

РАБОТА ГАЗОРАЗРЯДНОГО СМЕСИТЕЛЯ СВЧ КОЛЕБАНИЙ ПРИ ВЫСОКИХ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ЧАСТОТАХ

Г. Д. Лобов

Рассматривается зависимость чувствительности, потерь преобразования и полосы пропускания газоразрядного детектора от величины промежуточной частоты при использовании такого детектора в качестве смесителя СВЧ колебаний. Приводятся результаты экспериментальной проверки теоретических соотношений.

Основными недостатками газоразрядных детекторов по сравнению с кристаллическими являются наличие достаточно больших шумов газового разряда и малая полоса пропускания. В этой связи чувствительность* газоразрядного детектора, определяемая в основном шумами разряда, в режиме видеодетектирования получается значительно ниже, чем у кристаллических детекторов. Использование газоразрядного детектора в качестве смесителя СВЧ колебаний позволяет увеличить чувствительность приборов [1]; однако работать в пределах весьма узкой полосы пропускания газоразрядного детектора достаточно сложно и поэтому желательно исследовать поведение смесителя на промежуточных частотах выше граничной частоты.

Очевидным является тот факт, что потери преобразования (отношение мощности сигнала СВЧ к мощности промежуточной частоты) с ростом промежуточной частоты растут. Однако вследствие уменьшения величины спектральной плотности шумов газового разряда (2) можно надеяться, что уменьшение чувствительности при увеличении промежуточной частоты будет происходить не так быстро, как увеличение потерь преобразования. При повышении промежуточной частоты уменьшается относительное изменение коэффициента передачи при одинаковом абсолютном отклонении частоты, т. е. как бы расширяется эквивалентная полоса пропускания газоразрядного детектора. Последнее также является сильным аргументом в пользу повышения величины промежуточной частоты.

1. ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ГАЗОРАЗРЯДНОГО ДЕТЕКТОРА В РЕЖИМЕ СМЕШЕНИЯ

Как свидетельствуют экспериментальные данные [2], спектральная плотность шумов (I) газового разряда при увеличении частоты падает как

$$I = I_0 / f^k, \quad (1)$$

где k — коэффициент, постоянный для данного разрядного промежутка, I_0 — спектральная плотность шума на частоте 1 гц. Тогда величина напряжения шумов в полосе $2\Delta f$ на частоте f_0 для $\Delta f \ll f_0$ определяется соотношением:

$$\sigma_w \approx \sqrt{2\Delta f I_0 / f_0^k}. \quad (2)$$

* Под чувствительностью газоразрядных детекторов в дальнейшем будем подразумевать величину минимально индуцируемой мощности СВЧ сигнала.

Если определять чувствительность газоразрядного детектора как минимальную мощность сигнала, при которой напряжение промежуточной частоты $\Delta U_{\text{пр}}$ равно напряжению шумов σ_{ω} , то при учете только собственных шумов газового разряда минимальная мощность СВЧ найдется из равенства:

$$\sigma_{\omega} = \Delta U_{\text{пр}}.$$

Согласно (1), напряжение промежуточной частоты с газового детектора зависит от мощности сигнала P_c и промежуточной частоты $f_{\text{пр}}$ как

$$\Delta U_{\text{пр}} = A \sqrt{P_c} \frac{1}{\sqrt{1 + (f_{\text{пр}}/f_{0c})^2}}, \quad (3)$$

где f_{0c} — предельная частота смесителя, A — коэффициент, не зависящий от P_c и $f_{\text{пр}}$. Сопоставление формул (2) и (3) приводит к соотношению, определяющему минимальную мощность сигнала:

$$P_{c \text{ мин}} = \frac{2I_0^2}{A^2} \frac{1 + (f_{\text{пр}}/f_{0c})^2}{f_{\text{пр}}^{2k}} \Delta f_{\text{пр}}. \quad (4)$$

При $f_{\text{пр}} \gg f_{0c}$ выражение (4) упрощается:

$$P_{c \text{ мин}} \approx \frac{2I_0^2}{A^2 f_{0c}^2} \frac{\Delta f_{\text{пр}}}{f_{\text{пр}}^{2k-2}}. \quad (5)$$

Таким образом, зависимость $P_{c \text{ мин}}$ от частоты определяется величиной коэффициента k : при $k < 1$ чувствительность с увеличением промежуточной частоты падает, при $k > 1$ — увеличивается. В то же время потери преобразования (отношение мощности СВЧ к мощности промежуточной частоты) всегда падают с изменением промежуточной частоты согласно (3) по закону:

$$\frac{P_{\text{пр}}}{P_c} = C \frac{1}{1 + (f_{\text{пр}}/f_{0c})^2}, \quad (6)$$

где C — постоянная.

2. ЗАВИСИМОСТЬ ПОЛОСЫ ПРОПУСКАНИЯ ДЕТЕКТОРА ОТ ЗНАЧЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЧАСТОТЫ

При увеличении промежуточной частоты увеличивается и полоса пропускания детектора. Действительно, напряжение промежуточной частоты при фиксированном $f_{\text{пр}}$ равно

$$\Delta U_{\text{пр}} = \frac{B}{\sqrt{1 + (f_{\text{пр}}/f_{0c})^2}},$$

где B — напряжение сигнала промежуточной частоты при $f_{\text{пр}} \ll f_{0c}$. Если теперь ввести понятие эквивалентной полосы $\Delta f_{\text{экв}}$, такой, что при отклонении от $f_{\text{пр}}$ на $\Delta f_{\text{экв}}$ $\Delta U_{\text{пр}}$ падает в $\sqrt{2}$ раз, то

$$\Delta f_{\text{экв}} = f_{\text{пр}} \left(\sqrt{2 + (f_{0c}/f_{\text{пр}})^2} - 1 \right) = a f_{\text{пр}}. \quad (7)$$

При $f_{0c}/f_{\text{пр}} \ll 1$ $a \approx 0,4$. Таким образом, при обычных полосах УПЧ основное ограничение полосы будет происходить за счет полосы усилителя промежуточной частоты.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Экспериментальная проверка теоретических предпосылок проводилась на отпаянных разрядных трубках, имевших цилиндрические параллельные электроды из молибденовой проволоки. Трубки наполнялись инертными газами Ne и He при различных давлениях.

Параметры применявшихся газоразрядных трубок сведены в таблицу 1. В дальнейшем трубки будут фигурировать под условными номерами, приведенными в таблице.

Т а б л и ц а 1

N	Наполнение	Давление газа (мм рт. ст.)
2	He	31
4	He	20
5	Ne	18
6	He	44
8	Ne	28

Для поддержания тлеющего разряда на разрядную трубку через сопротивление нагрузки подавалось постоянное напряжение. Однако при достаточно большой мощности гетеродина разряд мог поддерживаться мощностью СВЧ и смешение происходило без подачи дополнительного постоянного напряжения.

Измерения чувствительности и потерь преобразования проводились на четырех фиксированных частотах 1, 10, 30 и 60 мГц, для чего использовались сменные линейки УПЧ с малозумящими предварительными усилителями. С помощью этих же усилителей была снята зависимость спектральной плотности шумов газоразрядных детекторов от частоты. Так как спектральная плотность шумов газового разряда на очень высоких частотах мало отличается от шумов линейки, то уже на 30 мГц было трудно разделить источники шума. Поэтому спектральная плотность шумов на 60 мГц не измерялась.

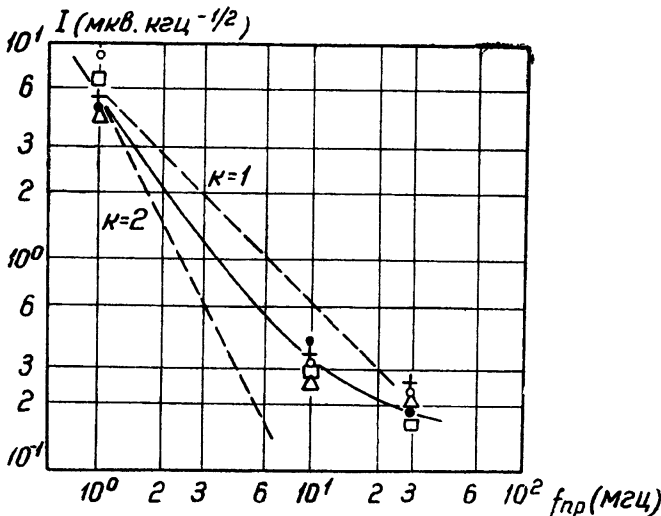


Рис. 1. Зависимость спектральной плотности шума от частоты. Пунктирными линиями нанесены прямые (1) для $k=1$ и $k=2$.

Экспериментальные данные: $-\Delta-\Delta-$ для трубки № 2; $-\circ-\circ-$ для трубки № 4; $-\square-\square-$ для трубки № 5; $-\bullet-\bullet-$ для трубки № 6; $-\bullet-\bullet-$ для трубки № 8.

Полученная зависимость спектральной плотности шумов от частоты представлена на рис. 1. Из графика ясно, что величина шумов мало зависит от рода и давления газа, а шумовой спектр обладает падающей характеристикой, описываемой формулой (1), причем фактор k , определяющий быстроту спада, лежит в начальном участке между 1 и 2 (кривые, соответствующие характеристикам вида f^{-1} и f^{-2} , нанесены на рис. 1 пунктиром).

Для проверки соотношения (5) снималась зависимость чувствительности от частоты (рис. 2). Для наглядности все величины чувствительности даны в относительных масштабах относительно чувстви-

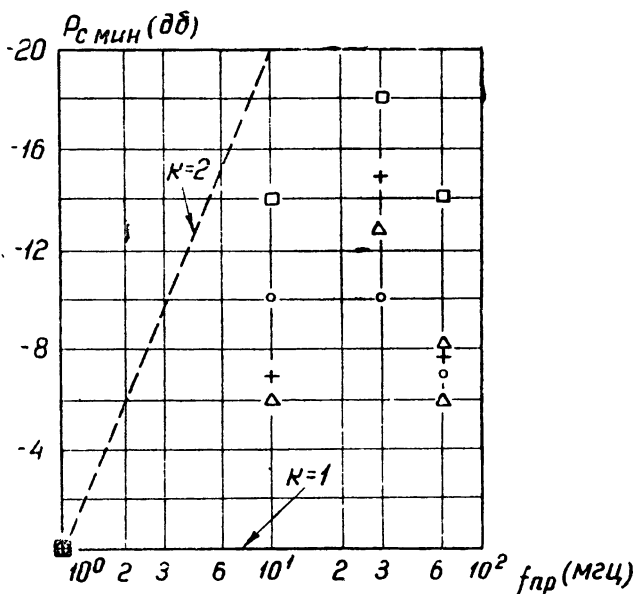


Рис. 2. Относительное изменение чувствительности при изменении промежуточной частоты. Пунктирной линией нанесена прямая (5) для $k=2$. Обозначения экспериментальных точек такие же, как на рис. 1.

тельности на частоте $f_{пр}=1 \text{ мГц}$ (чувствительность данных детекторов на частоте 1 мГц составляла $0,5 \div 10 \text{ мкВт}$). Как следует из рис. 1, экспериментальные точки лежат между кривыми, построенными по формуле (5) для двух значений постоянной k : $k=2$ и $k=1$ (на рис. 2 эти кривые изображены пунктиром).

Так как с ростом промежуточной частоты коэффициент k уменьшается (рис. 1), а потери преобразования непрерывно растут (рис. 3), то увеличение промежуточной частоты без потери чувствительности возможно лишь до определенного предела. Из рис. 2 видно, что для данных трубок предел лежит между 30 и 60 мГц.

Потери преобразования, как это и следует из формулы (3), с ростом промежуточной частоты увеличиваются. Отклонение экспериментальной зависимости от закона, даваемого формулой (3) (на рис. 3 теоретическая зависимость изображена пунктирной прямой), можно объяснить ошибками при измерении мощности как на СВЧ, так и на промежуточной частоте.

Положение о том, что с ростом промежуточной частоты должна увеличиваться полоса пропускания газоразрядного детектора, качественно подтверждается данными, приведенными в таблице 2. В таблице даны значения длительности переднего фронта импульса τ_{ϕ} в мксек

для различных промежуточных частот. Измерение величины τ_{ϕ} производилось после второго детектора. В той же таблице для сравнения приведены значения величины переднего фронта протектированного импульса для газоразрядного детектора, используемого в качестве ви-

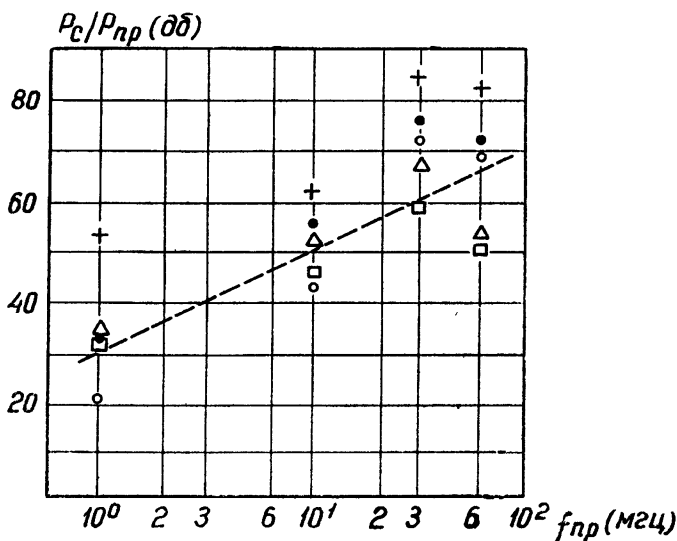


Рис. 3. Зависимость потерь преобразования от промежуточной частоты. Обозначения экспериментальных точек такие же, как на рис. 1.

деодетектора. Как видно из таблицы, искажение переднего фронта импульса уменьшается при увеличении промежуточной частоты и для достаточно высокой частоты почти полностью определяется полосой УПЧ.

Т а б л и ц а 2

Искажения переднего фронта импульса

	№	Видеодетектирование	$f_{\text{пр}} = 10 \text{ мГц};$	$f_{\text{пр}} = 30 \text{ мГц};$	$f_{\text{пр}} = 60 \text{ мГц};$
			$\Delta f_{\text{пр}} = 1 \text{ мГц}$	$\Delta f_{\text{пр}} = 2,7 \text{ мГц}$	$\Delta f_{\text{пр}} = 2,4 \text{ мГц}$
τ_{ϕ} (мксек)	2	1	0,5 ÷ 1	0,2	0,2
	4	1,1	0,5	0,2	0,2
	5	1,7	1	0,5	0,2
	8	1,5	1	0,5	0,3

Таким образом, из вышеизложенного следует, что увеличение промежуточной частоты (в определенных пределах) может способствовать увеличению полосы пропускания и чувствительности газоразрядного детектора.

В заключение автор пользуется случаем выразить благодарность дипломнику А. Н. Шаманскому за оказанную помощь в работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. Д. Лобов, Радиотехника и электроника, 5, 1848 (1960).
2. Е. А. Здорнова, Изв. высш. уч. зав.—Радиофизика, 2, 262 (1959).

OPERATION OF THE GAS-DISCHARGE MICROWAVES MIXER UPON HIGH INTERMEDIATE FREQUENCIES

G. D. Lobov

An examination is made of the dependance of the sensitivity, conversion losses and transmission band of a gas-discharge detector on the magnitude of the intermediate frequency when such a detector is used as a microwave mixer. Results are given of the experimental verification of the theoretical expressions.
