

СМЕСИТЕЛЬ СДВИГА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
СИНХРОНИЗИРОВАННОГО АВТОГЕНЕРАТОРА НА МЭП-ДИОДАХMIXER OF SHIFT WITH THE USE  
OF THE SYNCHRONIZED OSCILLATOR ON TED-DIODES

**Аннотация.** Представлены результаты экспериментального исследования смесителя сдвига частоты с усилением на полупроводниковом автогенераторе, работающем в режиме принудительной синхронизации входным сигналом.

**Summary.** The results of experimental research of mixer of frequency shift with amplifying on a semiconductor oscillator working in the mode of the master-slave synchronization by an input signal are represented.

При настройке и регулировке приемной части РЛС возникает потребность в имитации источников СВЧ сигналов передатчика и гетеродина, отличающихся по частоте на величину промежуточной. Аналогичная задача возникает при использовании регенеративных и сверхрегенеративных усилителей, в которых выходной сигнал неизбежно отличается от входного, и требуется выровнять значения частот входного и выходного сигналов. Известны разработки, реализующие функцию сдвига частоты с использованием Y-циркуляторов и Y-разветвителей с переключающими диодами в двух плечах [1]. Приемлемые характеристики с подавлением несущей и неиспользуемых боковых частот достигаются в подобных устройствах на частотах модуляции не выше 20 кГц. Такое ограничение связано с необходимостью использования источников со сложной (многоступенчатой) формой модулирующего напряжения, разработка которых на частоты десятки мегагерц и выше представляет собой отдельную довольно сложную задачу. Использование варакторов в диодных преобразователях [2] позволяет получить заданный сдвиг частоты на десятки мегагерц, однако потери преобразования полезного сигнала (порядка 9 дБ) оказываются недопустимо большими для указанных применений. При этом требуются значительные уровни входного сигнала, притом с существенной зависимостью от величины этого сигнала коэффициента подавления неиспользуемых боковых составляющих спектра.

В настоящей работе сделана попытка реализовать частотный сдвиг на автогенераторе, построенном на серийно выпускаемых диодах Ганна [3] с использованием явления синхронизации затягивания автоколебаний внешним (исходным) сигналом и тем самым свести к минимуму перечисленные выше недостатки.

От стабильного СВЧ генератора 1 коаксиально-волноводной конструкции (рис. 1) на МЭП диоде типа АА728 на основе отрезка волновода сечением канала 7,2×3,4 мм с короткозамыкающим перестраиваемым поршнем с высоким коэффициентом отражения [4] и встроенной индуктивностью [5], позволяющими обеспечить добротность колебательной системы порядка 200, сигнал мощностью  $P_{\text{вх}} = 40$  мВт и частотой 33 ГГц через вентиль 2 поступал на амплитудный модулятор СВЧ мощности 3. В модуляторе применен арсенидгаллиевый *p-n* диод в миниатюрном корпусе типа "таблетка", помещенный в волноводный фланец сечением канала 7,2×3,4 мм в одной плоскости с двумя настроечными штырями. В такой конструкции начальные потери по мощности составляли 0,7...1,0 дБ при глубине модуляции СВЧ мощности не хуже 25...30 дБ. В результате амплитудной модуляции синусоидальным сигналом от источника 4, частота которого диктовалась требуемым частотным сдвигом, и в данных исследованиях  $f_M = 60$  МГц,  $U_M = 0,8$  В,  $I_M = 12$  мА, спектр входного сигнала содержал, кроме центральной частоты  $f_0$ , боковую нижнюю  $f_{\text{бн}} = f_0 - f_M$  и боковую верхнюю  $f_{\text{бв}} = f_0 + f_M$  составляющие, при этом уровень последних был на 5-6 дБ ниже уровня на частоте  $f_0$ .

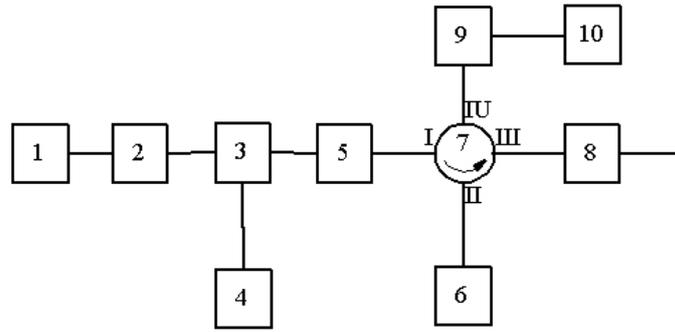


Рисунок 1 – Структурная схема устройства

Через регулируемый аттенюатор 5 (ДЗ-36А) и далее через входы I и II четырехплечевого циркулятора 7 все три составляющие  $f_{\text{бн}}$ ,  $f_0$ ,  $f_{\text{бв}}$  поступали на вход электрически перестраиваемого полупроводникового автогенератора 6 на диоде Ганна типа АА718, построенного по двухконтурной схеме аналогично [6], перестраиваемого варактором в пределах  $\pm 170$  МГц (в качестве последнего использовался лавинно-пролетный диод ЛПД типа 717А-4 в допробойном режиме) при практически неизменной выходной мощности. Режекторный фильтр 8, настроенный на центральную частоту  $f_0$ , был подключен к третьему плечу циркулятора 7. Четвертое плечо циркулятора через полосовой фильтр 9 подключалось к нагрузке 10 (измеритель мощности, анализатор спектра, частотомер).

Очевидно, что если выбрать частоту автогенератора  $f_a$  такой, чтобы выполнялось условие

$$\Delta f_0 < (f_{\text{бн}} - f_a) \leq \Delta f_{\text{бн}},$$

(где  $\Delta f_0$  и  $\Delta f_{\text{бн}}$  – полосы синхронизации сигналов  $f_0$  и  $f_{\text{бн}}$  соответственно), то при обеспечении известных мощностных соотношений [7] произойдет захват сигнала  $f_a$  сигналом  $f_{\text{бн}}$  с усилением последнего примерно до уровня мощности автоколебаний  $P_a = 30-40$  мВт. Составляющие сигнала  $f_0$  и  $f_{\text{бн}}$  отфильтровываются фильтрами 8 и 9 соответственно. Аналогичным образом, если частота автогенератора выбрана такой, что выполняется условие

$$\Delta f_0 < (f_a - f_{\text{бв}}) \leq \Delta f_{\text{бв}},$$

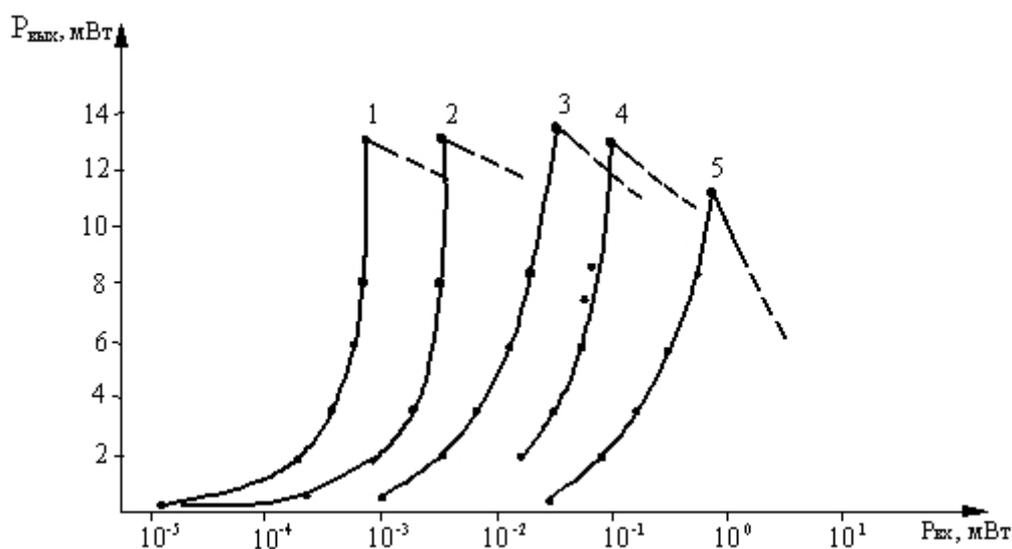
(где  $\Delta f_{\text{бв}}$  – полоса синхронизации сигнала  $f_{\text{бв}}$ ), то сигнал  $f_a$  будет захвачен сигналом  $f_{\text{бв}}$  с усилением последнего до того же уровня  $P_a$ . Составляющие сигнала  $f_0$  и  $f_{\text{бн}}$  могут быть отфильтрованы фильтрами 8 и 9.

После захвата стабильность частоты выходного сигнала одного порядка со стабильностью входного, поэтому полосу синхронизации автогенератора и коэффициент усиления можно регулировать изменением добротности его колебательной системы (например, введением в автогенератор дополнительной обратной связи [8]) без ухудшения спектральных характеристик преобразованного сигнала.

На рис. 2 представлена передаточная характеристика смесителя сдвига в широком диапазоне интенсивностей входных сигналов при различных значениях отстройки. Точка излома на каждой из кривых соответствует захвату частоты автогенератора, после чего по мере увеличения входного сигнала коэффициент передачи уменьшается.

Важно, что смеситель сдвига, построенный на автогенераторе в режиме принудительной синхронизации, обеспечивает возможность частотного преобразования сигнала со значительным коэффициентом усиления в широком диапазоне уровней входного сигнала, в том числе и при значениях, когда входной сигнал составляет сотые доли процента от мощности гетеродина.

Отметим, что использование разработанных высокоэффективных узлов крепления полупроводниковых диодов [9] с низким тепловым сопротивлением играет существенную роль в увеличении длительности безотказной работы диодов и воспроизводимости их генерационных характеристик.



Цифрам 1, 2, 3, 4, 5 отвечает отстройка от несущей ( $\Delta f = f_1 - f_2$ )

5 МГц, 10 МГц, 25 МГц, 50 МГц и 100 МГц соответственно

Рисунок 2 – Передаточная характеристика смесителя сдвига

Объединив регенеративный усилитель и рассматриваемый смеситель сдвига, каждый из которых обладает значительным усилением, удастся построить трактовый усилитель для радиоволновой информационно-управляющей системы магнитолевитирующих транспортных средств с параметрами, соизмеримыми с таковыми автодинного трактового усилителя [10].

#### Литература

1. *Jaffe J.S., Mackey R.S.* Microwave frequency translator // IEEE Trans. – 1965. – MTT-13, № 13. – P.371–378.
2. *Кутын А.С.* Однодиодный преобразователь частоты с подавлением центральной составляющей спектра преобразованного сигнала // Электронная техника: Сер. «Электроника СВЧ». – 1979. – Вып.10. – С. 86-88.
3. *Гусятинер М.С., Горбачев А.И.* Полупроводниковые сверхвысокочастотные диоды. – М.: Радио и связь, 1983. – 223 с.
4. *Коломойцев В.Ф., Плаксин С.В., Соколовский И.И.* Короткозамыкающий поршень для полупроводниковых СВЧ генераторов // Электронная техника: Серия «Электроника СВЧ». – 1984. – Вып. 7. – С. 8.
5. *А.с. 1363422 СССР.* Генератор СВЧ // И.И. Соколовский, В.Я. Крысь, С.В. Плаксин; Опубл. 30.12.87, Бюл. № 48.
6. *Костылев С.А., Соколовский И.И.* Перестройка генераторов Ганна электрически управляемой емкостью // Радиотехника. – 1973. – Т. 28, – № 3. – С.102-103.
7. *Фомин Н.Н.* Синхронизация диодных генераторов СВЧ. – М.: Связь, 1974. – 73 с.
8. *Катушкина В.М., Малышев В.П., Шалопанов А.В.* О расширении полосы пропускания синхронизации генератора // Радиотехника. – 1976. – Т. 31. – № 11. – С. 51-56.
9. *Деклараційний патент на винахід № 57222 А України.* Вузол кріплення напівпровідникового діода / І.І. Соколовський, С.В. Плаксін, М.Я. Житник, М.Ф. Загуральський, Л.М. Погоріла; Опубл. 16.06.2003, Бюл. № 6.
10. *Плаксин С.В., Привалов В.Н.* Трактовый усилитель для маркерно-связного волновода в радиоволновой системе управления магнитолевитирующими транспортными средствами // Радиозлектроника. Информатика. Управление. – 2001. – № 2(6). – С. 44-46.