

КАЛИБРОВКА И ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ ФЛУКТУАЦИЙ В МИЛЛИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ

А.Я. БЕЛЬСКИЙ¹, А.В. ГУСИНСКИЙ², А.М. КОСТРИКИН

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
ул. П. Бровки, 6, г. Минск, 220013, Республика Беларусь
¹belskiay@bsuir.by, ²gusinski@bsuir.by*

Приводится схема, позволяющая получить калиброванный индекс модуляции, а также схема и методика измерения частотных (фазовых) флуктуаций.

Ключевые слова: модуляция, индекс модуляции, флуктуация, спектр.

В ряде случаев при проведении измерений и испытаний радиоэлектронной аппаратуры определенного назначения появляется необходимость использовать модуляторы с заданным с высокой точностью индексом модуляции. Для проведения, например, калировки измерителей флуктуаций используются разнообразные методы, которые имеют свои достоинства и недостатки. Наиболее точным считается метод нулей функций Бесселя [1, 2]. Обращение в нуль компоненты с центральной частотой происходит при индексах модуляции $m_{\text{ФМ(ЧМ)}}=2,4048; 5,5201; 8,5537$ и т.д. Поскольку модулирующая частота может быть измерена с очень высокой точностью, отмеченные индексы угловой модуляции могут быть опорными.

В нашем случае разработана схема, позволяющая осуществлять как фазовую, так и амплитудную модуляцию СВЧ сигнала с заданным индексом модуляции (рис. 1).

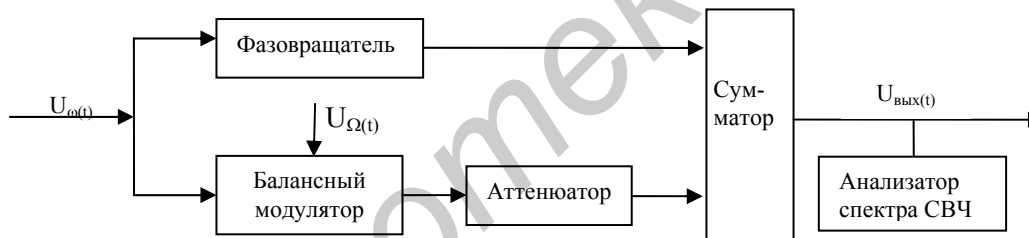


Рис. 1. Структурная схема модулятора

Сигнал несущей частоты $U_{\omega(t)}$ разделяется на два канала: в одном канале регулируется только его фаза, в другом осуществляется амплитудная модуляция с помощью балансного модулятора и регулируется уровень с помощью аттенюатора. После этого немодулированный и модулированный сигналы суммируются. Спектр выходного сигнала описывается выражением [3] вида

$$U_{\text{вых}}(t) = U_{\omega m} \sqrt{1 + m^2 U_{\Omega}^2(t)} \times \cos(\omega t - \arctg m U_{\Omega}(t)) \quad (1)$$

где $U_{\omega m}$ – амплитуда немодулированного сигнала; m – коэффициент амплитудной модуляции; $U_{\Omega}(t)$ – амплитуда модулирующего колебания.

Изменяя амплитуды сигналов в каналах и фазовые соотношения между ними, можно получить либо амплитудную, либо фазовую модуляцию, или смешанный вид модуляции. Такой модулятор использован в двухканальном измерителе флуктуаций, схема которого приведена на рис. 2. Индекс модуляции фазомодулированного сигнала определяется путем измерения постоянной и переменной составляющей на выходе фазового детектора измерителя флуктуаций:

$$m_{\phi} = \frac{U_{\text{ск}}}{U_n} \quad (2)$$

где m_ϕ – индекс фазовой модуляции; $U_{ск}$ – среднеквадратическое напряжение переменной составляющей; $U_{п}$ – напряжение постоянной составляющей.

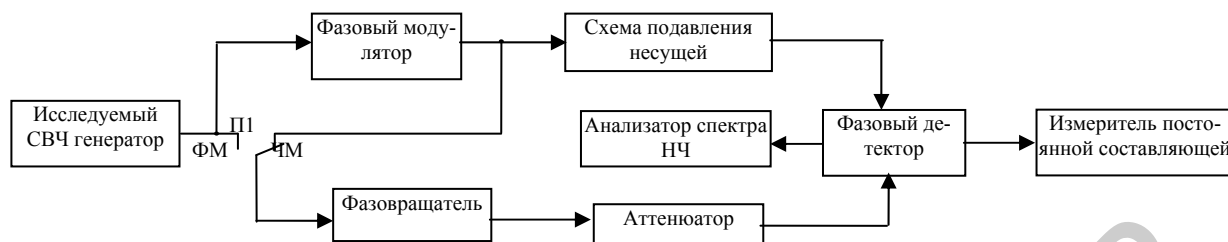


Рис. 2. Структурная схема измерителя флуктуаций

Измерение флуктуаций происходит следующим образом. Вначале переключатель переводится в положение «ФМ» и проводится калибровка модулятора. Для этого устройство подавления несущей расстраивается, и вся схема работает как фазовый детектор. Величина индекса фазовой модуляции определяется путем измерения постоянной и переменной составляющих на выходе фазового детектора в соответствии с выражением (2). После этого переключатель переводится в положение «ЧМ», схема подавления несущей настраивается на частоту исследуемого сигнала, т.е. вся схема превращается в частотный дискриминатор. С помощью низкочастотного анализатора спектра измеряется уровень калибровочного сигнала, величина которого обусловлена уже найденным индексом угловой модуляции. Затем модуляция снимается и находится индекс модуляции, обусловленный шумовым сигналом, путем сравнения калибровочного и шумового сигналов.

Таким образом, относительный уровень мощности частотных флуктуаций находится по следующей формуле:

$$\left(\frac{P_{ш}}{P_c} \right)_{чм} = \frac{m_\phi^2 \bar{U}_{ш.ск}^2}{2U_{\sim к}^2} \cdot \frac{F_k^2}{F_{ш}^2} \quad (3)$$

где $\bar{U}_{ш.ск}$ – величина уровня напряжения шумов; $U_{\sim к}$ – величина уровня калиброванного сигнала; F_k – частота модулирующего сигнала; $F_{ш}$ – частота сигнала паразитной шумовой модуляции, т.е. в выражении (3) учитывается тот факт, что индекс частотной модуляции зависит от частоты шумового сигнала $F_{ш}$.

Относительная спектральная плотность мощности частотных шумов может быть рассчитана следующим образом:

$$S(F)_{чм} = 10 \lg \frac{m_\phi^2 S_{Uш}(F_{ш}) F_k^2}{2U_{\sim к}^2 F_{ш}^2} \quad (4)$$

где $S_{Uш} = \bar{U}_{ш.ск}^2 / \Delta F$ – спектральная плотность шума, выраженная в В²/Гц.

Основными причинами погрешностей являются: неравномерность АЧХ и нелинейность ФЧХ измерительного тракта (чаще всего анализатора спектра), паразитная амплитудная модуляция, нелинейные искажения, конечное значение динамического диапазона анализатора спектра и нелинейность его амплитудной характеристики.

Список литературы

1. Павленко Ю.Ф., Шпаньон П.А. Измерение параметров частотномодулированных колебаний. М., 1986.
2. Ashley J.R., Searles C.B. The measurement of oscillator noise at microwave frequencies. IEEE Transactions on microwave and Techniques, vol. MTT-1, № 9, 1968.
3. Каяцкас А.А. Основы радиоэлектроники. М., 1988.