

## ПРЕСЕЛЕКТОР МВ С ПОВЫШЕННОЙ ЛИНЕЙНОСТЬЮ И УРОВНЕВОЙ ЗАЩИТОЙ РПТ

И. Ю. МАЛЕВИЧ<sup>1</sup>, П. В. ЗАЯЦ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ОАО «КБ Радар» - управляющая компания холдинга «Системы радиолокации»,  
г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>ООО «Аналоговые системы», г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: malevich.bsuir@mail.ru

**Аннотация.** Представлены результаты разработки адаптивного высоколинейного балансного электронно-перестраиваемого преселектора метрового диапазона. Показано, что структура позволяет путем изменения глубины обратной связи масштабировать коэффициент усиления преселектора с пропорциональным изменением перегрузочной способности, линейности и сохранением малого коэффициента шума при хорошем согласовании структуры с трактом.

**Abstract.** The results of the development of an adaptive highly linear balanced electronically-tunable VHF preselector are presented. It is shown that the structure allows, by changing the feedback depth, to scale the preselector gain with a proportional change in the overload capacity, linearity and maintaining a low noise figure with good matching of the structure with the path.

### Введение

Работа систем радиоприема в диапазоне метровых волн (МВ) связана со значительным влиянием помех приему. Эти помехи приводят к появлению нелинейных эффектов и могут вызвать прекращение нормального функционирования радиоприемного тракта (РПТ). Поэтому задача создания эффективных средств защиты РПТ, обеспечивающих возможность работы в сложной ЭМО, имеет большое значение.

Известным методом повышения помехозащищенности РПТ является использование преселектора [1,2].

В классическом виде структура преселектора, как правило, представляет цепочечное соединение частотно-селективного звена (например, диапазонного фильтра или узкополосной перестраиваемой резонансной цепи либо блока переключаемых полосовых фильтров) и усилительного каскада (широкополосного либо резонансного, перестройка которого в диапазоне рабочих частот сопряжена с входной цепью).

Такие преселекторы широко используются для обеспечения устойчивого функционирования РПТ в условиях действия интенсивных помех [3-7]. Однако, в подобных устройствах затруднительно реализовать малое (1...2 дБ) значение коэффициента шума.

Обеспечить высокую чувствительность и заданную селективность возможно в структуре с вынесенным маломушумящим усилителем (МШУ) на вход преселектора.

Очевидно, для обеспечения эффективного функционирования в диапазоне МВ, такая структура требует не только наличия высоколинейного МШУ, но и возможности регулировать его коэффициент передачи в зависимости от текущего состояния ЭМО.

В статье рассматривается схемное решение преселектора диапазона МВ с высоколинейным адаптивным МШУ с переключаемым коэффициентом передачи и электронно-перестраиваемым частотно-селективным звеном.

### Основная часть

В качестве базовых подходов при логико-эвристическом синтезе схемного решения преселектора МВ с повышенной линейностью и уровневой защитой РПТ были использованы результаты, полученные в работах [8-11]. С учетом этих результатов синтезирована схема электронно-перестраиваемого балансного адаптивного узкополосного преселектора (БАУПР), представленная на рис.1.

Коэффициент усиления БАУПР с учетом балансного МШУ с бесшумными обратными связями и интегральных потерь в фильтровых структурах ( $L_{\Phi C}$ ) и квадратурных мостах  $WE$  ( $L_{WE}$ ) определится выражением:

$$G = 20 \lg \left[ \frac{K}{1 + K \left[ \frac{2N1 \cdot N2}{4N1^2 \cdot N2^2 + 1 + (N1 - N2)^2} (N1 + N2) \right]} \right] - L_{\Phi C} - 2L_{WE}, \quad (1)$$

коэффициент шума – выражением:

$$NF \approx L_{\Phi C.BX} + L_{WE} + NF_K, \quad (2)$$

а входная точка децибельной компрессии соответственно выражением:

$$IP_{-1дБ} \approx IP_{-1дБK} + L_{\Phi C.ВЫХ} + L_{WE} + (K - G) + 3дБ. \quad (3)$$

В приведенных выражениях  $L_{\Phi C.BX}$  и  $L_{\Phi C.ВЫХ}$  - соответственно потери входной и выходной фильтрующей цепи БАУПР, т.е.

$$L_{\Phi C} = L_{\Phi C.BX} + L_{\Phi C.ВЫХ}. \quad (4)$$

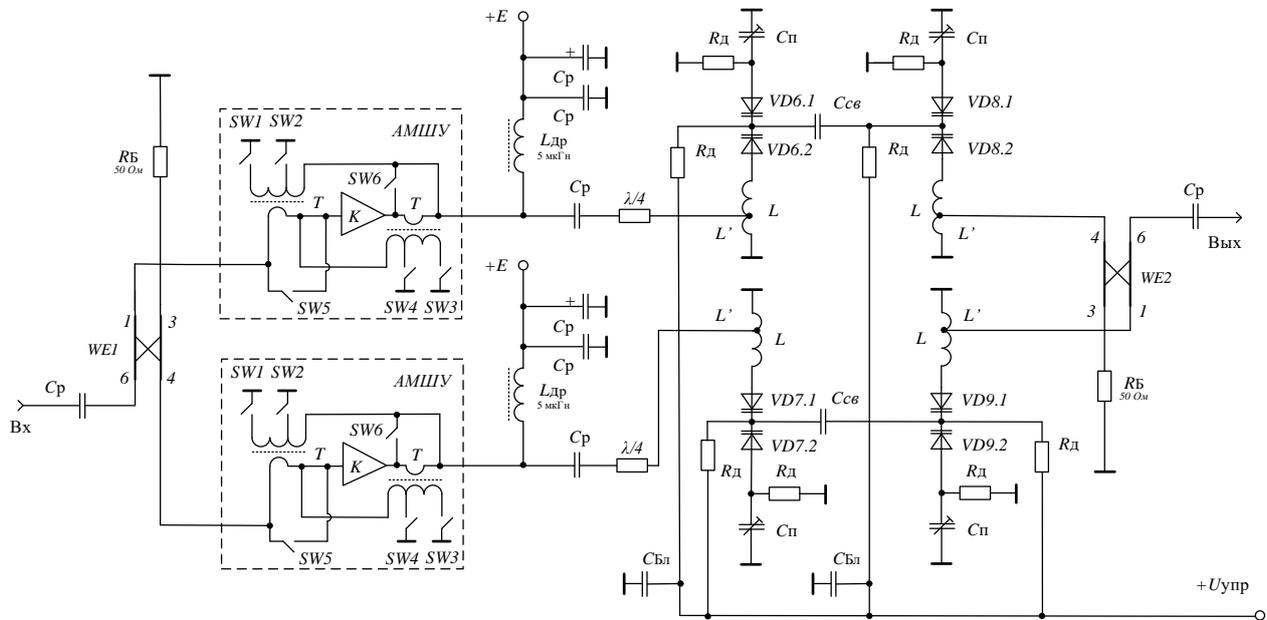


Рис.1. Схема электронно-перестраиваемого БАУПР

Линейность передаточной характеристики БАУПР в терминах входной точки пересечения  $J$ -го порядка ( $ИПJ$ ) с учетом входной точки пересечения  $J$ -го порядка МИС ( $ИПJ_K$ ) выразится зависимостью [10]:

$$ИПJ_G = ИПJ_K + \frac{J}{J-1} \cdot (K - G) + \frac{J}{J-1} L_{WE} + 3дБ. \quad (5)$$

Коэффициенты стоячей волны напряжения по входу ( $КСВ_{ВХ}$ ) и выходу ( $КСВ_{ВЫХ}$ ) определяются выражениями [12]:

$$КСВ_{ВХ} \approx \frac{1 + \left| (2d^2 - 1)(S_{11A} + S_{11B}) / 2 + (S_{11A} - S_{11B}) / 2 \right|}{1 - \left| (2d^2 - 1)(S_{11A} + S_{11B}) / 2 + (S_{11A} - S_{11B}) / 2 \right|}. \quad (6)$$

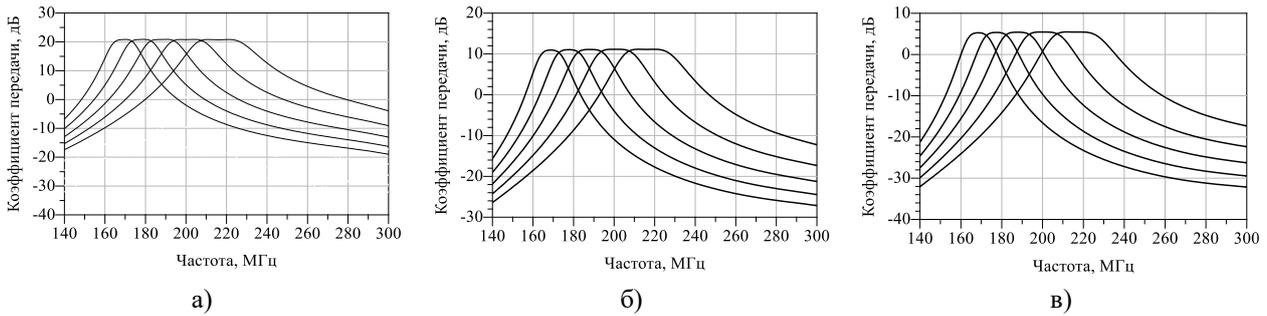
$$КСВ_{ВЫХ} \approx \frac{1 + \left| (2d^2 - 1)(S_{22A} + S_{22B}) / 2 + (S_{22A} - S_{22B}) / 2 \right|}{1 - \left| (2d^2 - 1)(S_{22A} + S_{22B}) / 2 + (S_{22A} - S_{22B}) / 2 \right|}. \quad (7)$$

где  $S_{11A}$ ,  $S_{22A}$  - соответственно входной и выходной  $S$ -параметры усилительного модуля  $A$ ;  $S_{11B}$ ,  $S_{22B}$  - соответственно входной и выходной  $S$ -параметры усилительного модуля  $B$ ;  $d$  - переходное ослабление квадратурных мостов  $WE$ .

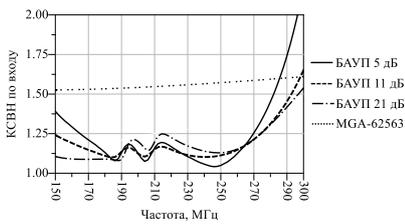
Учитывая, что квадратурные мосты  $WE$  диапазона МВ позволяют обеспечивать практически равноамплитудное деление и суммирование сигналов ( $d \approx 0,707$ ), можно прогнозировать реализацию согласования по входу и выходу БАУПР с  $КСВ \approx 1,2 \dots 1,5$  в том числе за пределами диапазона рабочих частот (ДРЧ). Последнее свойство обеспечивает широкополосную согласованную нагрузку по входу последующего преобразователя частоты, что дополнительно повышает его линейность.

С целью проверки функционально-энергетических характеристик и оптимизации параметров синтезированного БАУПР в специализированной САПР ADS исследована модель технического решения, выполненного на МИС MGA-62563.

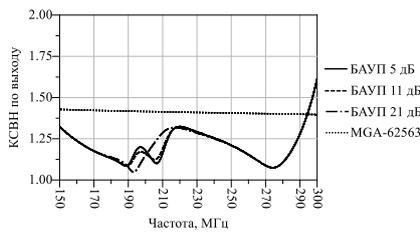
На рис.2-10 последовательно представлены результаты моделирования электронной перестройки АЧХ разработанной схемы БАУПР для режимов высокого (21 дБ), среднего (11 дБ) и низкого (5 дБ) усиления;  $КСВ$  по входу и выводу, коэффициента устойчивости, коэффициента шума ( $NF$ ), входной точки компрессии ( $P_{-1дБ}$ ), входной точки пересечения 3-го порядка ( $ИП3$ ), динамического диапазона 3-го порядка ( $DD3$ ) на частоте настройки 200 МГц в пересчете к полосе 1 МГц, а также внеполосная точка пересечения третьего порядка.



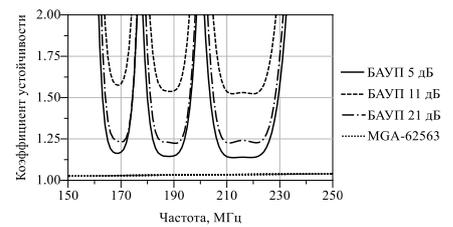
**Рис.2.** Результаты моделирования электронной перестройки амплитудно-частотной характеристики разработанной схемы БАУПР для режимов: а)- высокого (21 дБ); б) - среднего (11 дБ) и в) - низкого (5 дБ) усиления



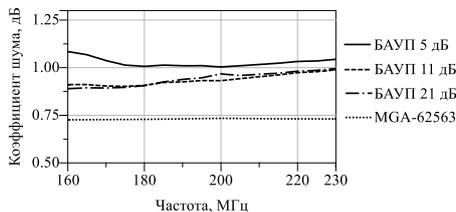
**Рис.3.** КСВ входа БАУПР на центральной частоте настройки (200 МГц) для режимов высокого (21 дБ), среднего (11 дБ) и низкого (5 дБ) усиления



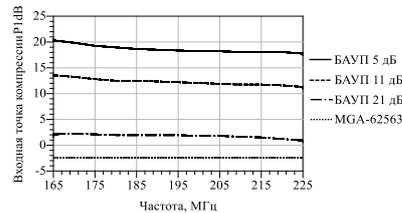
**Рис. 4.** КСВ выхода БАУПР на центральной частоте настройки (200 МГц) для режимов высокого (21 дБ), среднего (11 дБ) и низкого (5 дБ) усиления



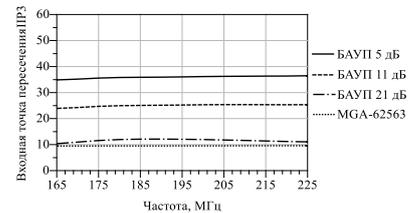
**Рис.5.** Коэффициент устойчивости БАУПР при перестройке в ДРЧ (крайние и центральная частоты) для режимов высокого (21 дБ), среднего (11 дБ) и низкого (5 дБ) усиления



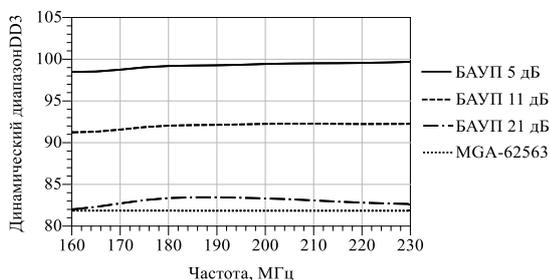
**Рис. 6.** Коэффициент шума при перестройке в ДРЧ для режимов высокого (21 дБ), среднего (11 дБ) и низкого (5 дБ) усиления



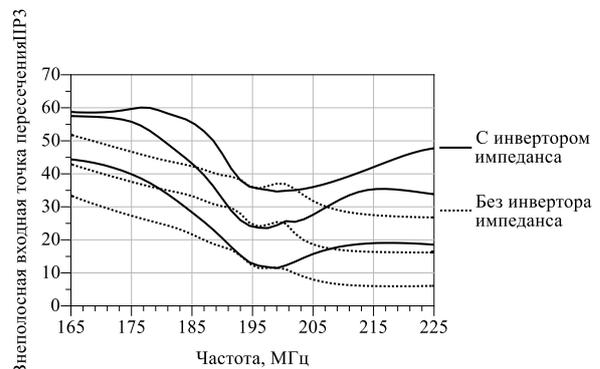
**Рис.7.** P-1дБ при перестройке в ДРЧ для режимов высокого (21 дБ), среднего (11 дБ) и низкого (5 дБ) усиления



**Рис.8.** IP3 при перестройке в ДРЧ для режимов высокого (21 дБ), среднего (11 дБ) и низкого (5 дБ) усиления



**Рис.9.** DD3 при перестройке в ДРЧ для режимов высокого (21 дБ), среднего (11 дБ) и низкого (5 дБ) усиления



**Рис.10.** Внеполосная точка пересечения третьего порядка на центральной частоте настройки (200 МГц) для режимов высокого (21 дБ), среднего (11 дБ) и низкого (5 дБ) усиления при включении в сечение МШУ-фильтр четвертьволнового отрезка линии

Видно, что схема позволяет выполнить электронную перестройку в диапазоне 170...220 МГц и ступенчатое изменение коэффициента усиления (21; 11; 5 дБ) с приемлемыми характеристиками согласования. Полоса пропускания по уровню -3 дБ - не более 25 МГц, избирательность при отстройке  $\pm 20\%$  составляет 17...22 дБ. Коэффициент шума БАУПР - не хуже 1,2 дБ, а порог перегрузки – дискретно повышается пропорционально снижению  $G$ : 3; 13,5; 18,5 дБм (на средней частоте ДРЧ). При этом одновременно увеличивается  $ППЗ$  (13; 25; 36 дБм), а ДД по интермодуляции третьего порядка ( $DD3$ )

$$DD3 = (2/3) \cdot (ППЗ - 10 \lg(BW) - NF), \quad (8)$$

что в пересчете к полосе пропускания радиоприемного тракта  $\Pi = 1,0$  МГц составляет соответственно 83, 92 и 99 дБ.

Приведенные характеристики демонстрируют, что такая структура позволяет путем изменения глубины ООС масштабировать коэффициент усиления преселектора с пропорциональным изменением перегрузочной способности, линейности и сохранением малого коэффициента шума при хорошем согласовании с трактом.

Анализ характеристик устойчивости (рис.5) указывают на безусловную устойчивость БАУПР, что позволяет интегрировать устройство в системы РПТ с АРЧ [13] и настраиваемой диапазонной антенной.

Из рис.10 видно, что при включении на входе частотно-избирательной цепи дополнительного четвертьволнового отрезка линии передачи происходит увеличение параметра  $ППЗ_{\text{вн}}$ , обусловленное инверсией фазы внеполосного коэффициента отражения фильтра, что подтверждает теоретические результаты, полученные в [14]. Такое техническое решение позволяет существенно (до 15 дБ на отдельных участках ДРЧ) повысить линейность БАУПР, что, в свою очередь, повышает помехозащищенность РПТ в целом.

### Заключение

Таким образом, рассмотрены вопросы разработки адаптивного высоколинейного балансного электронно-перестраиваемого преселектора метрового диапазона, включающие логико-эвристический синтез и апробацию схемного решения устройства в среде ADS. Показано, что структура позволяет путем изменения глубины обратной связи масштабировать коэффициент усиления преселектора с пропорциональным изменением перегрузочной способности, линейности и сохранением малого коэффициента шума при хорошем согласовании структуры с трактом. Увеличенный сравнительно с известными схемами динамический диапазон, высокая линейность и низкий коэффициент шума позволяют позиционировать его как перспективное устройство для приемных трактов радиоэлектронных систем метрового диапазона, функционирующих в нестационарной электромагнитной обстановке.

### Список использованных источников

1. Богданович Б.М. Радиоприемные устройства с большим динамическим диапазоном. - М.: Радио и связь, 1984. – 176 с.
2. Чердынцев В.А., Малевич И.Ю., Курочкин А.Е. Методы и устройства приема и обработки радиосигналов. – Минск: БГУИР, 2010. - 288 с.
3. Проектирование радиоприемных устройств. Под ред. А.П. Сиверса. –М.: Сов. Радио, 1976. – 488 с.
4. Голубев В.Н. Эффективная избирательность радиоприемных устройств. –М.: Радио и связь, 1978. -240 с.
5. Алексеев Л.В., Знаменский А.Е., Лоткова Е.Д. Электрические фильтры метрового и дециметрового диапазонов. –М.: Связь, 1976. - 280 с.
6. Шор К.Г. Селекторы телевизионных каналов на транзисторах. –М.: Энергия, 1973. - 72 с.
7. Ред Э. Справочное пособие по высокочастотной схемотехнике. –М.: Мир. 1990. -256 с.
8. Малевич И.Ю. Синтез высоколинейных радиочастотных усилительных трактов. Мн.: «Бестпринт», 2009. -202 с.
9. Малевич И.Ю., Заяц П.В. Адаптивный широкополосный малошумящий усилитель радиочастоты / Доклады БГУИР, Т.18, №6, 2020, с.66-74.
10. Малевич И.Ю., Заяц П.В. Балансный усилитель ОВЧ с бесшумными обратными связями / Доклады БГУИР, Т.20, №3, 2022, с.83-89.
11. Малевич И.Ю., Заяц П.В. Адаптивный малошумящий усилитель ОВЧ с большим динамическим диапазоном / Сборник науч. стат. VI МНПК «Актуальные проблемы и перспективы развития радиотехнических и инфокоммуникационных систем» «РАДИОИНФОКОМ-2022», Москва, 2022, С.374-377.
12. Петров Г.В., Толстой А.И. Линейные балансные СВЧ усилители. Москва: Радио и связь; 1983.
13. Заяц П.В., Малевич И.Ю. Повышение помехозащищенности радиоприемных трактов с автоматической регулировкой чувствительности / Доклады БГУИР, Т.19, №2, 2021, с.74-82.
14. Заяц П.В., Малевич И.Ю. Повышение линейности ОВЧ малошумящего усилителя с обратной связью в каскаде с селективной нагрузкой / Проблемы инфокоммуникаций, Т.17, №1, 2023, с.40-47.