

# ОБ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ СХЕМЕ СВЧ ДИОДОВ

*Г. Н. Паулин*

Новосибирск

При разработке СВЧ детекторных устройств возникает необходимость расчета коэффициента передачи и коэффициента отражения диода. Такие расчеты можно выполнить, зная эквивалентную схему, которая с удовлетворительной точностью отображает частотные свойства диода. В литературных источниках приводится эквивалентная схема диода, включающая в себя индуктивность контактной иглы  $L$ , емкость патрона  $C_0$ , нелинейную емкость перехода  $C_n$ , нелинейное сопротивление кристалла  $R_0$ . Частотная зависимость характеристик диода объясняется наличием последовательного резонансного контура, состоящего из  $L$  и  $C_n$ . Однако расчет частотных характери-

стик диодов Д603, Д604 и Д605 по схеме рис. 1 дает большие расхождения с результатами эксперимента. Например, расчетная добротность резонансного контура для Д603 и Д604 близка к единице, а у Д605 по расчету резонанса вообще не должно быть. В действительности для первых двух диодов добротность равна приблизительно 8, а для последнего — 16. Высокая добротность, получающаяся, при экспериментах, может наблю-

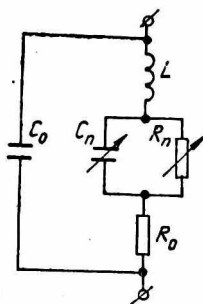


Рис. 1.

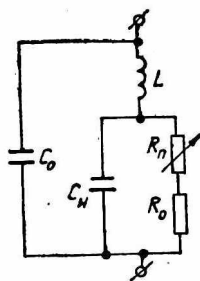


Рис. 2.

даться лишь при том условии, что  $R_0$  не входит в последовательную резонансную цепь. Это, в свою очередь, возможно при условии, что в резонансе участвует не емкость перехода, а какая-либо другая емкость.

Таким образом, приходим к эквивалентной схеме, показанной на рис. 2. В ней нет емкости перехода, так как влияние ее на частотные свойства диода, вероятно, мало. В схему введена новая емкость  $C_n$ ; будем трактовать ее как емкость кончика контактной иглы по отношению к металлическому основанию, на котором закреплен кристалл. В резонансе участвуют элементы  $L$  и  $C_n$ . Добротность резонансного контура ограничена сверху потерями мощности в параллельной ветви, состоящей из  $R_0$  и  $R_n$ . Влияние  $R_n$  следует принимать с учетом реального угла отсечки. Ниже приведены эксперименты, показывающие, что новая эквивалентная схема дает удовлетворительную точность описания частотных свойств диода.

Таблица 1

Тип диода	$C_0$ , пф		$L$ , кгн			$C_n$ , пф	$R_0$ , ом	
	И	Л	И	Р	Л		Р	И
						среднее		разброс
Д603	0,33	0,35	2,65	2,27	3	0,86	28	23—41
Д604			2,13	3,0		0,38		20—90
Д605			2,5	2,56		0,40		320—950

Параметры элементов эквивалентной схемы рис. 2 для трех типов диодов приведены в табл. 1. В ней буквами И, Р и Л обозначены соответственно величины, измеренные, рассчитанные и приведенные в литературных источниках. Емкость иглы  $C_n$  была рассчитана по измеренным значениям резонансной частоты  $f_p$  и индуктивности иглы.

Частотные свойства диодов определялись путем измерения

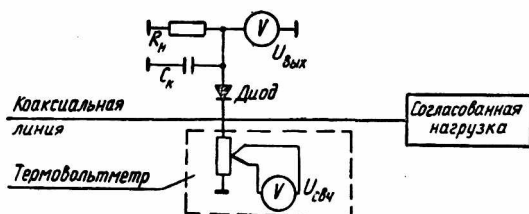


Рис. 3.

их коэффициента передачи  $k(f)$  на различных частотах  $f$ :

$$k(f) = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{СВЧ}}}, \quad (1)$$

где  $U_{\text{ВЫХ}}$  — выпрямленное напряжение на выходе диода;  
 $U_{\text{СВЧ}}$  — СВЧ напряжение, приложенное к диоду.

Более удобной величиной является приведенный коэффициент передачи  $K_{\text{пр}}(f)$ , равный отношению  $k(f)$  к коэффициенту передачи на низкой частоте  $k(0)$ :

$$K_{\text{пр}}(f) = \frac{k(f)}{k(0)}; \quad (2)$$

$k(0)$  показывает, во сколько раз СВЧ напряжение на переходе больше, чем на диоде. Максимальное значение  $K_{\text{пр}}$  равно добротности.

Измерение  $K_{\text{пр}}(f)$  производилось согласно схеме рис. 3. В одном сечении коаксиальной линии, подключенной к согласованной нагрузке, располагались диод и термовольметр. Диод имел непосредственный контакт с внутренним проводником и контакт через конструктивную емкость  $C_k$  с внешним проводником линии. Выпрямленное напряжение измерялось на нагрузке  $R_n$ . С помощью термовольметра, представляющего собой резистор с термопарой, определялось СВЧ напряжение, приложенное к диоду.

Измерение частотной характеристики  $K_{\text{пр}}(f)$  производилось при  $U_{\text{ВЫХ}} = \text{const}$ ; обеспечивалось также постоянство напряжения СВЧ на переходе диода, благодаря чему исключалось влияние нелинейности  $C_n$  и  $R_n$ .

Были сняты зависимости  $K_{пр}(f)$  для десяти диодов каждого вида.

В табл. 2 приведены средние значения резонансных частот  $f_p$  и добротность  $Q$ , а также их относительные среднеквадратичные отклонения.

Таблица 2

Тип диода	Резонансная частота, $f_p$		Добротность, $Q$	
	Средняя, Гц	Среднеквадратичное отклонение, %	Средняя	Среднеквадратичное отклонение, %
Д603	3,32	2,3	7,7	12
Д604	4,58	0,8	8,2	13
Д605	5,05	2,6	16,4	13

Чтобы проверить влияние емкости перехода  $C_n$  на характеристики диода, были сняты зависимости  $K_{пр}(f)$  при различных  $U_{вых}$  и по ним определены  $f_p$  и  $Q$  (табл. 3).

Таблица 3

$U_{вых}$	Д603		Д604		Д605	
	$f_p$ , Гц	$Q$	$f_p$ , Гц	$Q$	$f_p$ , Гц	$Q$
0,35	3,4	11,3	4,45	10,1	5,05	11,7
0,5	3,45	10	4,5	9,55	5,1	13,2
0,7	—	—	4,525	9,35	5,125	13,3
1,0	3,5	8,33	4,56	9,2	5,15	14
1,4	—	—	4,625	8,65	5,15	14,9
1,5	3,55	7,81	—	—	—	—
2,0	3,6	7,37	—	—	—	—

При этом использовался тот факт, что выпрямленное напряжение  $U_{вых}$  является одновременно запирающим напряжением, приложенным к переходу, а увеличение запирающего напряжения приводит к уменьшению емкости перехода.

Рассмотрим, в какой степени можно объяснить результаты этих экспериментов с использованием первой и второй эквивалентной схемы.

Сравнивая данные для различных типов диодов (табл. 2), видим, что имеет место обратная зависимость: диод Д605, у которого сопротивление  $R_0$  больше, чем у других типов обладает наибольшей добротностью. По схеме рис. 1 это явление объясняется тем, что  $R_0$  находится в ветви, включенной параллельно  $C_n$ .

Выше было показано, что увеличение  $U_{вых}$  приводит к уменьшению  $C_n$ . При этом в схеме должна значительно изме-

няться резонансная частота. В действительности  $f_p$  практически не зависит от  $U_{\text{вых}}$  (табл. 2). По схеме рис. 1 резонансная частота также не должна зависеть от  $U_{\text{вых}}$ , так как емкость  $C_n$  не зависит от  $U_{\text{вых}}$ .

Аналогичным образом с помощью схемы рис. 2 можно объяснить и другие явления.

Отсюда делаем вывод, что общепринятая эквивалентная схема не отражает резонансные свойства диодов Д603, Д604 и Д605; новая эквивалентная схема дает удовлетворительное совпадение частотных характеристик коэффициента передачи с экспериментом и объясняет ряд явлений, необъяснимых с точки зрения прежней схемы.

Можно предполагать, что аналогичная ситуация наблюдается и по отношению к другим СВЧ диодам.

Автор выражает признательность инженеру И. Ф. Матвееву за большой объем выполненной им экспериментальной работы и участие в обсуждении результатов.