



Urząd Patentowy  
Rzeczypospolitej Polskiej

21 Numer zgłoszenia: 301786

22 Data zgłoszenia: 06.01.1994

51 IntCl<sup>6</sup>:  
H03F 3/20  
H03F 3/189  
H03F 3/24

CZYTAJ  
OD POCZĄTKU

54

Wzmacniacz rezonansowy klasy E

43 Zgłoszenie ogłoszono:  
10.07.1995 BUP 14/95

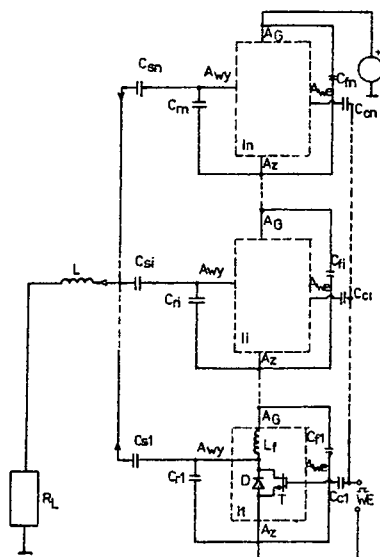
45 O udzieleniu patentu ogłoszono:  
30.09.1997 WUP 09/97

73 Uprawniony z patentu:  
Politechnika Warszawska, Warszawa, PL

72 Twórcy wynalazku:  
Mirostaw Mikołajewski, Warszawa, PL  
Juliusz Modzelewski, Warszawa, PL

74 Pełnomocnik:  
Lewińska Krystyna,  
Politechnika Warszawska

57 1. Wzmacniacz rezonansowy klasy E zawierający inwerter złożony z tranzystora, którego zacisk wyjściowy stanowiący wyjście inwertera połączony jest z dławikiem, którego drugi zacisk stanowi zacisk zasilania inwertera o wyższej wartości bezwzględnej potencjału, zaś między zacisk zasilania inwertera o niższej wartości bezwzględnej potencjału a zacisk wyjściowy tranzystora włączony jest kondensator równoległy i połączona z nim równoległe dioda, a wyjście inwertera połączone jest z obwodem rezonansowym zawierającym obciążenie, **znamienny tym**, że zawiera co najmniej dwa inwertery ( $J_1, \dots, J_i, \dots, J_n$ ), z których poprzedni inwerter ( $J_1, \dots, J_{i-1}, \dots, J_{n-1}$ ) ma zacisk zasilania o wyższej wartości bezwzględnej potencjału ( $A_G$ ) połączony z zaciskiem zasilania o niższej wartości bezwzględnej potencjału ( $A_Z$ ) następnego inwertera ( $J_2, \dots, J_i, \dots, J_n$ ), a kondensatory ( $C_{S1}, \dots, C_{Si}, \dots, C_{Sn}$ ) obwodu rezonansowego połączone są, poprzez wspólną cewkę ( $L$ ) obwodu rezonansowego, ze wspólną rezystencją obciążenia ( $R_L$ ).



# Wzmacniacz rezonansowy klasy E

## Zastrzeżenia patentowe

1. Wzmacniacz rezonansowy klasy E zawierający inwerter złożony z tranzystora, którego zacisk wyjściowy stanowiący wyjście inwertera połączony jest z dławikiem, którego drugi zacisk stanowi zacisk zasilania inwertera o wyższej wartości bezwzględnej potencjału, zaś między zacisk zasilania inwertera o niższej wartości bezwzględnej potencjału a zacisk wyjściowy tranzystora włączony jest kondensator równoległy i połączona z nim równoległe dioda, a wyjście inwertera połączone jest z obwodem rezonansowym zawierającym obciążenie, **znamienny tym**, że zawiera co najmniej dwa inwertery ( $J_1, \dots, J_i, \dots, J_n$ ), z których poprzedni inwerter ( $J_1, \dots, J_{i-1}, \dots, J_{n-1}$ ) ma zacisk zasilania o wyższej wartości bezwzględnej potencjału ( $A_G$ ) połączony z zaciskiem zasilania o niższej wartości bezwzględnej potencjału ( $A_Z$ ) następnego inwertera ( $J_2, \dots, J_i, \dots, J_n$ ), a kondensatory ( $C_{S1}, \dots, C_{Si}, \dots, C_{Sn}$ ) obwodu rezonansowego połączone są, poprzez wspólną cewkę ( $L$ ) obwodu rezonansowego, ze wspólną rezystencją obciążenia ( $R_1$ ).

2. Wzmacniacz według zastrz. 1, **znamienny tym**, że zaciski zasilające ( $A_G, A_Z$ ) inwertorów ( $J_1, \dots, J_i, \dots, J_n$ ) połączone są poprzez kondensator blokujący ( $C_{f1}, \dots, C_{fi}, \dots, C_{fn}$ ).

\* \* \*

Przedmiotem wynalazku jest tranzystorowy wzmacniacz rezonansowy mocy wielkiej częstotliwości klasy E o podwyższonym napięciu zasilania znajdujący zastosowanie w nadajnikach radiowych, zasilaczach impulsowych, urządzeniach do grzania indukcyjnego i innych.

Znany jest z artykułu N.D. Sokal, A.D. Sokal "Class E - A new class of high-efficiency tuned single-ended switching power amplifiers", IEEE Journal Solid-State Circuits, vol.SC-10, June 1975 jednotranzystorowy wzmacniacz rezonansowy mocy wielkiej częstotliwości.

Układ ten składa się z inwertera, mającego cztery zaciski: wejściowy, wyjściowy, zasilania i masy oraz z obwodu rezonansowego będącego dwójnikiem RLC o uziemionym jednym zacisku. Inwerter zawiera tranzystor z diodą antyrównoległą pracujące jako klucz dwukierunkowy. Do drenu tranzystora stanowiącego zacisk wyjściowy inwertera, dołączony jest jeden zacisk dławika a, którego drugi zacisk jest zaciskiem zasilania inwertera. Zaciskiem masy inwertera jest źródło tranzystora, natomiast bramka tego tranzystora stanowi zacisk wejściowy inwertera. Obwód rezonansowy wzmacniacza włączony między dren tranzystora a masę składa się z równoległego połączenia kondensatora oraz szeregowego obwodu RLC zawierającego obciążenie wzmacniacza. Opisany wzmacniacz klasy E cechuje się wysoką sprawnością energetyczną przekraczającą nawet 95% oraz dużą częstotliwością pracy rzędu wielu megaherców. Istotną wadą powyższego rozwiązania jest duże szczytowe napięcie występujące na tranzystorze, które może osiągnąć wartość aż pięciokrotnie przewyższającą napięcie zasilania wzmacniacza. Utrudnia to lub wręcz uniemożliwia zastosowanie jednotranzystorowego wzmacniacza klasy E w praktycznych układach, które często zasilane są wysokim napięciem jak np. wyprostowanym napięciem sieci tj. około 300 V, wtedy bowiem napięcie szczytowe na tranzystorze we wzmacniaczu może przekroczyć 1000 V, co jest wartością napięcia przekraczającą maksymalne napięcie przebicia wynoszące 1kV współcześnie produkowanych szybkich tranzystorów przełącznikowych MOSFET stosowanych we wzmacniaczach rezonansowych mocy wielkiej częstotliwości. Ponadto tranzystory MOSFET o wysokim napięciu przebicia charakteryzują się dużymi pojemnościami międzyelektrodowymi oraz stosunkowo dużą rezystancją w stanie włączenia, co pogarsza sprawność energetyczną oraz utrudnia uzyskanie dużej częstotliwości pracy we wzmacniaczach rezonansowych mocy wielkiej częstotliwości.

Znane są również układy szeregowego łączenia tranzystorów pozwalające na kluczkowanie napięć wyższych niż napięcie pracy pojedynczego tranzystora. Zaciski dren - źródło tranzysto-

rów są w tych układach zbocznikowane elementami wyrównującymi rozkład napięć, a bramki są sterowane z osobnych uzwojeń wtórnych transformatora wejściowego. Wadą tych układów jest ich złożoność oraz obniżenie sprawności wzmacniacza z takim układem w stosunku do wzmacniacza 1-tranzystorowego. Wynika to, po pierwsze z sumowania się rezystancji włączenia zastosowanych tranzystorów, a po drugie - ze strat mocy w elementach wyrównawczych.

Istota wzmacniacza według wynalazku polega na tym, że zawiera co najmniej dwa inwertery, z których poprzedni inwerter ma zacisk zasilania o wyższej wartości bezwzględnej potencjału połączony z zaciskiem zasilania o niższej wartości bezwzględnej potencjału następnego inwertera. Kondensatory obwodu rezonansowego połączone są, poprzez wspólną cewkę obwodu rezonansowego, z rezystancją obciążenia. Zaciski zasilające inwerterów połączone są poprzez kondensator blokujący.

Wzmacniacz według wynalazku umożliwia  $n$ -krotne ( $n$  - liczba inwerterów) zmniejszenie napięcia szczytowego na tranzystorze we wzmacniaczu klasy E, co pozwala zasilac wzmacniacz wysokim napięciem, w tym także napięciem wyprostowanej sieci, stosując tranzystory MOS-FET o niższych napięciach przebicia i zachowując przy tym wszystkie zalety wzmacniacza klasy E, tzn. wysoką sprawność energetyczną i dużą częstotliwość pracy. Poszczególne inwertery są bowiem dla składowej stałej połączone szeregowo, natomiast dla składowej wielkiej częstotliwości - równolegle, dzięki czemu wpływ rezystancji włączenia tranzystorów jest mniejszy niż w klasycznym 1-tranzystorowym wzmacniaczu klasy E. Zaletą wzmacniacza według wynalazku jest także prosty beztransformatorowy układ sterowania bramek tranzystorów.

Przedmiot wynalazku jest przedstawiony w przykładzie wykonania na rysunku, który przedstawia schemat ideowy wzmacniacza rezonansowego klasy E.

Wzmacniacz według wynalazku zawiera  $n$  identycznych inwerterów  $I_1, \dots, I_i, \dots, I_n$ , z których każdy zawiera tranzystor T diodę D i dławik  $L_f$ . W każdym inwerterze źródło tranzystora T, stanowiące "zimny" zacisk zasilania inwertera o niższej wartości bezwzględnej potencjału  $A_z$ , połączone jest z anodą diody D. Dren tego tranzystora, stanowiący jego zacisk wyjściowy połączony jest z katodą diody D i z jedną końcówką dławika  $L_f$  i stanowi wyjście inwertera  $A_{wy}$ . Druga końcówka dławika  $L_f$  jest "gorącym", o wyższej wartości bezwzględnej potencjału zaciskiem zasilania  $A_G$  inwertera. Bramka tranzystora T jest wejściem inwertera  $A_{we}$ . Do zacisków zasilających  $A_z, A_G$  inwerterów  $T_1, \dots, T_i, \dots, T_n$  dołączone są kondensatory blokujące  $C_{f1}, \dots, C_{fn}$ . Zacisk zasilający "gorący"  $A_G$  poprzedniego inwertera  $J_{i-1}$  jest połączony z zaciskiem zasilającym "zimnym"  $A_z$  następnego inwertera  $J_i$ , przy czym zacisk  $A_z$  inwertera pierwszego  $I_1$  jest uziemiony, a zacisk  $A_G$  inwertera ostatniego  $I_n$  jest połączony ze źródłem napięcia stałego E, którego druga końcówka jest uziemiona. Zacisk  $A_{wy}$  każdego inwertera  $I_i$  jest połączony z kondensatorami  $C_{si}, C_{ri}$ , przy czym druga okładka kondensatora równoległego  $C_{ri}$  połączona jest z zaciskiem  $A_z$  tego inwertera, a druga okładka kondensatora  $C_{si}$  - z wspólną cewką L obwodu rezonansowego. Druga końcówka tej cewki połączona jest z rezystancją obciążenia wzmacniacza  $R_L$ , którego druga końcówka jest uziemiona. Zacisk  $A_{we}$  danego inwertera jest połączony z kondensatorem sprzęgającym  $C_{ci}$ . Druga okładka każdego z kondensatorów sprzęgających  $C_{ci}$  jest połączona z wejściem wzmacniacza WE.

Prostokątne napięcie wejściowe wielkiej częstotliwości podawane na wejście WE wzmacniacza jest doprowadzone poprzez kondensatory sprzęgające  $C_{c1}, \dots, C_{cn}$  do wejść  $A_{we}$  inwerterów  $I_1, \dots, I_i, \dots, I_n$  i steruje bramki tranzystorów T w inwerterach. Gdy napięcie wejściowe jest dodatnie, tranzystor T w każdym inwerterze  $I_i$  ( $i = 1, \dots, n$ ) jest włączony, zawiera kondensator równoległy  $C_{ri}$ , prowadzi stały prąd zasilania płynący przez dławik  $L_f$  oraz przewodzi prąd zmienny obwodu rezonansowego  $R_L, L, C_{si}$  płynący przez kondensator  $C_{si}$ . Gdy napięcie wejściowe jest ujemne, tranzystor T w każdym inwerterze  $I_i$  jest włączony, zaś stały prąd dławika  $L_f$  ładuje kondensator równoległy  $C_{ri}$ , przez który przepływa równocześnie prąd zmienny obwodu rezonansowego  $R_L, L, C_{ri}$  przewodzony przez kondensator  $C_{si}$ . Dioda D włącza się w chwili, gdy napięcie na kondensatorze równoległym  $C_{ri}$  zmieni polaryzację tak, że potencjał anody diody D jest wyższy od potencjału jej katody. Prądy wyjściowe wielkiej częstotliwości inwerterów płynące z zacisków  $A_{wy}$  inwerterów sumują się we wspólnym punkcie obwodu rezonansowego i poprzez

cewkę  $L$  doprowadzone są do obciążenia  $R_L$ . Stały prąd ze źródła napięcia  $E$  zasilający inwertery płynie kolejno przez połączone szeregowo zaciski zasilania  $A_G A_Z$  wszystkich inwerterów. Kondensatory blokujące  $C_{f1}, \dots, C_{fn}$  zwierają zaciski zasilania  $A_G A_Z$  inwerterów dla sygnałów wielkiej częstotliwości.

