

Корисна модель відноситься до галузі радіотехніки, конкретно до надвисокочастотних (НВЧ) підсилювачів потужності класу Е, які застосовуються у якості високоефективних радіотехнічних пристроїв у радіопередавачах, системах передачі енергії і пристроях технологічного призначення.

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 коефіцієнта корисної дії (ККД) від частоти, що є наслідком виконання умов роботи з високим ККД на одній частоті, а також тим, що максимумами 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 частот 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. Широкопasmовий підсилювач [4] має конструкцію, перетворення якої для роботи в НВЧ діапазоні, не є очевидним, і в якій умови класу Е виконуються тільки на одній частоті.

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]). Також відомі пристрої, в яких використовуються складні схеми ланцюгів, що узгоджують, в цих пристроях забезпечується виконання умов підсилення на різних класах (у тому числі класу Е) на декількох частотах [7, 8]. В пристроях [7] декларується можливість їх реалізації на лініях з розподіленими сталими, але не враховується те, що між коливальним контуром та НВЧ резонатором є принципова відмінність - резонаторам властива велика кількість резонансних частот, тоді як у контуру вона одна. На НВЧ це приводить до неможливості однозначно перетворити топологію на лініях передачі у схему з зосередженими елементами. Також в [7] не вирішена задача фільтрування гармонік сигналу при реалізації пристрою на лініях передачі, а це є необхідною умовою реалізації НВЧ підсилювача класу Е [1, 9-12].

Тому топологія НВЧ підсилювача класу Е на лініях передачі повинна розроблятися з урахуванням умов отримання потрібного імпедансу вихідного ланцюгу на частотах першої та вищих гармонік. При роботі у смузі частот виникає задача отримання цих умов на усіх частотах робочої смуги.

Найбільш близьким технічним рішенням є пристрій, у якому з ціллю побудови НВЧ підсилювача класу Е на передаючих лініях використовується схема з послідовним включенням відрізків ліній та шлейфів, які забезпечують потрібний імпеданс вихідного ланцюгу, що узгоджує, на частоті першої гармоніки, та високий імпеданс на частотах другої та третьої гармонік [10 (прототип), 11].

Недоліками є резонансні залежності вихідної потужності і ККД від частоти і розбіжність максимальної вихідної потужності і максимального ККД підсилювача по частоті.

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

Поставлена задача вирішується тим, що НВЧ підсилювач класу Е містить ключ (активний прилад, транзистор), керований вхідним сигналом, до одного виводу ключа (стокові або колектору транзистора) підключені перша ємність, що шунтує, і вихідний ланцюг, що узгоджує, виконаний на лініях передачі (лініях з розподіленими сталими) для забезпечення потрібного імпедансу на частотах основного сигналу та другої і третьої гармонік, до якого підключені дросель живлення та навантаження, де вихідний ланцюг містить перший відрізок лінії передачі, до якого підключені перший та другий шлейфи, настроєні на одну з згаданих гармонік двох частот з смуги підсилення, та другий відрізок лінії, до нього приєднані третій та четвертий шлейфи, настроєні на іншу згадану гармоніку, та третій відрізок лінії, до другого кінця котрої підключені п'ятий шлейф, друга ємність, що розділяє, з приєднанням до неї навантаженням.

При цьому частотна залежність вхідного імпедансу вихідного ланцюгу у робочій смузі частот (годограф імпедансу) становить вигляд зашморгу, який два або більше разів перетинає лінію потрібного ідеального вхідного імпедансу або дотикає цю лінію.

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 і вихідний ланцюг, що узгоджує, виконаний на лініях передачі (лініях з розподіленими сталими), який містить перший відрізок лінії 3, до якого підключені шлейфи 4 і 5 та другий відрізок лінії 6, до нього приєднані шлейфи 7 і 9 та третій відрізок лінії 9, до другого кінця лінії 9 підключені шлейф 10, ємність, що розділяє, 11,3 приєднанням навантаженням 12 і дросель живлення 13, приєднаний до джерела живлення 14.

До складу ключу 1 при моделюванні реального транзистору можуть входити вихідна ємність 15 і індуктивність виводів 16 (Фіг.2), при цьому ємність 15 може виконувати роль ємності 2.

Пристрій працює таким чином: при подачі на ключ (транзистор) 1 сигналу з циклічною частотою ω , ключ одну частину періоду замикає коло для проходження постійного струму від джерела живлення і перемінного струму, що протікає у вихідному ланцюзі, і на іншому інтервалі розмикає коло, у результаті чого перемінний струм 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 підсилювача 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.

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).

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

$$\omega R = \text{const, або } \omega_1 R_1 = \omega_2 R_2, \frac{R_2}{R_1} = \frac{\omega_1}{\omega_2}.$$

Де індекси 1 і 2 відносять до двох точок перетинання на Фіг.4. Тобто при збільшенні частоти активний опір вихідного ланцюга повинен зменшуватися. Це виконується у пристрої, що заявляється.

Для створення потрібного імпедансу (Фіг.4) пари шлейфів 4 і 5 та 7 і 8 настроюють на гармоніки частот f_1 і f_2 , на яких виконуються умови класу Е поблизу нижнього та верхнього країв робочої смуги частот, причому електрична довжина шлейфів вибирається рівною $90^\circ/n$ на частотах f_1 і f_2 , n - номер гармоніки (2 або 3). Для побудови підсилювачів з різними значеннями навантажувального опору R потрібно обирати хвильовий опір лінії передачі по співвідношенню

$$Z_c \approx 3,3 \frac{R(f_1) + R(f_2)}{2}.$$

Такий вибір параметрів ланцюгу, що узгоджує, дає практично однозначний вибір розмірів відрізків ліній та шлейфів.

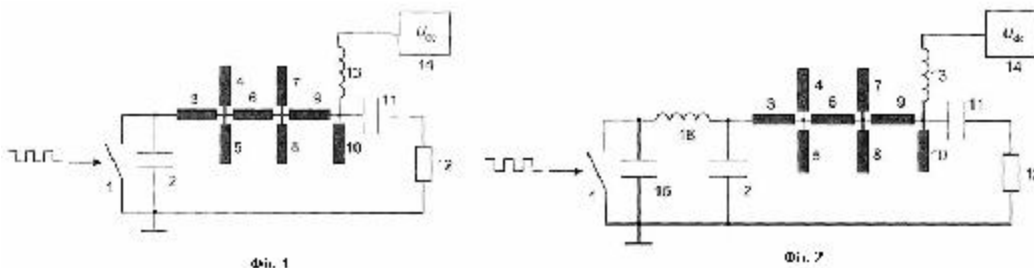
Експериментально було реалізовано варіант пристрою на польовому транзисторі CLY5 з центральною частотою 800МГц, розрахунок параметрів ланцюга, що узгодить, проводився для досягнення максимального ККД у смузі 700-900МГц (Фіг.5). Перша пара шлейфів настроєна на другі гармоніки двох частот діапазону, а друга пара - на треті гармоніки цих же частот, при цьому імпеданс на частотах усіх гармонік має індуктивний характер, що потрібно для точної реалізації класу Е.

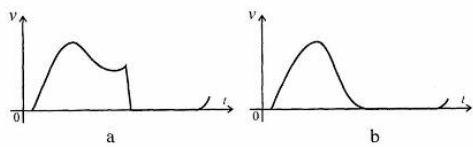
Отримана відносно постійна вихідна потужність 0,5Вт у смузі 700-900МГц і ККД більш 65% у смузі 750-900МГц (Фіг.6).

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

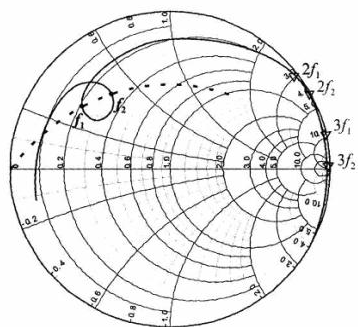
Джерела інформації, які використані при складанні заявки:

1. Крыжановский В.Г. Транзисторные усилители с высоким КПД. Донецк: Анекс, 2004.-448с.
2. Sokal N.O., Sokal A.D. High-efficiency tuned switching power amplifier. Pat. USA 3919656, Н 03 F 1/14, Nov. 11, 1975.
3. Rao Gudimetla 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. Broadband class-E power amplifier for HF and VHF / IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Digest, pp. 902 - 905, San Francisco, CA, June 11-16, 2006.
5. Grebennikov A. Simple design equations for broadband class E power amplifiers with reactance compensation./MTT-S Int. Microwave Symp. Dig., 2001.-V.3.-P.2143-2146.
6. Ziegler J. Power amplifier. Pat USA 7 046 088, Н 03 F 3/217, Заявл. 13.09.2004, Опубл. 16.05.2006.
7. Bohn F., Hajimiri S.-A. Switchless multi-resonant, multi-band power amplifier. Pat. USA 7 092 691. Н 04В 1/18. Заявл. 5.12.2002, опубл. 15.08.2006.
8. Крижановський В.Г., Принцовський В.А., Чернов Д.В. Підсилювач класу Е. Заява на отримання деклараційного патенту України на корисну модель № 200608234 від 21.07.06р.
9. Mitzlaff J. E. Пат.: 4717884, U.S.A. Motorola, Inc. МКИ Н 03 F 3/217, НКИ 330/251, №852045. ВЧ-усилитель мощности. (High efficiency RF power amplifier.) Заявл.: 14.04.86. Опубл.: 05.01.88.
10. Крыжановский В.Г., Принцовский В.А. СВЧ усилитель класса Е в микрополосковом исполнении//Изв. ВУЗов "Радиоэлектроника", 2005, Т.48.-№1.- С.3-10 (прототип)
11. Ortega-Gonzalez F.J., Jimenez-Martin J.L., Asensio-Lopez A., Torregrosa- Penalva G. High-efficiency load pull harmonic controlled class-E power amplifier. - IEEE Microwave and Guided Wave Letters. -1998. - V.8, No.10. - P.348-350.
12. Wilkmsom A.J. Everard J.K.A. Transmission-line load-network topology for class-E power amplifiers //Trans., on Mikrowave Theory and Techniques.-V.49, No.6 - P.1202-1210. (Jun.2001)

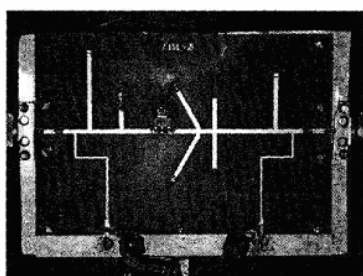




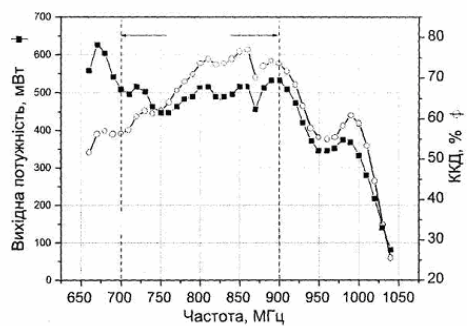
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6