

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРАВЛЕННОГО БАЛАНСНОГО ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО УСИЛИТЕЛЯ НА ВОЛНЕ 21 см

К. С. МОСОЯН, И. А. СТРУКОВ, В. С. ЭТКИН

Экспериментально исследован макет направленного балансного параметрического усилителя НБПУ с одной нижней боковой частотой плосковой конструкции. Диоды в линию передачи включены последовательно на расстоянии $\lambda c/4$ на сигнальной частоте и $3\lambda/2$ на холостой частоте.

Обсуждается вопрос оптимальной конструкции НБПУ для получения широкой полосы пропускания.

§ 1. Введение

Известно, что направленные параметрические усилители обладают однонаправленным усилительным свойством и положительным входным и выходным сопротивлениями, что обеспечивает их работу без входных и выходных развязывающих устройств. Это дает большое преимущество при их применении по сравнению с параметрическими усилителями с циркулятором.

В настоящее время появилось много теоретических и экспериментальных работ по однонаправленным параметрическим усилителям, из которых можно отметить работы [1, 2, 3, 4, 5]. В работах [1, 2], в основном, анализируются направленные свойства усилителей с одной нижней боковой частотой. Выведены формулы для характеристик направленного ПУ при параллельном включении диодов в линии [2] и при последовательном включении диодов [1]. Анализ полученных формул показывает, что как параллельная, так и последовательная схемы направленных ПУ дают возможность получить низкие эквивалентные входные шумовые температуры, что характерно для регенеративных параметрических усилителей. В работе [4] теоретически анализируется направленный усилитель на двух диодах с нижней и верхней боковыми частотами. Здесь показано, что присутствие верхней боковой частоты не влияет на шумовые характеристики НПУ и увеличивает его обратные потери.

Из экспериментальных работ с одной нижней боковой частотой можно отметить работу [3]. Большое отклонение экспериментальных данных от теоретически возможных в работе [3] объясняется неоптимальной схемой, примененной при эксперименте. Пространственно близкое включение диодов не дает возможности обеспечить точно требуемую разность фаз на них. Тем самым ухудшается коэффициент на-

правленности ПУ, что приводит к резкому увеличению эквивалентных входных шумов.

В работе [5] экспериментально исследован макет НПУ на двух диодах с нижней и верхней боковыми частотами. Здесь четвертьволновая линия, которая соединяет два диода, является общей для верхней и нижней боковых частот, что не дает возможности обеспечить широкую полосу пропускания (получено $\Delta f/f_0 \sim 30\%$). В вышеуказанных работах не рассматриваются вопросы, связанные с обеспечением широкой полосы пропускания.

В нашей работе экспериментально исследована балансная схема направленного ПУ, предложенная авторами, которая имеет ряд преимуществ по сравнению с другими схемами с точки зрения получения широкой полосы пропускания [1, 3, 5].

§ 2. Балансная схема направленного параметрического усилителя

Для экспериментальных исследований нами выбрана балансная схема направленного ПУ (см. рис. 1).

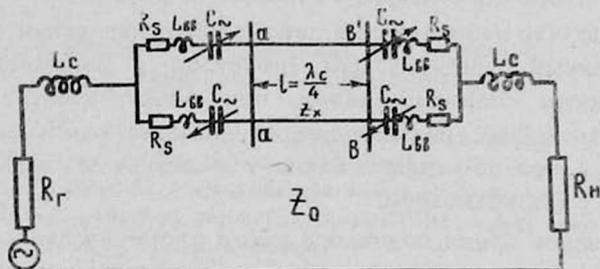


Рис. 1.

Сигнал распространяется от входного генератора с внутренним сопротивлением R_r по линии с характеристическим сопротивлением Z_0 к нагрузке R_n . Одновременно происходит преобразование сигнальной частоты вверх по частоте на первой паре диодов. После преобразования волна разностной частоты проходит по линии с характеристическим сопротивлением Z_x . Затем на второй паре диодов после преобразования снова получается волна сигнальной частоты и складывается с основной волной. При обеспечении соответствующей разности фаз накачки диодов, длины l и $Z_0 = R_r = R_n$ [1] можно добиться направленного усиления.

На схеме: L_c — индуктивность настройки сигнального контура,
 R_b — сопротивление базы диода,
 L_{bb} — индуктивность ввода патрона,
 C_n — емкость р-п-перехода.

Волна на разностной частоте распространяется между двумя параллельными линиями и имеет нечетную моду, следовательно, она не может возбуждать линию, подводящую сигнал.

Таким образом, разностный контур развязан от сигнального контура, что исключает влияние развязывающих устройств на сужение

полосы пропускания усиления. Характеристическое сопротивление Z_x линии на разностной частоте можно выбрать независимо от характеристического сопротивления сигнальной линии Z_0 . Это дает возможность выбирать характеристическое сопротивление линии на холостой частоте достаточно малым, так, чтобы не судалась полоса пропускания усилителя, что не было возможно в двухдиодном (небалансном) варианте, где $Z_0 \approx Z_x$.

Сужение полосы пропускания с увеличением Z_x следует из того, что линия между диодами на холостой частоте может быть заменена эквивалентным резонатором с крутизной

$$\frac{\partial x_p}{\partial \omega} \Big|_{\omega=\omega_x} = \frac{2l Z_x \pi}{\lambda_x \omega_x}$$

Конструкция балансного НПУ показана на рис. 2. В волновод „а“ с размерами $(4 \times 9) \text{ мм}^2$ вкладывается полосковая линия на диэлектрике (фторопласт). Вкладыши 1 и 2 показаны на рис. 3. Они сделаны из фольгированного тефлона. На них вырезаны линии передачи (заштрихованная часть).

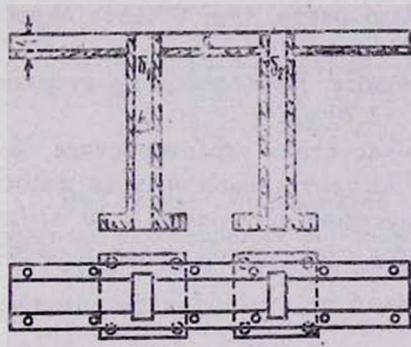


Рис. 2.

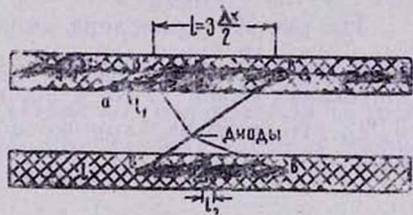


Рис. 3.

Линии $l_1 l_1$ с характеристическим сопротивлением 200 ом представляют собой последовательные индуктивности L_c для настройки сигнального резонатора.

Отрезок линии между диодами и входная и выходная линии имеют характеристическое сопротивление на частоте сигнала 50 ом . При наложении друг на друга линии замыкаются в точках „в“, а между четвертьволновыми отрезками длиной $l = 3 \lambda_x / 2$ прокладывается тефлоновая пленка толщиной 200 мк . Таким образом образуется двухпроводная линия, по которой распространяется волна на холостой частоте.

Подача мощности накачки на диоды осуществляется по волноводам b_1 и b_2 . Размеры волновода, образованного экраном полосковой линии, выбраны так, чтобы он был запредельным для холостой частоты и для частоты накачки, а размеры волноводов b_1 и b_2 выбираются так, чтобы они были запредельными для холостой частоты.

Тракт накачки настраивается двухвинтовым четвертьволновым трансформатором.

Через четвертьволновый отрезок dc подается смещение на диоды „вв“, с помощью последовательной емкости „ l_3 “ (рис. 3) развязываются диоды „вв“ по постоянному току для обеспечения на них автосмещения.

Оценка характеристик по данной конструкции показывает, что на емкости $C_{-8} = 0,15 \cdot 10^{-12}$ ф, $L_{вв} = 1,1$ нгн, $C_n = 0,05$ пф, $R_6 = 3,5$ ом (в конструкции применен полосковый тип диода) можно получить на направленном БПУ полосу пропускания $\Delta f/f_0 = 10\%$, коэффициент шума $-F = 1,3$ при $G = 12$ дб, $f_x/f_c = 6$.

§ 3. Результаты экспериментального исследования направленного балашного параметрического усилителя

В направленном ПУ пара диодов работала с автосмещением. Другая пара диодов работала с детектированием накачки для получения на диодах резонанса на частоте, равной холостой частоте. Среднее значение тока через один диод было равно $2 \mu\text{а}$, а через второй диод $2,3 \mu\text{а}$.

При таком режиме ожидаемая полоса пропускания составляет $\Delta f/f_0 = 13\%$, а коэффициент шума $-F = 1,70$ ед.

На рис. 5а приведена амплитудно-частотная характеристика направленного ПУ. Коэффициент усиления на центральной частоте полосы пропускания равен 11 дб, а полоса пропускания по уровню 3 дб $\Delta f/f_0 = 11\%$, что довольно хорошо согласуется с расчетной полосой пропускания.

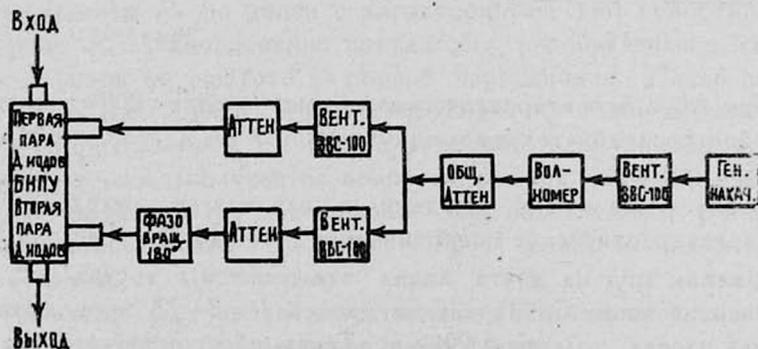


Рис. 4.

При изменении фазы напряжения накачки на 180° на одной из пар диодов (что делается фазовращателем, который помещен в тракте накачки) (см. блок-схему на рис. 4), коэффициент усиления уменьшается; амплитудно-частотная характеристика усилителя для этого режима приведена на рис. 5б. Среднее значение коэффициента усиления

становится равным $G=3$ дб. В случае идеального усилителя коэффициент усиления при повороте фазы напряжения накачки на 180° должен обратиться в нуль ($G=0$), т. е. коэффициент направленности $\beta = \infty$. Из эксперимента значение коэффициента направленности $\beta = 6$. Последнее может объясняться неидентичностью диодов (резонансные частоты диодов разные из-за разброса параметров диодов) и неточным выполнением условия $R_r = Z_0$. На рис. 5в приведен график зависимости входного КСВН от частоты. Как видно, в центре амплитудно-частотной характеристики КСВН минимален и равен 1,8, что превышает расчетное значение 1,2, а на краях полосы КСВН растет.

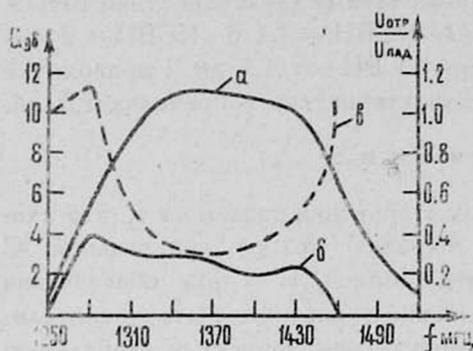


Рис. 5.

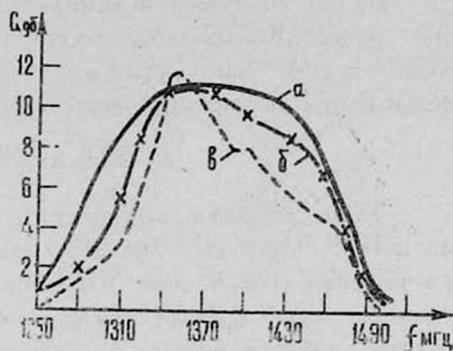


Рис. 6.

Это может объясняться теми же факторами и невыполнением фазовых соотношений [1] по мере удаления от центральной частоты.

Измеренная шумовая температура, приведенная ко входу направленного параметрического усилителя, равна 300°K ($F=2$).

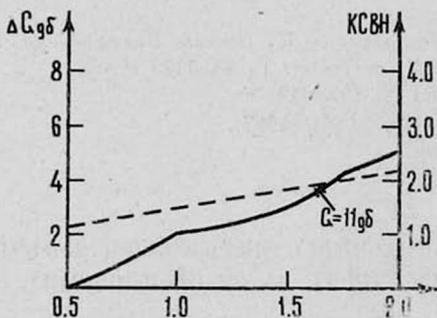


Рис. 7.

Из работы [1] можно показать, что при коэффициенте направленности $\beta = \infty$ член $\frac{1 + R_s/R_r}{\beta} T_0$ не дает вклада в коэффициент шума.

Учет экспериментально полученного значения $\beta = 6$ приводит к увеличению эквивалентной шумовой температуры на $0,2 T_0$.

Таким образом, экспериментально полученный коэффициент шума $F = 2$ вместо $F = 1,70$ объясняется конечным значением коэффициента направленности.

На рис. 7 приведен график изменения коэффициента усиления направленного ПУ в зависимости от мощности накачки. Из этого графика видно, что при усилении $G = 11$ дБ дифференциальная чувствительность $\Delta G/\Delta P = 3$ дБ/1 дБ.

На том же рисунке приведен график изменения входного КСВН направленного ПУ в зависимости от мощности накачки. Видно, что при уменьшении мощности накачки КСВН уменьшается.

На рис. 6 приведены амплитудно-частотные характеристики БНПУ при разных КСВН входного тракта (α —КСВН = 1,1 β —КСВН = 2 γ —КСВН = 2,5). Как видно увеличение КСВН от 1,1 до 2 приводит к деформации амплитудно-частотной характеристики в пределах 1,5 дБ.

З а к л ю ч е н и е

Таким образом, полученные характеристики показывают, что схема БНПУ позволяет реализовать широкую полосу пропускания. С улучшением технологии изготовления диодов, т. е. при обеспечении диодов с идеальными параметрами можно сконструировать усилители, которые обеспечивают низкую шумовую температуру и стабильную работу без применения развязывающих устройств.

Институт радиофизики и электроники
АН АрмССР

Поступила 20.II.1971.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. К. С. Мосоян, И. А. Струков, В. С. Эткин, Радиопизика, 10, 1 (1967).
2. J. Hamasaki, The Bell System Techn. J., 43, 1123 (1964).
3. L. O. Baldwin, Proc. IRE, 49, 1075 (1961).
4. IEEE Transactions, MTT—15, 5, 301 (1967).
5. AEU, 24, № 2, 103 (1970).

ՈՒՂՂՈՐԴՎԱՍ ԲԱՆԱՆՍԱՅԻՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐԻԿ ՈՒԺԵՂԱՑՈՒՑԻՉԻ
ՓՈՐՁՆԱԿԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ 21 սմ ԵՐԿԱՐՈՒԹՅԱՆ ԱՒԻՔԻ ՎՐԱ

Կ. Ս. ՄՈՍՈՅԱՆ, Ի. Ա. ՍՏՐՈՒԿՈՎ, Վ. Ս. ԷՏԿԻՆ

Փորձականորեն հետազոտված է շերտավոր կառուցվածքով ցածր կողմնային հաճախություն ունեցող ուղղորդված բալանսային պարամետրիկ ուժեղացուցչի փորձատիպարը (մակնարկ)։ Դիտողները հաղորդման գծում միացված են հաջորդաբար, միմյանցից ըստ սիզնալի հաճախության $\lambda/4$, իսկ ըստ «պարապ» հաճախության $3\lambda/2$ հեռավորության վրա։

Քննարկված է լայն թողարկման շերտ ստանալու համար ուղղորդված բալանսային պարամետրիկ ուժեղացուցչի օպտիմալ կառուցվածքի ընտրման հարցը։

EXPERIMENTAL STUDY OF UNILATERAL PARAMETRIC
BALANCE AMPLIFIER (UPBA) ON THE 21 *sm* WAVE LENGTH

K. S. MOSOYAN, I. A. STROOKOV, V. S. ETKIN

The scheme of Unilateral Parametric Balance Amplifier with one low lateral frequency of stripped design has been experimentally studied. The diodes in the transmission line are connected in series at a distance of $\lambda c/4$ on the signal frequency and $3\lambda x/2$ on the idler frequency.

The question of optimal design of UPBA in order to receive a broad-pass-band has been discussed.