

# SPECTRAL ANALYSIS OF LOW INTENSITY MICROWAVE RADIATIONS

<sup>1</sup>Yanenko A.P., <sup>2</sup>Shevchenko K.L., <sup>2</sup>Gorkun V.V., <sup>2</sup>Vasylenko N.P.  
<sup>1</sup>National technical university of Ukraine "KPI"  
<sup>2</sup>Kiev national university of technologies and design  
Nemirovich-Danchenko St., 2, Kiev. 01011, Ukraine  
ph.: (+38044) 2562993, e-mail: autom1@meta.ua

**Abstract** — Structural realization of the device for measurement and registration of spectral components of the microwave signals of low intensity with a wide continuous range is offered. In the device the frequency of only one narrow-band element working in a chain of rather low frequency is reconstructed. At the expense of it influence of mirror hindrances is suppressed and increase of accuracy and resolution of the spectral analysis is provided.

## СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СВЧ ИЗЛУЧЕНИЙ НИЗКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

<sup>1</sup>Яненко А.Ф., <sup>2</sup>Шевченко К.Л., <sup>2</sup>Горкун В.В., <sup>2</sup>Василенко Н.П.  
Национальный технический университет Украины «КПИ»  
<sup>2</sup>Киевский национальный университет технологий и дизайна  
ул. Немировича-Данченко, 2, Киев., 01011, Украина  
тел.: (+38044) 2562993, e-mail: autom1@meta.ua

**Аннотация** — Предложена структурная реализация устройства для измерения и регистрации спектральных составляющих СВЧ сигналов низкой интенсивности с широким сплошным спектром. В устройстве перестраивается частота только одного узкополосного элемента, работающего в цепи относительно низкой частоты. За счет этого подавляется влияние зеркальных помех и обеспечивается повышение точности и разрешающей способности спектрального анализа.

### I. Введение

В области сверхвысоких частот (СВЧ) анализ спектра электромагнитных колебаний низкой интенсивности, имеющих один порядок с интенсивностью собственных шумов СВЧ элементов, осуществляют с помощью модуляционных СВЧ спектроанализаторов. Наличие в их составе смесителя с перестраиваемым СВЧ гетеродином и узкополосного усилителя промежуточной частоты (УПЧ) обеспечивает выделение из СВЧ сигнала узкой полосы частот, которая переносится на промежуточную относительно низкую частоту, на которой и осуществляется анализ [1].

При анализе СВЧ сигналов со сплошными спектрами возникают большие погрешности из-за попадания в полосу пропускания гетеродиного преобразователя частоты зеркальных составляющих анализируемого спектра. Так, если частота гетеродина  $f_z$  настраивается на составляющие спектра сигнала  $f_c$  выше частоты гетеродина ( $f_c > f_z$ ), то все составляющие спектра  $f_c$ , меньшие частоты гетеродина ( $f_c < f_z$ ), образуют спектр зеркальных помех, попадающих в полосу приема. Поэтому сужением полосы пропускания УПЧ невозможно подавить зеркальные помехи, которые искажают результаты анализа.

В модуляционном СВЧ спектроанализаторе [2] усилительно-преобразовательный тракт дополнен дифференциальными усилителями, источником опорных напряжений и интегратором, подключенным к управляющему входу УПЧ. Опорные напряжения выбирают так, чтобы скомпенсировать помехи на выходах дифференциальных усилителей. В результате автоматической подстройки коэффициента усиления УПЧ компенсируются помехи и в основном усилительно-преобразовательном тракте. Однако, полную компенсацию зеркальных помех можно осуществлять только при постоянстве уровня помех. Поэтому при анализе реальных спектров СВЧ излу-

чений физических и биологических объектов возникают значительные погрешности.

### II. Основная часть

На рис. 1 представлена электрическая функциональная схема модуляционного СВЧ спектроанализатора, обеспечивающая снижение влияния зеркальных помех и собственных шумов СВЧ элементов [3].

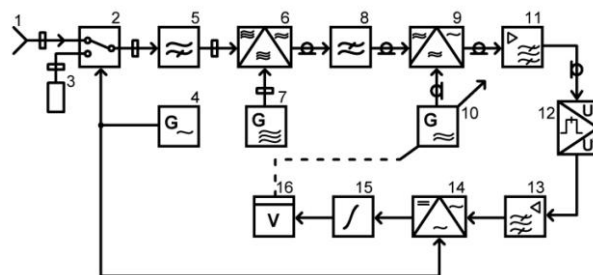


Рис. 1. Электрическая функциональная схема модуляционного СВЧ спектроанализатора.

Fig. 1. Electric function chart of the modulation microwave spectrum analyzer.

Модуляционный СВЧ спектроанализатор работает следующим образом.

Исследуемое электромагнитное излучение (ЭМИ) принимается широкополосной антенной 1 и вместе с её шумами преобразуется в широкополосный СВЧ сигнал, который поступает на один вход волноводного переключателя 2. К другому входу волноводного переключателя подключена оконечная волноводная нагрузка 3, которая генерирует шумовой сигнал, по интенсивности эквивалентный шумам антенны 1.

Волноводный переключатель управляется прямоугольным напряжением генератора низкой частоты 4. При периодических переключениях волновод-

ного переключателя на волноводный фильтр верхних частот поочередно воздействуют пакеты сигналов антенны 1 с её шумами и шумовой сигнал оконечной нагрузки 3. Из поступающих сигналов волноводным фильтром верхних частот (ФВЧ) 5 пропускаются составляющие спектров обоих сигналов от частоты среза  $f_{cp1}$  ФВЧ до его критической частоты  $f_{кр}$ , определяемой размерами сечения волновода. Прошедшие фильтр СВЧ колебания смешиваются в балансном смесителе 6 с монохроматическими колебаниями СВЧ гетеродина 7, который настроен на фиксированную частоту  $f_{r1}$ , равную частоте среза ФВЧ верхних частот ( $f_{r1} = f_{cp1}$ ). В результате смешивания СВЧ колебаний образуются колебания разностной частоты, которые выделяются широкополосным фильтром нижних частот (ФНЧ) 8 и представляют собой первую промежуточную частоту  $f_{ип1}$ .

Спектр колебаний промежуточных (разностных) частот охватывает область частот от минимальной выделяемой частоты ( $f_{cp1} - f_{r1}$ ) до максимальной частоты ( $f_{кр} - f_{r1}$ ). В соответствии с этим частота среза  $f_{cp2}$  широкополосного ФНЧ 8 выбирается равной максимальному значению первой промежуточной частоты ( $f_{cp2} = f_{кр} - f_{r1}$ ). Колебания суммарной частоты, которые также образуются в балансном смесителе 6, подавляются ФНЧ 8 и не влияют на дальнейшие преобразовательные процессы. Понижение частоты анализируемого участка спектра до первой промежуточной (разностной) частоты позволяет перейти от волноводного тракта к коаксиальному, что упрощает дальнейшую обработку многочастотного сигнала.

Так как через ФВЧ 5 не проходят спектральные составляющие с частотами меньше частоты гетеродина ( $f_c < f_{r1}$ ), то в балансном смесителе 6 не образуются колебания разностных частот, попадающих в полосу пропускания ФНЧ 8. Поэтому в спектре разностных частот отсутствуют зеркальные составляющие, искажающие результат спектрального анализа.

Колебания разностных частот смешиваются во втором балансном смесителе 9 с монохроматическими колебаниями второго гетеродина 10, частота настройки которого изменяется в процессе анализа. Образующиеся при смешивании колебания одной разностной частоты последовательно выделяются узкополосным усилителем 11 и представляют собой вторую промежуточную частоту  $f_{ип2}$ .

Частота второго гетеродина  $f_{r2}$  изменяется в диапазоне от минимальной частоты, равной частоте среза  $f_{cp2}$  ФНЧ 8 до максимальной частоты, равной удвоенному значению частоты среза ( $2f_{cp2}$ ). Усилитель промежуточной частоты 11 настраивается на одну фиксированную частоту, равную частоте среза ( $f_{ип2} = f_{cp2}$ ). В результате перестройки частоты гетеродина 10 в указанных пределах в полосу пропускания узкополосного усилителя 11 последовательно попадают все спектральные составляющие, выделенные ФНЧ 8. Так как частота перестраиваемого гетеродина 10 остается всегда выше спектральных составляющих первой промежуточной частоты ( $f_{r2} > f_{ип1}$ ), то и при втором гетеродинном преобразовании частоты зеркальные помехи от непрерывности спектра разностных частот не возникают.

Усиленное напряжение второй промежуточной частоты детектируется квадратичным детектором 12. В результате квадратичного преобразования образуется постоянная составляющая напряжения, пропорциональная спектральной плотности мощности шумового сигнала, выделенного узкополосным усилителем промежуточной частоты 11. При периодиче-

ской работе волноводного переключателя 2 на выходе квадратичного детектора 12 формируются импульсы напряжения, которые при одном положении переключателя пропорциональны мощности, выделяемой спектральной составляющей анализируемого ЭМИ и шумам СВЧ тракта, а при другом положении переключателя - только собственным шумам СВЧ тракта с антенной 1. Переменная составляющая напряжения последовательности импульсов пропорциональна только спектральной плотности мощности выделенного участка спектра анализируемого ЭМИ без наложения собственных шумов и зеркальных помех спектроанализатора.

Переменная составляющая напряжения усиливается избирательным усилителем 13, который настроен на частоту генератора 4, управляющего работой волноводного переключателя 2. Усиленное напряжение выпрямляется синхронным детектором 14, который также управляется генератором 4. Выпрямленное напряжение сглаживается интегратором 15, выходное напряжение которого измеряется и регистрируется самопишущим вольтметром 16.

Лентопротяжный механизм вольтметра 16 кинематически связан с перестраиваемым элементом гетеродина 10. Поэтому в процессе измерения и регистрации результатов анализа автоматически изменяется частота второго, относительно низкочастотного гетеродина 10.

При нулевом показании вольтметра 16 частота гетеродина устанавливается равной частоте среза  $f_{cp2}$  ФНЧ 8. При этом в полосу пропускания усилителя второй промежуточной частоты 11 попадают наиболее низкочастотные составляющие из спектра разностных частот, которые образуются в балансном смесителе 6. Эти составляющие соответствуют начальному участку спектра частот, выделяемых волноводным ФВЧ 5. По мере протягивания ленты самопишущего вольтметра 16 увеличивается частота гетеродина 10 и происходит выделение более высоких частот из спектра разностных частот в полосу пропускания ФНЧ 8 и соответственно более высоких частот в спектре СВЧ колебаний, выделяемых волноводным ФВЧ 5. Значения мощности выделенных спектральных составляющих после квадратичного преобразования в детекторе 12 и последующего усиления и выпрямления в блоках 13 - 15 записываются на ленте самопишущего вольтметра 16.

### III. Заключение

В предлагаемом спектроанализаторе перестраивается только один низкочастотный гетеродин без жестких требований к стабильности частоты. По записанной на ленте кривой можно судить о форме огибающей спектра, а следовательно, о неравномерности спектра ЭМИ, принятого антенной. По ординатам записанной кривой оценивают спектральную плотность мощности на отдельных участках спектра.

### IV. References

- [1] *Прозоровский А.Ю.* Радиометр для измерения влажности в верхних слоях атмосферы. Патент 1553924 (СССР). Оpubл. в Б.И., 1990, №12.
- [2] *Головки Д.Б., Скрипник Ю.А., Маковская В.Ю., Яненко А.Ф.* Устройство для регистрации спектра электромагнитного излучения биологических объектов. Патент 47460 (Украина). Оpubл. в Б.И., 2002, № 7.
- [3] *Скрипник Ю. О., Василенко М. П., Шевченко К. Л.* Модуляционный сверхвысокочастотный анализатор. Патент 80837 (Украина). Оpubл. в Б.И., 2013, № 11.