

RZECZPOSPOLITA  
POLSKA



Urząd Patentowy  
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **210626**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **379604**

(51) Int.Cl.  
**H03F 3/26 (2006.01)**

(22) Data zgłoszenia: **04.05.2006**

(54)

**Układ stopnia końcowego przeciwsobnego wzmacniacza mocy**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

**12.11.2007 BUP 23/07**

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

**29.02.2012 WUP 02/12**

(73) Uprawniony z patentu:

**POLITECHNIKA ŚLĄSKA, Gliwice, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**ADAM KRISTOF, Rydułtowy, PL**

(74) Pełnomocnik:

**rzec. pat. Urszula Ziółkowska**

**PL 210626 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest układ stopnia końcowego przeciwsobnego wzmacniacza mocy.

Z opisu patentowego amerykańskiego US 4107619 (Int. Cl. H03F 3/45) znane jest rozwiązanie, w którym tranzystory stopnia końcowego wzmacniacza są linearyzowane poprzez zapewnienie im stałego napięcia kolektor-emiter w czasie pracy. Aby uzyskać takie warunki pracy tych tranzystorów w układzie stopnia końcowego zastosowano znane kaskadowe połączenie tranzystorów łącznie z odpowiednią ścieżką dodatniego sprzężenia zwrotnego typu bootstrap.

Z innego amerykańskiego opisu patentowego US 5376899 (Int. Cl. H03F 3/45) znane jest rozwiązanie, w którym linearyzacja wzmacniacza opiera się na zasadzie kompensacji nieliniowości tranzystorów. Wzmacniacz o symetrycznej strukturze układowej z obciążeniem włączonym mostkowo posiada sprzężenia umożliwiające różnicową korekcję (błędów) nieliniowości.

Znane jest z opisu patentowego amerykańskiego US 6052027 (Int. Cl. H03F 3/45) rozwiązanie, w którym wielostopniowy wzmacniacz posiada aktywną linearyzację, nazywaną też korekcją błędów wzmocnienia, którą uzyskuje się dzięki zastosowaniu wielu pętli ujemnego sprzężenia zwrotnego, przy czym tranzystory stopnia końcowego są tam linearyzowane w sposób tradycyjny, tzn. ujemnym sprzężeniem zwrotnym objęty jest cały stopień końcowy wzmacniacza (obydwa tranzystory łącznie).

Z opisu patentowego amerykańskiego US 6600367 B2 (Int. Cl. H06F 3/52) znane jest też inne podobne rozwiązanie, w którym także zastosowano złożone, wielokrotne ujemne sprzężenie zwrotne. Tranzystory stopnia końcowego są tam sterowane z wyjść oddzielnych wzmacniaczy, jednak ujemne sprzężenie zwrotne obejmuje cały stopień końcowy wzmacniacza a nie jego poszczególne tranzystory.

Z japońskiego opisu patentowego JP 63045907 (A) (Int. Cl. H03F3/20; H03F3/217) znane jest rozwiązanie, w którym przemyślana mostkowa konstrukcja (ang. BTL) wzmacniacza przełączającego, (tj. wzmacniacza pracującego w klasie D) i zastosowane tam dwie niezależne pętle sprzężenia zwrotnego pozwalają uzyskać bardzo znaczącą redukcję (kompensację) sygnału przełączającego, (sygnału nośnego), który stanowi podstawę działania wzmacniacza klasy D, ale który jest jednocześnie sygnałem niepożądanym, sztucznie dodanym do sygnału wyjściowego, pasożytniczym, pogarszającym zarówno sprawność energetyczną jak i poziom wprowadzanych zniekształceń. Dzięki zaproponowanej konstrukcji mostkowej wzmacniacze klasy D mogą osiągać znacznie lepsze parametry niż zwykłe, tradycyjne wzmacniacze klasy D.

Z polskiego opisu patentowego PL 96948 (patent tymczasowy, Int. Cl. H03F 3/26; H03F 1/34) znane jest rozwiązanie, którego przedmiotem jest „beztransformatorowy wzmacniacz elektroakustyczny o symetrycznym wyjściu, przeznaczony do zastosowań w urządzeniach studyjnych”. Symetryczne wyjście oraz wejście jest praktycznym i bardzo skutecznym sposobem poprawiającym odporność linii transmisyjnych, przewodzących analogowe sygnały elektroakustyczne, na zewnętrzne zakłócenia elektryczne. Z tego powodu jest powszechnie stosowane w urządzeniach systemów studyjnych. Układ zaproponowany w opisie patentowym monitoruje i kompensuje w sposób aktywny różnicę prądów wyjściowych wzmacniacza sterującego symetryczną analogową linią transmisyjną, pełniąc tym samym rolę układu „automatycznego dostrojenia symetryzatora”, a ponadto nie stosuje się w nim tradycyjnego transformatora symetryzującego, dzięki czemu rozwiązanie to może być tańsze i bardziej podatne na miniaturyzację. Jest to układ o „dwóch niezależnych przeciwsobnie pracujących stopniach końcowych, z których każdy objęty jest sprzężeniami zwrotnymi”, (a więc podobnie jak w przedstawionych wyżej opisach bezpośrednim obiektem linearyzacji są tu kompletne stopnie końcowe, a nie poszczególne tranzystory mocy wzmacniacza).

Układ stopnia końcowego przeciwsobnego wzmacniacza mocy według wynalazku, charakteryzuje się tym, że wzmacniany sygnał elektryczny z wejścia układu doprowadza się bezpośrednio lub korzystnie poprzez sieć elementów biernych do jednego z wejść pierwszego wzmacniacza linearyzującego oraz do jednego z wejść drugiego wzmacniacza linearyzującego, wyjście pierwszego wzmacniacza linearyzującego dołączone jest do elektrody sterującej pierwszego elementu sterowanego, zaś jedna z elektrod obwodu głównego pierwszego elementu sterowanego połączona jest bezpośrednio lub korzystnie poprzez rezystor do drugiego wejścia tego samego wzmacniacza linearyzującego i jednocześnie przez rezystor szeregowy do wyjścia wzmacniacza, natomiast wyjście drugiego wzmacniacza linearyzującego dołączone jest do elektrody sterującej drugiego elementu sterowanego, a jedna z elektrod obwodu głównego drugiego elementu sterowanego połączona jest bezpośrednio lub korzystnie poprzez rezystor do drugiego z wejść drugiego wzmacniacza linearyzującego i jednocześnie przez rezystor szeregowy do wyjścia wzmacniacza. Pierwszy wzmacniacz linearyzujący

i drugi wzmacniacz linearyzujący mogą być zbudowane albo z elementów dyskretnych albo jako układy scalone, korzystnie wzmacniacze operacyjne.

Układ według wynalazku nadaje się do stosowania we wszelkiego rodzaju wzmacniaczach mocy, zwłaszcza we wzmacniaczach mocy do zestawów elektroakustycznych oraz we wzmacniaczach aparatury pomiarowej. Sposób według wynalazku zapewnia dużą liniowość przetwarzania tego stopnia wzmacniacza, tj. małe zniekształcenia nieliniowe oraz stabilną polaryzację elementów wykonawczych, tj. stabilny punkt pracy, niezależnie od rodzaju użytych elementów wykonawczych (tzn. elementów sterowanych biorących bezpośredni udział w przekazywaniu energii ze źródła zasilania do odbiornika). Jako elementy wykonawcze można stosować dowolnego typu tranzystory lub lampy elektronowe. Działanie silnego ujemnego sprzężenia zwrotnego niweluje również w znacznym stopniu wpływ zmian parametrów elementów wykonawczych na parametry całego stopnia wzmacniacza, a tym samym następuje stabilizacja parametrów wzmacniacza oraz jego punktu pracy. Takie czynniki jak wpływ temperatury, produkcyjny rozrzut parametrów, starzenie się, czy wymiana jednego lub obydwu elementów wykonawczych nie mają więc istotnego wpływu na punkt pracy i parametry całego stopnia końcowego wzmacniacza.

Przedmiot wynalazku przedstawiono na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia schemat układu, fig. 2 przedstawia schemat układu w przykładzie realizacji z tranzystorami bipolarnymi BJT, natomiast fig. 3 przedstawia inny przykład realizacji, w którym oprócz stopnia końcowego według wynalazku zastosowano również stopień wzmacniacza wstępnego, a jako elementy wykonawcze zastosowano tranzystory polowe MOS FET.

Istota rozwiązania według wynalazku polega na współbieżnej i niezależnej aktywnej linearyzacji każdego z głównych elementów sterowanych **Q1** i **Q2** biorących bezpośredni udział w przekazywaniu energii ze źródła zasilania do odbiornika **Ro**. Aktywna linearyzacja, polegająca na objęciu nieliniowego stopnia wzmacniacza pętlą silnego ujemnego sprzężenia zwrotnego jest znana ze stanu techniki i powszechnie stosowana w praktyce, jednak tradycyjnie stopień końcowy wzmacniacza mocy zawierający elementy sterowane **Q1** i **Q2** jest traktowany (linearyzowany) jako całość. W rozwiązaniu według wynalazku pierwszy główny element sterowany **Q1** pracuje w pętli ujemnego sprzężenia zwrotnego pierwszego wzmacniacza linearyzującego **A1** oraz drugi główny element sterowany **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. Wzmacniacze linearyzujące **A1** i **A2** powinny mieć wejścia różnicowe oraz duże wzmocnienie napięciowe. Korzystnym rozwiązaniem może być zastosowanie tu wzmacniaczy operacyjnych. 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 **101** jest odwzorowaniem potencjału występującego na wejściu **11** wzmacniacza **A1**, a potencjał w punkcie **201** jest odwzorowaniem potencjału występującego na wejściu **21** wzmacniacza **A2**. W konsekwencji pierwszy główny element sterowany **Q1** wraz z pierwszym wzmacniaczem linearyzującym **A1** i rezystorem szeregowym **RS1** tworzą pierwszy precyzyjny przetwornik napięcie-prąd oraz drugi główny element sterowany **Q2** wraz z drugim wzmacniaczem linearyzującym **A2** i rezystorem szeregowym **RS2** tworzą drugi precyzyjny przetwornik napięcie-prąd. Każdy z tych przetworników napięcie-prąd jest przetwornikiem unipolarnym, tzn. prąd wyjściowy płynie tylko w jednym kierunku, co wynika ze sposobu przepływu energii elektrycznej od źródła napięcia zasilania **3** lub **4** do odbiornika **Ro**. Przeciwsobny układ dwóch takich przetworników napięcie-prąd, z których jeden jest zasilany napięciem dodatnim **3** a drugi napięciem ujemnym **4** pozwala uzyskać bipolarny sygnał napięcia i prądu na wyjściu wzmacniacza **2** i na impedancji odbiornika **Ro**. W ten sposób elementy sterowane **Q1** i **Q2** wraz ze wzmacniaczami linearyzującymi **A1** i **A2** oraz rezystorami szeregowymi **RS1** i **RS2** tworzą stopień końcowy wzmacniacza mocy o dużej liniowości przetwarzania. Statyczny punkt pracy tego stopnia jest ustalany poprzez wartość napięcia stałego przyłożonego pomiędzy wejście **11** wzmacniacza **A1** a wejście **21** wzmacniacza **A2** i w bardzo niewielkim stopniu zależy on od parametrów samych elementów wykonawczych **Q1** i **Q2**. Korzystnym sposobem ustalenia punktu pracy stopnia końcowego według wynalazku jest zastosowanie rezystora, lub dwóch rezystorów **RB1** i **RB2**, najlepiej o jednakowych wartościach, włączonych pomiędzy wejście **11** wzmacniacza **A1** oraz wejście **21** wzmacniacza **A2**, oraz zapewnienie takich warunków, aby przez każdy z tych rezystorów (**RB1** i **RB2**) płynął prąd **IB** o niezmiennej lub nieznacznie zmieniającej się wartości. Łączny spadek napięcia odkładający się na rezystorach **RB1** i **RB2** ustala wartość spoczynkowego prądu zasilania i tym samym zapewnia żadaną polaryzację stopnia końcowego.

W przykładzie realizacji pokazanym na fig. 2, jako elementy wykonawcze (tj. główne elementy sterowane) zastosowano tranzystory bipolarne BJT, z których pierwszy **Q1** jest typu npn a drugi **Q2** typu pnp. W przykładzie tym zastosowano również dodatkowo rezystory **RG1** i **RG2**, które pozwalają na uzyskanie ściśle określonej wartości wzmocnienia napięciowego całego stopnia końcowego według wynalazku, większej od 1 [VA]. Pozwala to ograniczyć zakres napięć występujących na wejściach wzmacniaczy linearyzujących. W przypadku, gdy nie ma rezystorów **RG1** i **RG2** wzmocnienie napięciowe stopnia końcowego według wynalazku ma wartość 1 [V/V].

W innym przykładzie realizacji, pokazanym na fig. 3, jako elementy wykonawcze zastosowano tranzystory polowe z izolowaną bramką MOS FET. W przykładzie tym stopień końcowy zawierający elementy **Q1**, **RS1**, **A1** oraz **Q2**, **RS2**, **A2** współpracuje ze stopniem wzmacniacza wstępnego **A3** i jest objęty dodatkową pętlą globalnego ujemnego sprzężenia zwrotnego realizowanego przez rezystory **RF** i **RG**. Ze względu na sposób włączenia i wynikający stąd sposób sterowania tranzystorów **Q1** i **Q2**, uzyskanie ujemnego sprzężenia zwrotnego obejmującego te tranzystory i stanowiącego istotę wynalazku wymaga, aby sygnał sprzężenia zwrotnego z tranzystora **Q1** poprzez rezystor **RF1** trafiał do wejścia nieodwracającego wzmacniacza **A1** a sygnał sprzężenia zwrotnego z tranzystora **Q2** poprzez rezystor **RF2** trafiał do wejścia nieodwracającego wzmacniacza **A2**. Zastosowanie globalnego ujemnego sprzężenia zwrotnego pozwala skorygować ewentualne błędy (zniekształcenia) wynikające z różnicy wartości rezystorów **RF1** i **RF2** oraz różnicy wartości rezystorów **RG1** i **RG2** ustalających wzmocnienie stopnia końcowego dla dodatnich i dla ujemnych wartości sygnału, a ponadto pozwala nieco uprościć obwód polaryzacji stopnia końcowego, i zastąpić rezystory **RB1** i **RB2** z poprzedniego przykładu realizacji, jednym rezystorem **RB**.

### Zastrzeżenie patentowe

Układ stopnia końcowego przeciwsobnego wzmacniacza mocy, zawierającego dwa główne elementy o sterowanej rezystancji, korzystnie tranzystory, włączone pomiędzy zaciski napięć zasilania a impedancję obciążenia (odbiornika wzmacnianego sygnału), **znamienny tym**, że wzmacniany sygnał elektryczny z wejścia układu (**1**) doprowadza się bezpośrednio lub korzystnie poprzez sieć elementów biernych do jednego z wejść (**11**) pierwszego wzmacniacza linearyzującego (**A1**) oraz do jednego z wejść (**21**) drugiego wzmacniacza linearyzującego (**A2**), wyjście (**13**) pierwszego wzmacniacza linearyzującego (**A1**) dołączone jest do elektrody sterującej pierwszego elementu sterowanego (**Q1**), zaś jedna z elektrod (**101**) obwodu głównego pierwszego elementu sterowanego (**Q1**) połączona jest bezpośrednio lub korzystnie poprzez rezystor (**RF1**) do drugiego z wejść (**12**) tego samego wzmacniacza linearyzującego (**A1**) i jednocześnie poprzez rezystor szeregowy (**RS1**) do wyjścia (**2**) wzmacniacza, natomiast wyjście (**23**) drugiego wzmacniacza linearyzującego (**A2**) dołączone jest do elektrody sterującej drugiego elementu sterowanego (**Q2**), a jedna z elektrod (**201**) obwodu głównego drugiego elementu sterowanego (**Q2**) połączona jest bezpośrednio lub korzystnie poprzez rezystor (**RF2**) do drugiego z wejść (**22**) drugiego wzmacniacza linearyzującego (**A2**) i jednocześnie poprzez rezystor szeregowy (**RS2**) do wyjścia (**2**) wzmacniacza, ponadto jako wzmacniacze linearyzujące korzystnie jest stosować gotowe układy scalone, zwłaszcza wzmacniacze operacyjne, jednak korzystne jest również gdy wzmacniacze linearyzujące (**A1**) i (**A2**) zbudowane są z elementów dyskretnych.

Rysunki

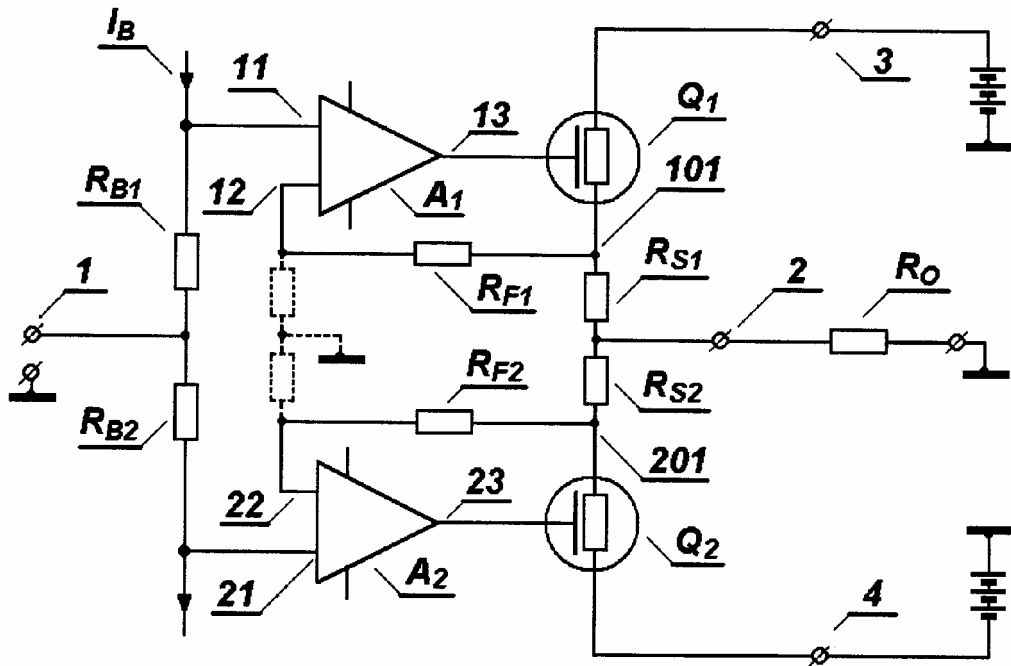


Fig. 1.

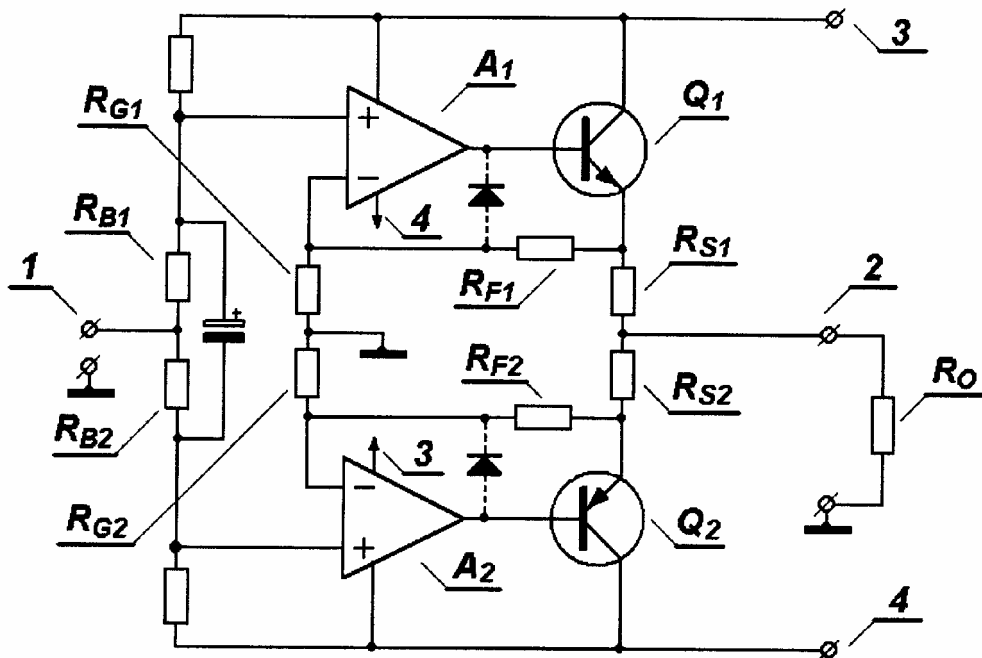


Fig. 2.

