

Варикап

Введение

Варикапом называется полупроводниковый диод, используемый в качестве конденсатора с управляемой напряжением ёмкостью, принцип действия которого основан на зависимости ёмкости р-п-перехода или барьера Шоттки (БШ) от приложенного напряжения. В качестве управляемой ёмкости в данном случае используется только барьерная ёмкость. Диффузионная ёмкость не подходит для этой цели, так как она проявляется при прямом смещении, когда сопротивление диода мало, а следовательно, добротность ёмкости невелика.

Следует отметить, что наряду с термином *варикап* для обозначения сходных по функциональному назначению полупроводниковых приборов используются также и два других: *параметрический диод* и *варактор*. Термин "варикап" является наиболее общим, однако используется преимущественно для приборов, работающих в диапазоне низких частот. Параметрическими диодами называют варикапы, используемые для параметрического усиления и генерации в СВЧ диапазоне. Что касается термина варактор, то он используется преимущественно в иностранной литературе для названия приборов СВЧ диапазона, используемых для умножения частоты и параметрического усиления. С точки зрения физики и варикап, и параметрический диод, и варактор в своей основе опираются на одни и те же физические принципы. Поэтому в дальнейшем в дальнейшем будем использовать только термин варикап.

Важным свойством барьерной ёмкости является ее практическая безынерционность. Изменение барьерной ёмкости р-п-перехода и барьера Шоттки при изменении приложенного напряжения обусловлено смещением основных носителей заряда в прилегающих к барьерному слою областях. Скорость этого процесса очень велика, так как время перестройки объемного заряда в этом случае определяется временем максвелловской релаксации $\tau_M = \frac{\varepsilon\varepsilon_0}{qn\mu}$, где $\varepsilon\varepsilon_0$ — диэлектрическая проницаемость полупроводника, q — модуль заряда электрона, n — концентрация электронов, μ — их подвижность. Например, для GaAs с $n = 10^{17}$ см⁻³ $\tau_M \approx 10^{-14}$ с. Для кремния эта величина будет примерно в пять раз больше. А это означает, что варикапы должны сохранять работоспособность даже в субмиллиметровом диапазоне (на частотах до 10^{12} Гц и выше).

Важнейшей характеристикой, определяющей основное функциональное свойство варикапа, является вольт-фарадная характеристика (ВФХ) — зависимость ёмкости варикапа от приложенного обратного напряжения.

В инженерной практике ВФХ варикапа выражается следующей формулой:

$$C(U) = \frac{C(0)}{(1 - U/\phi_k)^a},$$

где $C(0)$ — ёмкость варикапа при напряжении U , равном нулю, ϕ_k — контактная разность потенциалов, $a = 1/3$ — для плавного р-п-перехода, $a = 1/2$ — для резкого р-п-перехода и БШ. Современная технология позволяет получать и так называемые сверхрезкие р-п-переходы, для которых $a > 1/2$ и может достигать даже 7. В этом случае легирующая

примесь в базе диода распределена неоднородно: концентрация примеси убывает в направлении от р-n-перехода вглубь базы.

Наиболее простой вариант эквивалентной схемы варикапа для ВЧ и СВЧ переменного сигнала показан на (рис. 1) и представляет собой последовательное соединение зависящей от напряжения емкости $C(U)$ и последовательного сопротивления потерь R_{Π} , обусловленного частью базы диода за пределами барьерной области.

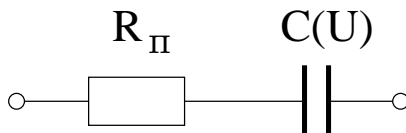


Рис. 1: Эквивалентная схема варикапа

Основными параметрами варикапов являются:

1. Ёмкость варикапа C , измеренная при заданном обратном напряжении.
2. Последовательное сопротивление потерь R_{Π} .
3. Коэффициент перекрытия по ёмкости $\beta = C_{max}/C_{min}$, равный отношению максимального и минимально значения ёмкости варикапа в рабочем интервале обратных напряжений.
4. Добротность Q , которая для эквивалентной схемы, приведенной на рис. 1, равна

$$Q = \frac{|X_C|}{R_{\Pi}} = \frac{1}{2\pi f R_{\Pi} C},$$

где f — рабочая частота.

5. Предельная частота $f_{\text{пр}}$ — частота, на которой $Q = 1$, то есть

$$f_{\text{пр}} = \frac{1}{2\pi R_{\Pi} C}.$$

Используется и ряд других параметров.

Приведённые параметры количественно характеризуют функциональные возможности варикапа. Смысл параметров понятен. Отметим лишь, что предельная частота должна быть хотя бы на порядок выше рабочей частоты, на которой предполагается использовать варикап. Это обеспечивает добротность больше 10. Меньшие значения добротности на практике, как правило, неприемлемы.

Варикапы применяются для создания малошумящих параметрических усилителей, используемых на входе высокочувствительных приемных систем СВЧ диапазона, а также как электрически управляемые конденсаторы для настройки колебательных систем ВЧ и СВЧ диапазонов, как активные элементы для создания умножителей и преобразователей частоты.

Целью данной работы является изучение принципа действия варикапа, исследование его основных параметров и характеристик.

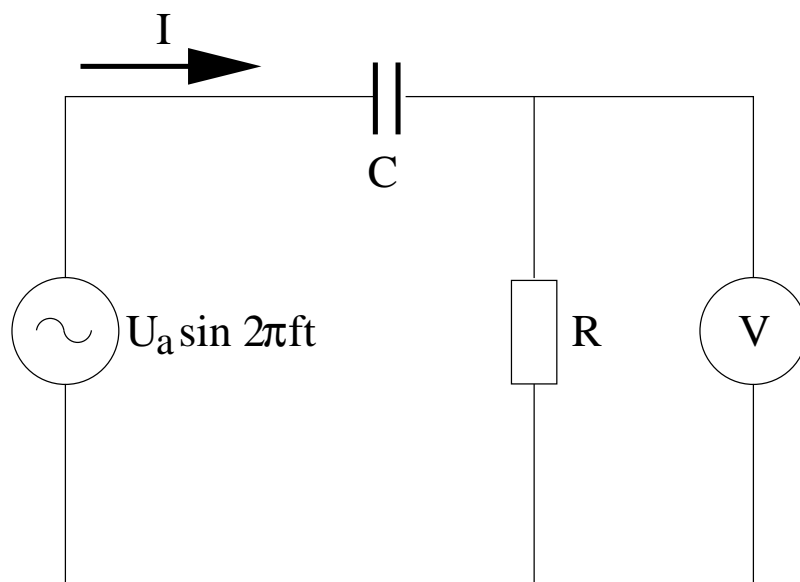


Рис. 2: Схема метода емкостно-омического делителя

Схема измерительной установки

Схема измерительной установки приведена на рис. 3.

Измерения емкости р-п перехода (Л2-28) производятся методом емкостно-омического делителя. (рис. 2)

К измеряемому диоду, режим которого зависит от установленных величин постоянных напряжений, поданных от источника напряжения ИС, приложено измерительное переменное напряжение V_0 от генератора Г соответствующей частоты ω (300 КГц или 10 МГц). Переменный ток заряда-разряда емкости диода проходит через резистор R_2 . При условии $R_2 \ll X_C$ напряжение на R_2 — V определяется ёмкостью измеряемого диода и равно:

$$V = V_0 R_2 \omega C.$$

Далее переменный сигнал подается на измерительный вольтметр прибора Л2-28, шкала которого проградуирована в единицах измеряемой емкости перехода.

Порядок выполнения работы

- 1. Изучить измерительную установку и правила работы с прибором Л2-28.**
Получить дополнительную информацию о правилах работы на установке, режимах питания и прочем у дежурного инженера лаборатории.
- 2. ЗАДАНИЕ 1 Пользуясь прибором Л2-28, снять статические ВАХ исследуемых варикапов и диодов.**
При снятии прямых ветвей ВАХ напряжение изменять в пределах от 0 до 0,3 В с шагом 0,1 В. При снятии обратных ветвей ВАХ напряжение изменять в диапазоне от 0 до 10 В с шагом 1 и в диапазоне от 10 до 40 В с шагом 5 В. Построить графики снятых ВАХ. Для этого:

- начальные установки: переключатели U_E и U_C положение 0 В, кнопка "измерение" — I_R в нажатом положении.

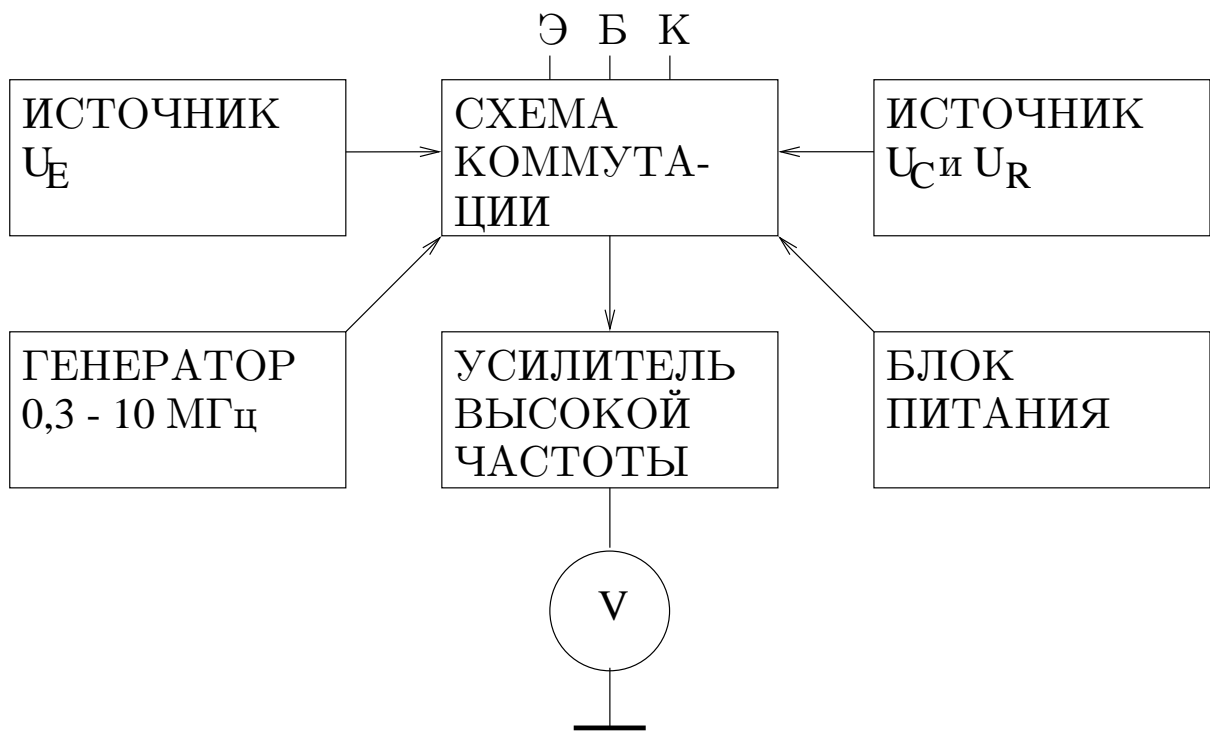


Рис. 3: Схема измерительной установки

- подключить установку с изучаемыми приборами к соответствующим гнездам измерительного прибора Л2-28, соблюдая цвета проводов.
- поставить тумблеры измерительной установки в положение ВКЛ.
- нажать на приборе Л2-28 кнопку "n-p-n" Снять прямую ВАХ каждого из шести приборов, выставляя значение напряжения переключателем U_C в диапазоне от 0 до 0,3 В, с шагом 0,1 В. Подбирать диапазон измерений переключателем $I_{\mu A}$.
- нажать кнопку "p-n-p" и снять обратную ВАХ каждого прибора в диапазоне от 0 до 10 В с шагом 1 и в диапазоне от 10 до 40 В с шагом 5 В.
- переключатели U_E и U_C в положение 0 В.

По наклону прямых ветвей полученных ВАХ для максимальных величин прямых токов рассчитать значения последовательного сопротивления потерь R_{Π} .

3. ЗАДАНИЕ 2. Пользуясь прибором Л2-28, снять ВФХ исследуемых варикапов и диодов.

При этом постоянное напряжение прямого смещения изменять в пределах от 0 до 0,3 В с шагом 0,1 В. При снятии ВФХ постоянные напряжения обратного смещения изменять в тех же пределах и с тем же шагом, что и в п. 2. Построить графики снятых ВФХ. Для этого:

- нажать кнопку "n-p-n" и " $C_{tot}(C_C)$ " и снять прямую ВФХ каждого из шести приборов в диапазоне от 0 до 0,3 В с шагом 0,1 В. Подбирать диапазон измерений переключателем C_{pp} .
- нажать кнопку "p-n-p" и снять обратную ВФХ каждого прибора в диапазоне от 0 до 10 В с шагом 1 и в диапазоне от 10 до 40 В с шагом 5 В.

Построить прямые и обратные ветки ВФХ с учетом масштаба и проанализировать полученные результаты. По ВФХ вычислить коэффициенты перекрытия по ёмкости p исследованных варикапов и диодов.

4. ВЫКЛЮЧИТЬ УСТАНОВКУ.

Список литературы

- [1] Гаман В. И. Физика полупроводниковых приборов: Учебное пособие. — Томск: Изд-во НТЛ, 2000. — 426 с.
- [2] Викулин И. М., Стафеев В. И. Физика полупроводниковых приборов. — М.: Радио и связь, 1990. — 262 с.
- [3] Михайлов А. И. Твердотельные параметрические приборы сверхвысоких частот: Учебн. пособие / Под ред. проф. Климова Б. Н. — Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1989. — 155 с.
- [4] Пасынков В. В., Чиркин Л. К. Полупроводниковые приборы: Учеб. для вузов по спец. "Полупроводники и диэлектрики" и "Полупроводниковые и микроэлектронные приборы" — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 1987. — 479 с.
- [5] СВЧ-полупроводниковые приборы и их применение / Под ред. Г. Уотсона; Пер. с англ. под ред. В. С. Эткина. — М.: Мир, 1972. — 662 с.