

И. В. КОРАБЛЕВ

## ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТНЫХ ФЛУКТУАЦИЙ УМНОЖИТЕЛЯ ЧАСТОТЫ НА НЕЛИНЕЙНОЙ ЕМКОСТИ

Методом контура в диапазоне  $3 \div 50$  кГц измерены частотные флуктуации умножителя частоты на нелинейной емкости. Показано, что спектральная плотность квадрата девиации частоты пятой гармоники, полученной путем умножения основной частоты генератора на металло-керамическом триоде, на 2,5 порядка меньше шума 3-сантиметрового отражательного клистрона.

В последнее время много сделано по изучению характеристик умножителей частоты, использующих нелинейную емкость  $p-n$ -перехода. Однако до сих пор почти ничего не известно о шумовых свойствах параметрических умножителей. В данном сообщении излагаются результаты экспериментального исследования спектра флуктуаций частоты умножителя 3-сантиметрового диапазона на параметрическом диоде методом контура [1, 2, 3].

Пусть на колебательный контур, выполняющий роль частотного детектора, воздействует колебание, хаотически модулированное по амплитуде и частоте с малыми индексами модуляции, и пусть  $W_\alpha(\Omega)$  — спектральная плотность среднего квадрата относительных амплитудных флуктуаций входного сигнала, а  $W_\nu(\Omega)$  — спектральная плотность среднего квадрата девиации частоты. Тогда в квазистатическом приближении [2] можно выразить  $W_\alpha(\Omega)$  и  $W_\nu(\Omega)$  через спектральную плотность относительных амплитудных флуктуаций процесса на выходе дискриминатора  $W_\beta(\Omega, n)$ :

$$W_\nu(\Omega) = \frac{1}{2} \left( \frac{\omega}{Q} \right)^2 [W_\beta(\Omega, +1) + W_\beta(\Omega, -1) - 2W_\beta(\Omega, 0)], \quad (1)$$

$$W_\alpha(\Omega) = W_\beta(\Omega, 0).$$

Здесь  $n = \frac{\omega - \omega_0}{\omega_0} 2Q$  — безразмерная расстройка,  $Q$  — добротность контура.

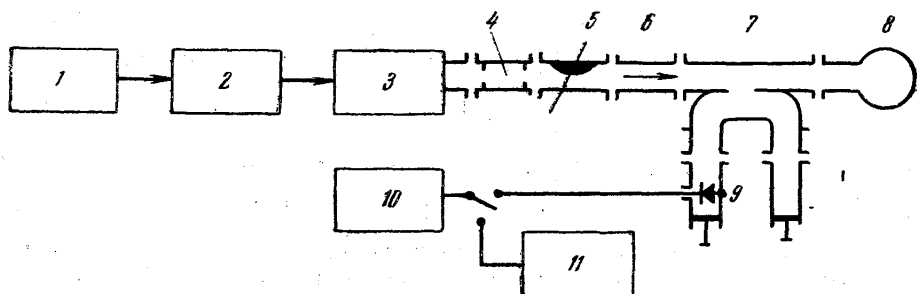
Блок-схема экспериментальной установки для измерения спектра флуктуаций частоты представлена на рис. 1.

В качестве задающего генератора умножителя для получения третьей гармоники основной частоты был использован отражательный клистрон 10-сантиметрового диапазона. Пятая гармоника получалась

путем умножения сигнала генератора, собранного на металло-керамическом триоде по схеме генератора с заземленной сеткой. При измерениях оба генератора были целиком переведены на аккумуляторное питание.

Умножитель представляет собой коаксиально-волноводный переход, в разрыве которого расположен диод. В конструкции умножителя имеется дроссельный фильтр, не пропускающий умноженный сигнал во входную цепь, органы подстройки и клеммы для подачи внешнего смещения. Полость умножителя связана через диафрагму с проходным резонатором, предназначенным для выделения выбранной гармоники.

Далее через ферритовый вентиль исследуемый сигнал поступает на дискриминатор. Ввиду малой интенсивности измеряемых флуктуаций необходимо использовать в качестве дискриминатора резонатор с высокой добротностью. Поэтому пришлось отказаться от проходной



Блок-схема измерительной установки: 1 — задающий генератор, 2 — развязка, 3 — умножитель, 4 — фильтр, 5 — аттенюатор, 6 — ферритовый вентиль, 7 — щелевой мост, 8 — объемный резонатор, 9 — детектор, 10 — анализатор спектра, 11 — калибровочный генератор

схемы включения контура, и объемный резонатор с нагруженной добротностью  $5 \cdot 10^4$  был включен как конечная нагрузка одного из плеч стандартного 3-децибелового щелевого моста. Здесь может быть также использован простой волноводный тройник [4].

Отраженный сигнал затем поступает на амплитудный детектор измерителя. Для определения спектральной плотности шумов на выходе детектора использовался анализатор спектра, перестраиваемый в диапазоне частот от 3 до 100 *кГц*. Полоса пропускания анализатора 500 *Гц*. Собственные шумы детектора измерителя определялись при возбуждении его сигналом более низкой частоты. Калибровка установки производилась сравнением действия низкочастотного шума на входе анализатора с действием эквивалентного по мощности синусоидального напряжения с последующим пересчетом на высокую частоту по измеренным потерям преобразования детектора.

Первоначально для проверки аппаратуры были измерены уже сравнительно хорошо изученные флуктуации частоты маломощного отражательного клистрона 3-сантиметрового диапазона. После измерений  $W_B(F, n)$  на каждой из выбранных частот при трех значениях расстройки  $n=0, \pm 1$  дальнейшая обработка результатов проводилась согласно (1). Величиной  $W_a(F)$  можно было пренебречь.

Отметим, что определение  $W_B$  при расстройках  $n = \pm 1$  производилось не относительно всей мощности сигнала, поступающей на детектор измерителя, а относительно половины мощности, отсасываемой резонатором при нулевой расстройке.

Результаты измерений спектральной плотности флуктуаций частоты клистрона в центре зоны генерации на различных частотах приведены в таблице.

	$F, \text{ кГц}$	3	5	10	20	30	40	50
Отражательный клистрон 3-сантиметрового диапазона	$W_v(F) \frac{24^2}{24}$	1,8		0,5	0,3	0,25	0,22	0,21
Умножитель $\times 3$	$W_v(F) \frac{24^2}{24}$	0,32	0,17	0,14	0,14	$9,5 \cdot 10^{-2}$	$9 \cdot 10^{-2}$	$7 \cdot 10^{-2}$
Умножитель $\times 5$	$W_v(F) \frac{24^2}{24}$	$6,7 \cdot 10^{-3}$	$4,8 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$9,0 \cdot 10^{-4}$	$6,5 \cdot 10^{-4}$	$6,5 \cdot 10^{-4}$	

Из приведенных данных следует, что на частотах до 20 кГц  $W_v(F) \approx \frac{\text{const}}{f}$ . На более высоких частотах (измерения проводились до граничной частоты области квазистатичности) уровень частотных флуктуаций клистрона остается практически постоянным. На этих частотах измеренный уровень  $W_v(F)$  удовлетворительно согласуется с данными, приведенными в [3, 5].

Питание клистрона осуществлялось от аккумуляторов. В таблице приведены результаты измерений спектра частотных флуктуаций сигнала на выходе умножителя при умножении в 3 раза. Как показал эксперимент, уровень шума в пределах ошибок измерений не зависит ни от режима работы умножителя (автоматическое или принудительное смещение), ни от образца диода. Зато режим работы 10-сантиметрового клистрона, используемого в качестве возбудителя, сильно влияет на шумы умноженного сигнала. Эти факты дают основание предположить, что измеренный уровень частотного шума гармоники определяется собственным шумом задающего генератора. Для проверки были проведены измерения частотных флуктуаций 10-сантиметрового отражательного клистрона. Дискриминатором при этом служил проходной объемный резонатор с добротностью около 8000.

Спектральные плотности квадрата девиации частоты на входе и выходе умножителя связаны очевидным соотношением

$$W_{v \text{ Вых}}(F) = n^2 W_{v \text{ Вх}}(F), \quad (2)$$

где  $n$  — коэффициент умножения.

В пределах точности эксперимента соотношение (2) удовлетворительно выполняется.

Таким образом, отражательный клистрон нецелесообразно использовать как возбудитель умножителя на нелинейной емкости, если уровень частотных флуктуаций гармоники ограничивает возможность применения умножителя.

В качестве более «чистого» источника основной частоты был использован генератор на металло-керамическом триоде ГИ-12Б. Исследовалась пятая гармоника ( $f_{ex} \approx 1800 \text{ мГц}$ ). Полученные результаты

представлены в таблице. К сожалению, не удалось провести измерений собственного шума задающего генератора на триоде, и вопрос об источнике измеренных флуктуаций в этом случае остается открытым. Можно только отметить, что уровень шума не зависит от образца диода.

Проведенные измерения показали, что при сопоставимых уровнях мощности, получаемых с клистрона и умножителя, последний имеет по крайней мере на 2,5 порядка меньший уровень частотных флуктуаций, если в качестве задающего генератора применяется источник с достаточно малой технической шириной линии.

В настоящее время ведутся работы по измерению амплитудных флуктуаций умножителя частоты на нелинейной емкости.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Middleton D. IRE Trans., ED—1, 56, 1954.
2. Малахов А. Н., Никонов В. Н., Разина Т. Д. «Изв. вузов», радиофизика, 4, № 6, 1052, 1961.
3. Ахманов А. С., Ештокин В. Н., Марченко В. Д. «Радиотехника и электроника», 7, вып. 12, 2024, 1962.
4. Vidallon Glaube. Cr. Acad. Sci., 254, 18, 3176, 1962.
5. Никонов В. Н. «Изв. вузов», радиофизика, 2, № 6, 915, 1959.

Поступила в редакцию  
5.7 1963 г.

Кафедра  
физики колебаний