



УКРАЇНА

(19) UA (11) 20289 (13) U
(51) МПК (2006)
H03F 3/20

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ПІДСИЛЮВАЧ КЛАСУ Е

1

2

(21) u200608234

(22) 21.07.2006

(24) 15.01.2007

(46) 15.01.2007, Бюл. № 1, 2007 р.

(72) Крижановський Володимир Григорович, Принцовський Володимир Анатольович, Чернов Дмитро Вікторович

(73) ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(57) Підсилювач класу Е який містить активний елемент, що працює в ключовому режимі (ключ), який керується вхідним сигналом, один вивід ключа включений до загального проводу, до другого виводу одним кінцем приєднані дросель, інший кінець дроселя підключений до джерела живлення, перша (що шунтує) ємність іншим виводом

приєднана до загального проводу, і вихідний ланцюг, у склад якого включені послідовно друга ємність і перша індуктивність, до другого виводу якої включений коливальний контур, що містить опір навантаження, який **відрізняється** тим, що коливальний контур виконаний у вигляді послідовного коливального контуру, паралельно якому включена третя ємність, другий кінець якої підключений до загального проводу, послідовний контур складається з послідовно включеної другої індуктивності і четвертої ємності, до другого виводу четвертої ємності підключений опір навантаження, другим виводом підключений до загального проводу.

Корисна модель відноситься до галузі радіотехніки, конкретно до високочастотних і надвисокочастотних підсилювачів потужності, що працюють в ключовому режимі при виконанні певних умов, які зв'язують параметри управління активним елементом, імпеданс вихідного ланцюга, що узгоджує, на частотах основної і вищих гармонік і активний опір навантаження - підсилювачам класу Е [1-3].

Підсилювачі класу Е є добре вивченими підсилювачами потужності, до переваг яких відносять високий коефіцієнт корисної дії (ККД), простоту конструкції і точний опис роботи, що дозволяє конструювати підсилювачі на основі точного алгоритму. Високий ККД підсилювача класу Е обумовлений виконанням режиму переключення при нульовій напрузі (ПНН), що істотно знижує комутаційні втрати [1, 2]. Одним із недоліків підсилювачів потужності класу Е є резонансний характер залежності їхньої вихідної потужності і ККД від частоти, що є наслідком виконання умов роботи з високим ККД на одній частоті, а також тим, що максимуми вихідної потужності і ККД відрізняються по частоті. Це призводить до звуження робочої смуги частот підсилювача класу Е, що визначена як діапазон частот, у якому ККД не опускається нижче певного рівня.

Відомим є пристрій для розширення смуги ча-

стот підсилювача класу Е [3], у якому використовується добір елементів вихідного ланцюга з урахуванням частотної залежності вихідної ємності транзистора. Недоліками цього рішення є орієнтованість на конкретні вольт-кулонівські характеристики транзистора і зниження ККД, внаслідок того, що номінальні умови класу Е не досягаються в смузі частот. Технічне рішення з вихідним ланцюгом, який підстроюється [4], відрізняється складністю реалізації і не дозволяє одержати розширену миттєву смугу частот.

Розроблялися конструкції підсилювачів, у яких намагалися розширити робочу смугу частот шляхом компенсації зміни реактивності вихідного ланцюга у діапазоні частот (частково це можна спостерігати в [5, 6]).

Найбільш близьким технічним рішенням є пристрій, у якому з метою розширення робочої смуги частот використовується компенсація реактивності шляхом включення додаткової реактивності, що компенсує, і додаткового коливального контуру у вихідний ланцюг, що узгоджує [7]. Водночас вихідний ланцюг виконує функції трансформатора опорів, який перетворює активний опір навантаження в навантажувальний опір транзистора. Підсилювач [7] містить ключ, до якого паралельно приєднані перша ємність, що шунтує, та перша індуктивність, що компенсує (ця індуктив-

(13) U

(11) 20289

(19) UA

ність може слугувати дроселем живлення), до одного виводу ключа приєднані послідовно друга індуктивність та друга ємність, до другого кінця якої паралельно підключені третя індуктивність, третя ємність та навантаження підсилювача, ці елементи іншими виводами приєднані до спільного проводу, до якого приєднано також другий вивід ключа.

Перевагою цього рішення є широка смуга частот, у якому спостерігається високий ККД.

Недоліками є резонансні залежності вихідної потужності і ККД від частоти і розбіжність максимальної вихідної потужності і максимального ККД підсилювача по частоті, а також збільшена кількість котушок індуктивності, що ускладнює конструкцію і підвищує витрати енергії (фактично у вихідному ланцюзі підсилювача виконуються три коливальних контури, а витрати у першій індуктивності у складі коливального контуру вищі, ніж у дроселі живлення).

В основу корисної моделі поставлена задача створення пристрою з розширеною смугою частот, у якій досягається максимальний ККД підсилювача.

Поставлена задача вирішується тим, що підсилювач класу Е виконується з вихідним ланцюгом, що узгоджує, який містить два пов'язані коливальних контури (перший - індуктивність 5 і ємність 6, другий - індуктивність 8 і ємність 9, Фіг.1), у результаті чого досягається виконання умов ПНН два рази в смузі частот, а також забезпечується трансформація опору навантаження в потрібний навантажувальний опір підсилювача. В наслідок чого одержуємо максимальний ККД на двох або більше частотах робочого діапазону. При цьому частотна залежність вхідного опору вихідного ланцюга, що узгоджує, у діапазоні частот (графік імпедансу) набуває виду петлі, яка два або більше разів перетинає лінію необхідного ідеального вхідного опору.

На Фіг.1 показана схема пристрою, що заявляється.

Пристрій містить ключ (активний прилад, транзистор) 1, керований вхідним сигналом, до одного виводу ключа (стокові або колектору транзистора) підключені перша ємність, що шунтує, 2, дросель живлення 3, другим кінцем підключений до блока живлення 4 і перша індуктивність вихідного ланцюга 5, другим кінцем приєднана до другої ємності 6, до другого кінця якої приєднані третя ємність 7, іншим кінцем приєднана з загальним проводом, і друга індуктивність 8, інший вивід якої приєднано до четвертої ємності 9, до другого виводу якої підключено опір навантаження 10, другим виводом підключений до загального проводу, другий вивід ключа також підключений до загального проводу.

На Фіг.2 показано варіант еквівалентної схеми пристрою, де до складу ємності, що шунтує, 2 входить вихідна ємність транзистора 11, у такому випадку в складі вихідного ланцюга треба враховувати й індуктивність виводів транзистора 12, це не змінює роботу підсилювача.

Вихідний ланцюг, що узгоджує, настроєний таким чином, що умови класу Е виконуються не менше чим на двох частотах робочого діапазону частот.

Пристрій працює таким чином: у робочому режимі при подачі на ключ (транзистор) 1 сигналу з циклічною частотою ω він працює в ключовому режимі [1] і протягом частини періоду створює коло для проходження постійного току від джерела живлення і перемінного току, що протікає у вихідному ланцюзі, і на іншому інтервалі розмикаючи коло, у результаті чого перемінний тік вихідного ланцюга протікає через ємність, що шунтує, 2. Форма напруги на розімкнутому ключі в загальному випадку має вид, показаний на Фіг.3а. При дотриманні умов ПНН, що реалізуються в номінальному режимі класу Е при виконанні строгих співвідношень між елементами схеми, форми напруги на ключі мають вигляд, показаний на Фіг.3б. За таких форм напруги на ключі ККД досягає свого максимального значення, обумовленого втратами у відкритому ключі й у вихідному ланцюзі, що узгоджує. У пристрої, що заявляється, умови ПНН виконуються два і більше разів у діапазоні частот, внаслідок чого і відбувається розширення діапазону частот, у якому досягається максимальний ККД. Пристрій, що заявляється, має еквівалентну схему, подібну пристрою [8], але відрізняється від нього конструкцією і принципом функціонування.

Максимальний ККД підсилювача класу Е реалізується при виконанні такої умови для вхідного опору вихідного ланцюга, що узгоджує [1, 2]

$$X = qR = \frac{\pi(\pi^2 - 4)}{16} \frac{8}{\pi(\pi^2 + 4)\omega C_1} = \frac{(\pi^2 - 4)}{2(\pi^2 + 4)\omega C_1},$$

де X - реактивна частина навантажувального повного опору (імпедансу), R - активна частина навантажувального імпедансу, $q=X/R$ - добротність, $\omega = 2\pi f$ - кругова частота (f - частота), C_1 - ємність, що шунтує, підсилювача класу Е (на Фіг.1 - ємність 2).

На Фіг.4. це співвідношення показане штриховою лінією. На Фіг.4а показаний випадок класичного підсилювача класу Е, по патенту [2]. Суцільною лінією показана залежність вхідного імпедансу вихідного ланцюга в залежності від частоти, хід залежності при збільшенні частоти показаний стрілкою. Частота ω_0 відповідає максимуму ККД. На Фіг.4б показана залежність вхідного імпедансу при зміні частоти в даному винаході. Очевидно, що у випадку, зображеному на Фіг.4б, у конструкції, що заявляється, двічі виконуються умови попередньої формули.

Також при зміні частоти змінюється і реактивний опір ємності, що шунтує, 2. Величина цієї ємності на робочій частоті визначається з формули

$$C_1 = \frac{1}{5,4466\omega R}.$$

Звідси витікає, що при постійній ємності 2 (C_1) повинна виконуватися умова

$$\omega R = \text{const, або } \omega_1 K_1 = \omega_2 R_2,$$

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{\omega_1}{\omega_2}.$$

Де індекси 1 і 2 відносять до двох точок перетинання на Фіг. 3б. Тобто при збільшенні частоти

активний опір вихідного ланцюга повинен зменшуватися. Це виконується у пристрої, що заявляється.

Експериментально було реалізовано варіант пристрою з центральною частотою 1 МГц на транзисторі IRF530, розрахунок параметрів ланцюга, що узгодить, проводився для досягнення максимального ККД на частотах 0,95 і 1,05 МГц.

Отримано ККД 80% у смузі частот 0,875-1,05 МГц (тобто в смузі 18%) при вихідній потужності в діапазоні 2-4 Вт. На Фіг.5 показано залежності вихідної потужності і ККД при розрахунку з урахуванням втрат у відкритому ключі й в елементах схеми та в експерименті. Втрати при постійній вихідній потужності залежать від напруги живлення і знижуються з її збільшенням. На Фіг.6 показано форми напруги на стоку транзистора на частотах 0,95 МГц (а), 1 МГц (b) і 1,05 МГц (с), що підтверджують реалізацію оптимального режиму підсилення класу Е на двох частотах робочого діапазону.

Таким чином, даний пристрій може бути використаний для підсилення потужності з високим ККД у смузі частот, більшій, ніж в існуючих підсилювачах, при цьому з ростом частоти не спостерігається спаду потужності.

Джерела інформації, які використані при складанні заявки.

1. Крижановский В.Г. Транзисторные усилите-

ли с высоким КПД. Донецк: Анекс, 2004. - 448с.

2. Sokal N.O., Sokal A.D. High-efficiency tuned switching power amplifier. Pat. USA 3919656, H 03 F 1/14, Nov. 11, 1975.

3. Rao Gudimetia V. S., Kain A. Z. Design and Validation of the Load Networks for Broadband Class E Amplifiers Using Nonlinear Device Model / 1999 MTT- S International Microwave Symposium Digest, 1999, pp. 823-826, Vol. 2.

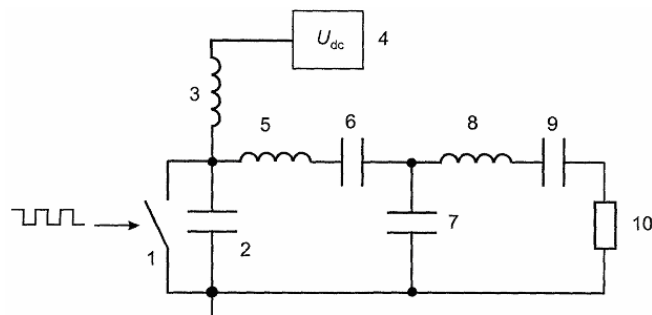
4. Raab F. H. Electronically tunable class- E power amplifier / 2001 MTT- S International Microwave Symposium Digest, 2001. - Vol. 3. - P. 1513- 1516.

5. Ziegler J. Power amplifier. Pat USA 7 046 088, H 03 F 3/217, Заявл. 13.09.2004, Опубл. 16.05.2006.

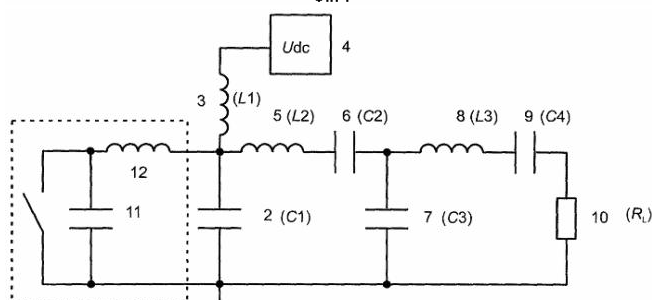
6. Bowers J. H., Dutcher F. Drive circuits for reactive loads. US Patent 5 926 093, G08B 13/14, Заявл. 15.08.1997, Опубл. 20.07.20, 1999.

7. Grebennikov A. Simple design equations for broadband class E power amplifiers with reactance compensation. / 2001 MTT- S International Microwave Symposium Digest, 2001. -Vol. 3. -P. 2143- 2146. (прототип).

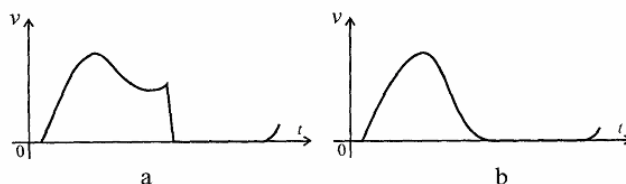
8. Крижановський В.Г., Чернов Д.В., Принцовський В.А., Омельченко О.О. Пристрій для вимірювання параметрів п'єзоелектричних перетворювачів. МПК: G 01 R 29/22 - Заява на отримання патенту України на корисну модель №200512564.



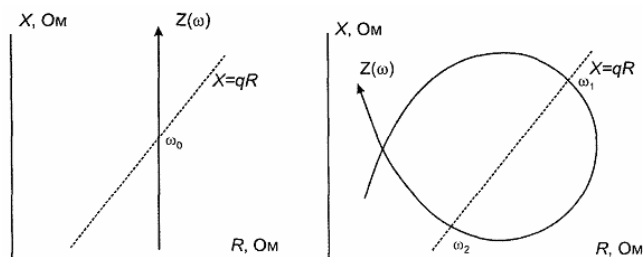
Фіг. 1



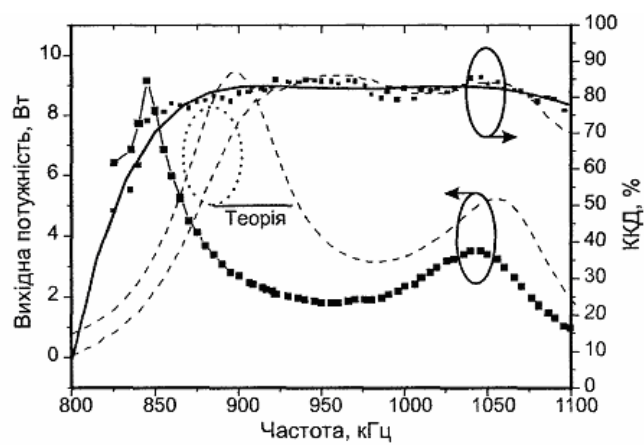
Фіг. 2



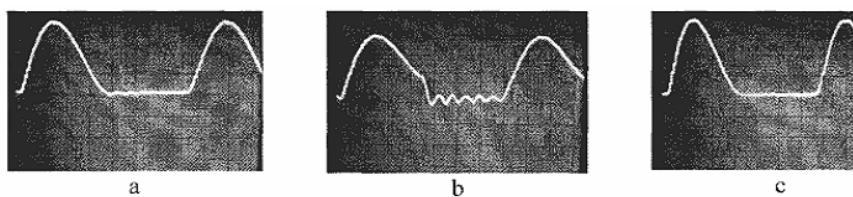
Фіг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6