

МИКРОВОЛНОВЫЙ УСИЛИТЕЛЬ КЛАССА «В»

Аржанов С.Н.*; e-mail: serg@micran.ru, Жильцов Д.Д.*, Силютин А.И.**

* Томская научно-производственная фирма «Микран»

** НИИ электрической связи, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

Получена 20 января 2003 г.

Методами численного моделирования и экспериментального исследования обоснована возможность создания для бортовых РЛС двухтактного усилителя мощности (УМ) работающего в сантиметровом диапазоне волн в режиме класса «В». На частоте 11.25 ГГц экспериментально получены следующие характеристики: выходная мощность при сжатии коэффициента усиления на 1dB составила 21 dBm, при коэффициенте усиления мощности 9.5 dB и коэффициенте полезного действия 40 %.

К.С.: Двухтактный усилитель, режим «В», микрополосковый трансформатор, сантиметровый диапазон волн, арсенид галлиевый ПТШ.

Применение двухтактного УМ класса «В» в бортовых РЛС позволит упростить и удешевить приемно-передающий модуль (ППМ) за счет исключения схемы (блока) управления источником питания при усилении СВЧ радиоимпульсов переменной скважности. При этом сохраняется возможность достижения необходимого уровня мощности при достаточно высоком КПД.

Схемотехническое моделирование двухтактного усилителя было проведено в системе "Design Center" (Pspice) [1]. Исследования подтвердили работоспособность двухтактной схемы с применением трансформаторов на микрополосковых связанных линиях (МПЛ) в заданном диапазоне волн (рисунок 1) и преимущества усилителя по энергетическим показателям.

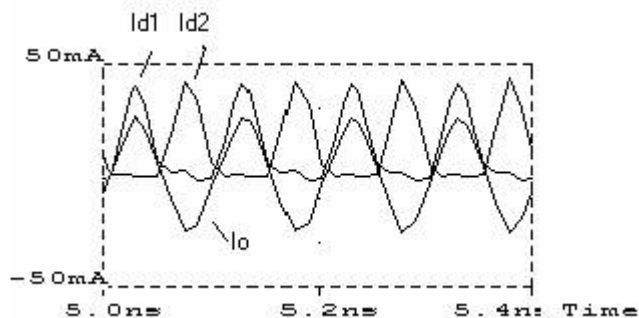


Рисунок 1- Зависимость тока первого транзистора I_{d1} , второго I_{d2} и суммарного тока усилителя I_o от времени

Макет усилителя, реализующий двухтактную схему включения транзисторов (рисунок 2), выполнен по тонкопленочной технологии гибридных интегральных схем на двух поликорковых подложках размером по 8*18 мм. В качестве усилительных элементов использованы ПТШ на GaAs с барьером Шоттки. Чипы транзисторов установлены на металлических кристалл держателях. Основные параметры транзистора: размеры затвора 0.3*250 микрон, максимальный ток насыщения $I_{dss}=40...100$ mA; напряжение питания $V_{ds} \leq 8$ V; напряжение запираения $V_p=-1...-2.5$ V; достижимая мощность при сжатии коэффициента усиления на 1dB составляет $P_{1dB}=22$ dBm. Сдвиг по фазе на 180 градусов на входах ПТШ и суммирование на выходе осуществляется с помощью микрополосковых трансформаторов [2], выполненных на четвертьволновых отрезках связанных МПЛ $W_{1a,b}...W_3$ и $W_{18}...W_{20a,b}$ с волновым сопротивлением 140 Ом и сопротивлением связи 80 Ом. Транзисторы включены по схеме с общим истоком. Напряжения питания и смещения подаются через фильтры нижних частот, выполненные на четвертьволновых отрезках МПЛ: $W_{10}...W_{12}$, $W_{13}...W_{15}$, W_6 , W_8 , W_4 и W_9 . Параметры отрезков МПЛ W_5, W_7, W_{16}, W_{17} выбирались из условий оптимальности нагрузки по четным

гармоникам.

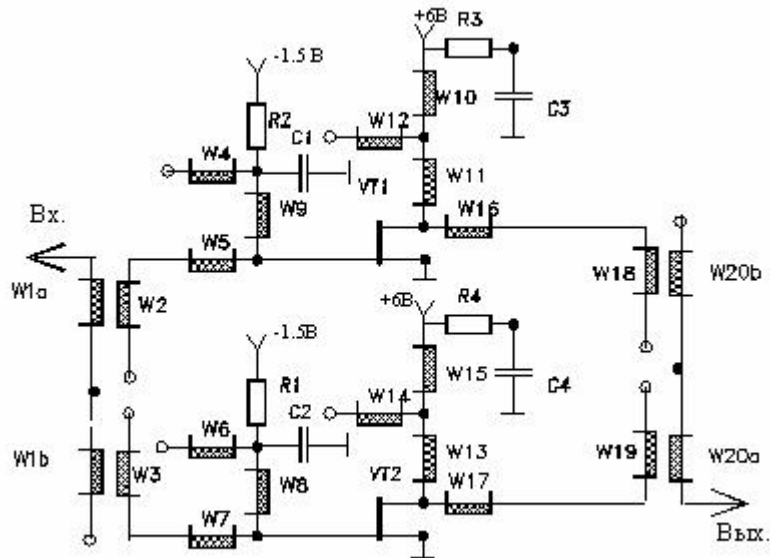


Рисунок 2- Принципиальная электрическая схема двухтактного УМ сантиметрового диапазона

Исследования проводились на частоте 11.25 ГГц при двух режимах работы УМ по постоянному току. Для выбранного транзистора максимум выходной мощности достигается при напряжении питания $V_{ds}=8$ V, а максимум КПД при $-V_{ds}=6$ V. Смещение на затворах ПТШ в обоих случаях было $V_{gs}=-1.5$ V, при этом начальный ток у обоих транзисторов в отсутствии сигнала был равен нулю. При входной мощности $P_{in}=-7$ dBm общий ток усилителя составлял по 6 mA. Подстройка усилителя на максимум параметра производилась путем изменения входных и выходных импедансов ПТШ с помощью кусочков индия.

Анализ результатов эксперимента показал, что режим, обеспечивающий максимум КПД, является для работы усилителя предпочтительным (рисунок 3). При незначительной потере в коэффициенте усиления и уровне выходной мощности, получен существенный выигрыш в КПД. При этом, как видно из рисунка 3, наблюдается практическое постоянство коэффициента усиления по мощности в широком диапазоне входного воздействия.

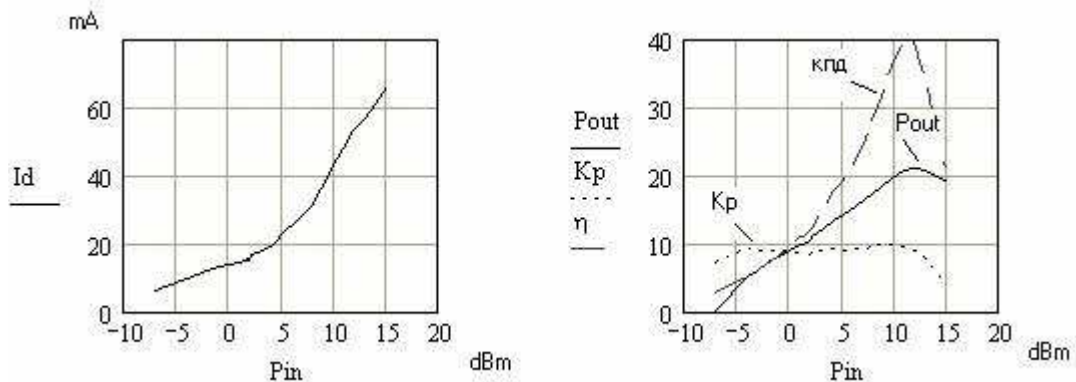


Рисунок 3-Экспериментальные зависимости тока стока – I_d (mA), выходной мощности – P_{out} (dBm), коэффициента усиления мощности – K_p (dB) и КПД - η (%) от входной мощности – P_{in} (dBm)

Объясняется это тем, что для транзисторов подобного типа, при малом значении тока стока I_d выходное сопротивление транзистора $R_{ds}=\Delta V_d/\Delta I_d$ велико, а крутизна проходной характеристики $S_o=\Delta I_d/\Delta V_g$ мала. С ростом тока стока выходное сопротивление уменьшается, а крутизна проходной характеристики увеличивается. Это видно по ВАХ транзистора, которые были рассчитаны в системе Mathcad по модели Куртиса (рисунок 4):

$$I_d(V_g, V_d)=\beta \cdot (1+\lambda \cdot V_d) \cdot (V_g-V_p)^2 \cdot \tanh(\alpha \cdot V_d), \text{ где } (1)$$

$\alpha=3$, $\beta=0.094$, $\lambda=0.036$ – коэффициенты выбранного транзистора.

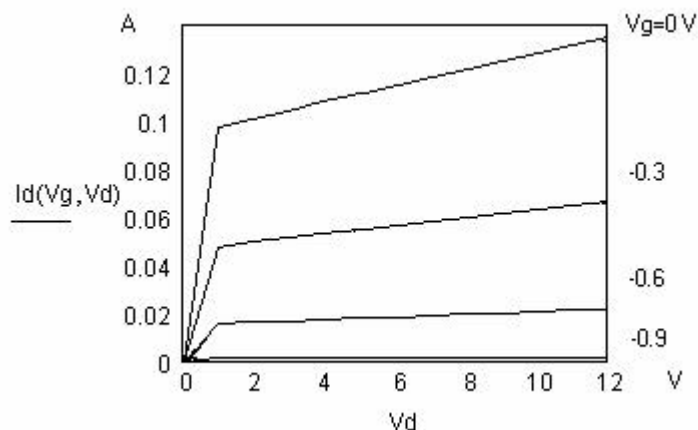


Рисунок 4 –Выходные вольтамперные характеристики транзистора

Для простоты иллюстрации этого эффекта приведем упрощенное выражение коэффициента усиления вида (2):

$$K_p = -Y_{21} / (Y_{22} + Y_{l0}) \approx -S_0 / \left(\frac{1}{R_{ds}} + \frac{1}{R_{l0}} \right). \quad (2)$$

Здесь Y_{ij} – обобщенные Y- параметры эквивалентной схемы транзистора;

$Y_{l0} \cong 1/R_{l0}$ - адмитанс нагрузки.

Как показали последующие исследования, постоянство усиления обуславливает неизменность амплитудно-фазовой характеристики усилителя, что является одним из требований предъявляемых к усилителям, работающим в составе РЛС.

Не идентичность плеч УМ за счет разброса параметров ПТШ и пассивных элементов, а также отклонения от симметрии монтажа не позволили достичь теоретических преимуществ двухтактной схемы. Однако эти недостатки значительно устраняются при исполнении УМ по монолитной интегральной схеме, а само схемное решение может быть рекомендовано для реализации в виде микросхемы.

Литература.

1. Разевиг В.Д. Система схемотехнического моделирования и проектирования печатных плат Design Center (Pspice). М.: СК Пресс, 1996.-272с., ил.
2. Аржанов С. Н., Баров А.А. и др. Гибридные интегральные функциональные элементы и устройства СВЧ. Электронная промышленность, N1-2, 1988, с. 137-144.