującego, który zbudowany jest na tranzystorach unipolarnych z izolowaną bramką (IGFET, MOSFET).

Istota rozwiązania według wynalazku polega na współbieżnej i niezależnej aktywnej linearyzacji każdej z głównych lamp mocy $Q1$ i $Q2$ biorących udział w przekazywaniu energii ze źródła zasilania do odbiornika $R0$. Aktywna linearyzacja, polega na objęciu lampy mocy pętlą silnego ujemnego sprzężenia zwrotnego. Technika aktywnej linearyzacji jest dobrze znana ze stanu techniki, jednak w tradycyjnych lampowych wzmacniaczach mocy nie stosuje się jej w odniesieniu do poszczególnych lamp w stopniu mocy, a co najwyżej do całego stopnia mocy, zbudowanego zwykle z kilku lamp. W rozwiązaniu według wynalazku pierwsza główna lampa mocy $Q1$ pracuje w pętli ujemnego sprzężenia zwrotnego pierwszego wzmacniacza linearyzującego $A1$ oraz druga główna lampa mocy $Q2$ pracuje w pętli ujemnego sprzężenia zwrotnego drugiego wzmacniacza linearyzującego $A2$. Oznacza to, że w układzie stopnia końcowego wzmacniacza według wynalazku działają równolegle (współbieżnie) dwie niezależne pętle ujemnego sprzężenia zwrotnego. Dla zapewnienia dobrej linearyzacji wzmacniacze linearyzujące $A1$ i $A2$ powinny być różnicowe oraz mieć duże wzmocnienie napięciowe. Korzystnym rozwiązaniem jest zastosowanie układów tranzystorowych pokazanych na rysunku w przykładach realizacji. Korzystnym rozwiązaniem może być również zastosowanie wzmacniaczy operacyjnych o odpowiednich parametrach (odpowiednio wysokich napięciach pracy). Duże wzmocnienie napięciowe powoduje, że napięcie różnicowe na wejściach każdego ze wzmacniaczy $A1$ i $A2$ jest niewielkie, bliskie zera. Oznacza to, że potencjał w punkcie $XN1$ jest odwzorowaniem potencjału występującego na wejściu $XP1$ wzmacniacza $A1$, a potencjał w punkcie $XN2$ jest odwzorowaniem potencjału występującego na wejściu $XP2$ wzmacniacza $A2$. W konsekwencji pierwsza główna lampa mocy $Q1$ wraz z pierwszym wzmacniaczem linearyzującym $A1$ i rezystorem katodowym $RK1$ tworzą pierwszy precyzyjny przetwornik napięcie-prąd oraz druga główna lampa mocy $Q2$ wraz z drugim wzmacniaczem linearyzującym $A2$ i rezystorem katodowym $RK2$ tworzą drugi precyzyjny przetwornik napięcie-prąd. Każdy z tych przetworników napięcie-prąd jest przetwornikiem unipolarnym, tzn. prąd wyjściowy może płynąć tylko w jednym kierunku. Przeciwsobne połączenie dwóch takich przetworników, zrealizowane z wykorzystaniem inwertera $A0$ oraz transformatora wyjściowego Tr , który jednocześnie przekazuje energię wzmocnionego sygnału do odbiornika $R0$, pozwala uzyskać bipolarny sygnał napięcia i prądu na impedancji odbiornika $R0$. W ten sposób układ według wynalazku realizuje funkcję stopnia końcowego hybrydowego wzmacniacza mocy o dobrej liniowości przetwarzania. Statyczny punkt pracy tego stopnia jest ustalany poprzez wartość napięcia stałego U przyłożonego na wejście $XP1$ wzmacniacza $A1$ oraz na wejście $XP2$ wzmacniacza $A2$, korzystnie poprzez sieć pomocniczych elementów biernych $RB1$, $RB2$, $C1$, $C2$, i jest on w bardzo niewielkim stopniu zależny od parametrów samych lamp, co praktycznie eliminuje wpływ efektu starzenia się lamp na parametry całego wzmacniacza.

W przykładzie realizacji pokazanym na fig. 2, jako główne lampy mocy $Q1$ i $Q2$ zastosowano pentody. Układ ten zawiera dodatkowe dwa rezystory $RS21$ i $RS22$ dołączone do siatek przyspieszających lamp (pentod) $Q1$ i $Q2$. Zadaniem tych rezystorów jest zapewnienie pentodom prawidłowych warunków pracy.

W przykładzie realizacji wzmacniacza linearyzującego, pokazanym na fig. 3, jako elementy aktywne (wzmacniające) zastosowano tranzystory bipolarne (BJT). Sygnał z wejścia XP doprowadzony jest do bazy pierwszego tranzystora $T1$, a sygnał z wejścia XN doprowadzony jest do bazy drugiego tranzystora $T2$, tworzącego razem z tranzystorem $T1$ parę różnicową. Emitery tranzystorów $T1$ i $T2$ podłączone są, korzystnie poprzez rezystory emiterowe $RE1$ i $RE2$, do wyjścia podukładu ZP realizującego tu funkcję źródła prądowego. Drugie wyprowadzenie podukładu ZP wymaga podłączenia do zewnętrznego źródła zasilania 3 . Kolektor tranzystora $T1$ podłączony jest do podukładu realizującego funkcję zwierciadła prądowego, zbudowanego korzystnie na tranzystorach bipolarnych $T3$ i $T4$, i korzystnie z pomocniczymi rezystorami emiterowymi $RE3$ i $RE4$. Podukład realizujący funkcję zwierciadła prądowego wymaga podłączenia do zewnętrznego źródła zasilania 4 . W tak zbudowanym układzie

prąd kolektora tranzystora $T1$ zostaje „powtórzony” jako prąd kolektora tranzystora $T4$. Do wyjścia Y dołączone są kolektory tranzystorów $T2$ i $T4$, a tym samym na wyjściu Y otrzymujemy prąd będący różnicą prądu kolektora tranzystora $T2$ i prądu kolektora tranzystora $T4$. Wytworzony w ten sposób prąd wyjściowy jest proporcjonalny do wartości prądu wytwarzanego przez źródło prądowe ZP oraz do różnicy potencjałów pomiędzy wejściami XP i XN .

W innym przykładzie realizacji wzmacniacza linearyzującego, pokazanym na fig. 4, jako elementy aktywne (wzmacniające) zastosowano tranzystory unipolarne (IGFET, inaczej MOSFET). Sygnał z wejścia XP doprowadzony jest do bramki pierwszego tranzystora $T1$, zaś sygnał z wejścia XN doprowadzony jest do bramki drugiego tranzystora $T2$, tworzącego razem z tranzystorem $T1$ parę różnicową. Źródła tranzystorów $T1$ i $T2$ podłączone są, korzystnie poprzez rezystory źródłowe $RS1$ i $RS2$, do wyjścia podukładu realizującego funkcję źródła prądowego. Dren tranzystora $T1$ podłączony jest do podukładu realizującego funkcję zwierciadła prądowego, zbudowanego korzystnie na tranzystorach $T3$ i $T4$, korzystnie również z dodatkowymi rezystorami źródłowymi $RS3$ i $RS4$. Prąd drenu tranzystora $T1$ zostaje w tym układzie „powtórzony” jako prąd drenu tranzystora $T4$. Dreny tranzystorów $T2$ i $T4$ są dołączone do wyjścia Y . Tym samym, na wyjściu Y otrzymujemy prąd będący różnicą prądu drenu tranzystora $T2$ i prądu drenu tranzystora $T4$. Wartość tego prądu jest proporcjonalna do wartości prądu wytwarzanego przez źródło prądowe ZP oraz do różnicy potencjałów pomiędzy wejściami XP i XN .

Możliwe są także inne rozwiązania układów wzmacniaczy linearyzujących. W układzie lampowego wzmacniacza mocy według wynalazku nie ma konieczności stosowania tradycyjnej pętli globalnego ujemnego sprzężenia zwrotnego, tym niemniej nie wyklucza się również (dodatkowo) takiej możliwości, gdyby okazało się to korzystne.

Zastrzeżenia patentowe

1. Układ polaryzacji stopnia końcowego lampowego wzmacniacza mocy, zawierającego dwie główne lampy mocy, korzystnie triody, tetrody lub pentody, połączone z zaciskami uzwojenia transformatora wyjściowego, przekazującego wzmocniony sygnał do obciążenia tj. odbiornika wzmocnionego sygnału, **znamienny tym**, że wzmocniany sygnał elektryczny z wejścia układu (1) doprowadza się poprzez układ inwertera ($A0$) posiadający jedno wyjście odwracające fazę sygnału oraz drugie wyjście nie odwracające fazy, bezpośrednio lub korzystnie poprzez sieć elementów biernych, odpowiednio do jednego z wejść ($XP1$) pierwszego wzmacniacza linearyzującego ($A1$) oraz do jednego z wejść ($XP2$) drugiego wzmacniacza linearyzującego ($A2$), wyjście ($Y1$) pierwszego wzmacniacza linearyzującego ($A1$) dołączone jest do elektrody sterującej pierwszej lampy mocy ($Q1$), zaś katoda pierwszej lampy mocy ($Q1$) połączona jest jednocześnie z drugim wejściem ($XN1$) tego samego wzmacniacza linearyzującego ($A1$) i z rezystorem katodowym ($RK1$), którego druga końcówka połączona jest z masą układu, natomiast wyjście ($Y2$) drugiego wzmacniacza linearyzującego ($A2$) dołączone jest do elektrody sterującej drugiej lampy mocy ($Q2$), a katoda drugiej lampy mocy ($Q2$) połączona jest jednocześnie z drugim wejściem ($XN2$) drugiego wzmacniacza linearyzującego ($A2$) i z rezystorem katodowym ($RK2$), którego druga końcówka połączona jest z masą układu, jednocześnie anoda pierwszej lampy mocy ($Q1$) połączona jest z jednym końcem pierwotnego uzwojenia transformatora wyjściowego (Tr), a anoda drugiej lampy mocy ($Q2$) połączona jest z drugim, przeciwległym końcem tegoż uzwojenia.

2. Układ polaryzacji według zastrz. 1, **znamienny tym**, że wzmacniaczami linearyzującymi ($A1$) i ($A2$) są tranzystorowe wzmacniacze z wejściami różnicowymi.

Rysunki

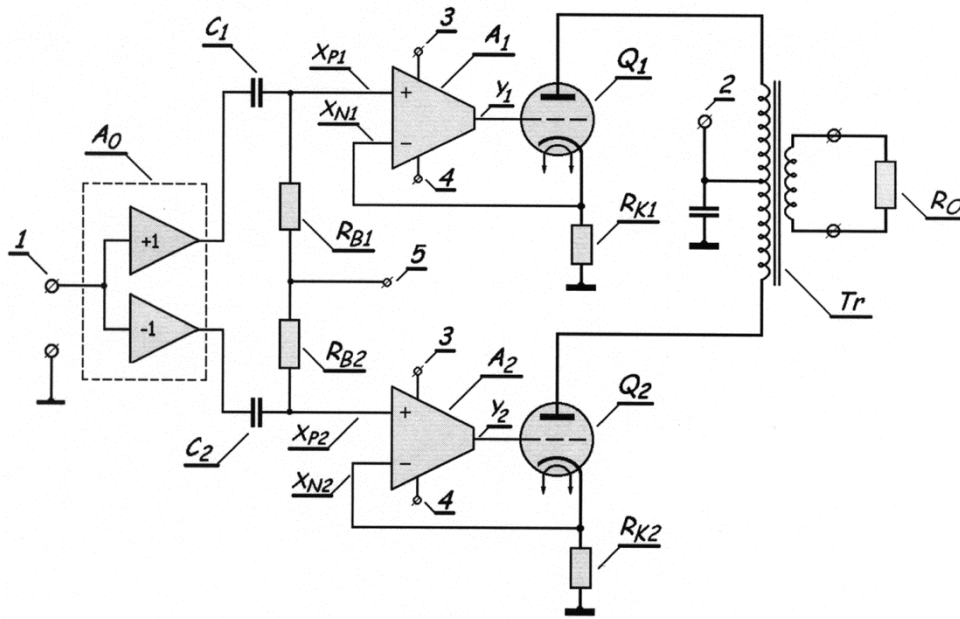


Fig. 1.

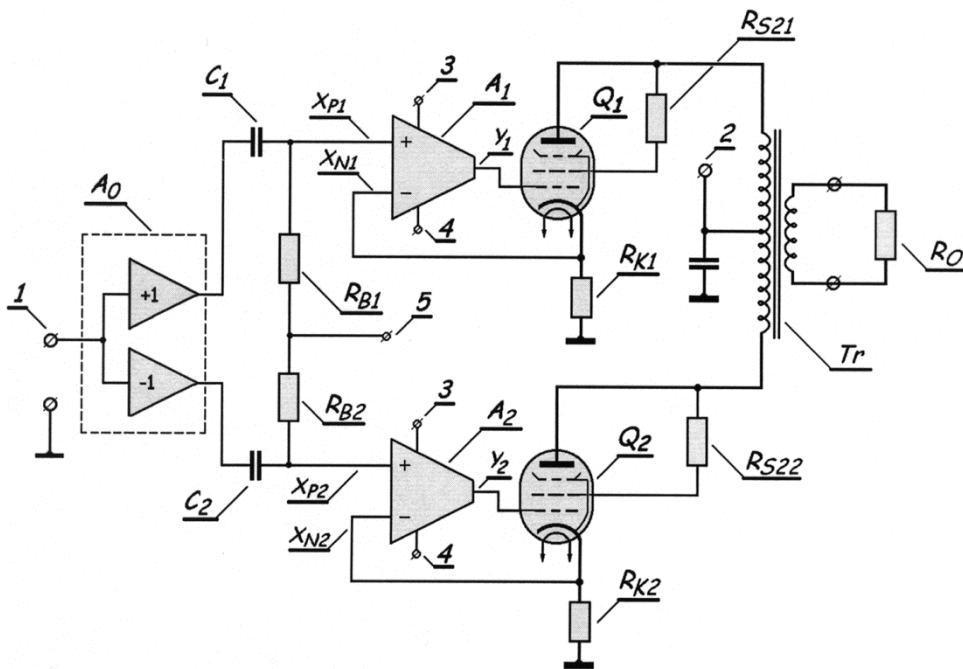


Fig. 2.

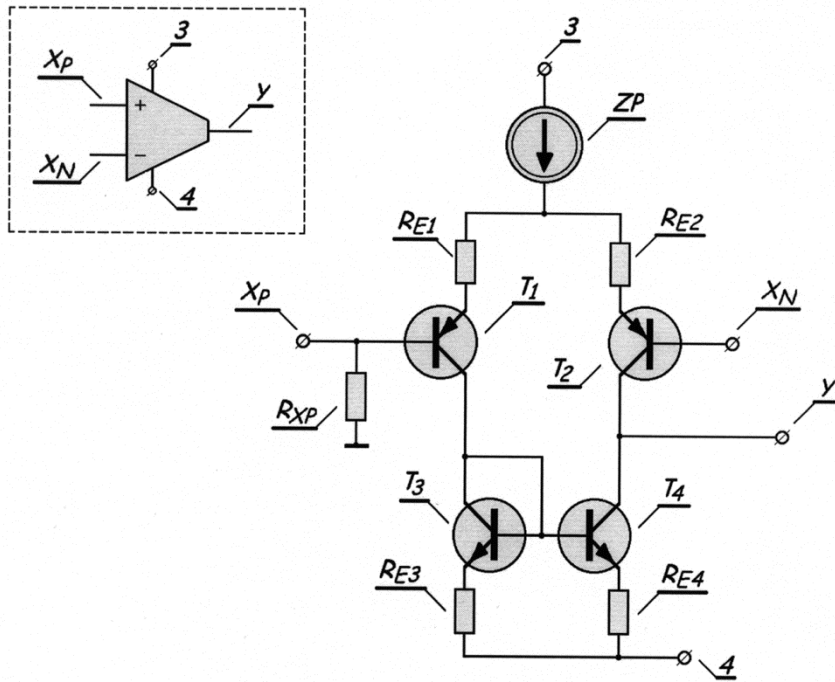


Fig. 3.

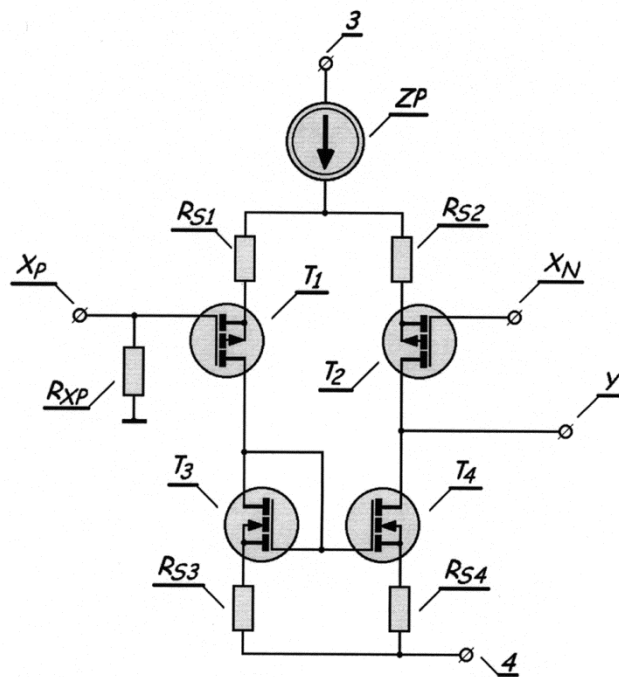


Fig. 4.