

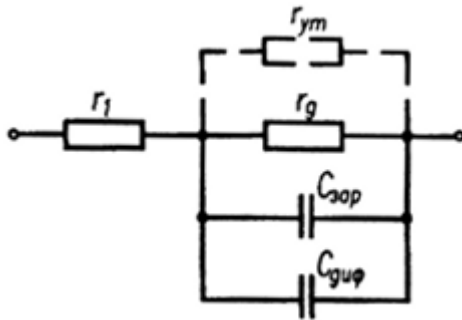


Полупроводниковые диоды

Диод варикап

Эквивалентная схема р-п-перехода по переменному току

Эквивалентная схема р-п-перехода по переменному току. Схема содержит дифференциальное сопротивление р-п-перехода, диффузионную ёмкость $C_{диф}$, зарядную ёмкость $C_{зар}$ и сопротивление объёма р- и н-областей. Можно записать:



$$\frac{1}{r_d} = \frac{dI}{dU} = \frac{I_s}{\varphi_T} \exp \frac{U}{\varphi_T}.$$

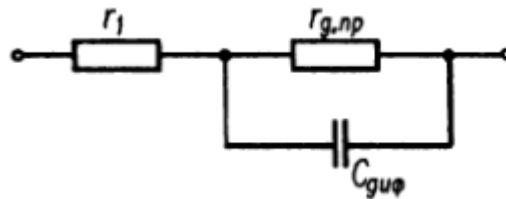
Если при прямом включении р-п-перехода $U_{пр} \gg \varphi_T$, то

$$I_{пр} = I_s (\exp(U_{пр}/\varphi_T) - 1) \approx I_s \exp(U_{пр}/\varphi_T); \quad r_d = \varphi_T / I_{пр}.$$

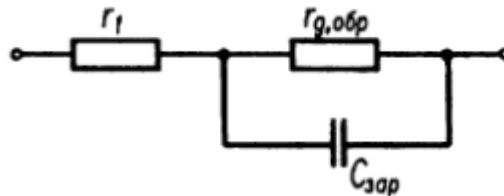
При комнатной температуре $r_d = 0,026 / I_{пр}$

Эквивалентная схема р-п-перехода по переменному току

Сопротивление утечки r_u учитывает возможность прохождения тока по поверхности кристалла из-за несовершенства его структуры. При прямом включении р-п- перехода $C_{зар} \ll C_{диф}$, дифференциальное сопротивление $r_{д.пр}$ мало и соизмеримо с сопротивлением базы диода поэтому эквивалентная схема принимает вид, показанный на рисунке:



При обратном смещении $r_{д.обр} \gg r_1$, $C_{зар} \gg C_{диф}$ и эквивалентная схема имеет вид, показанный на рисунке:



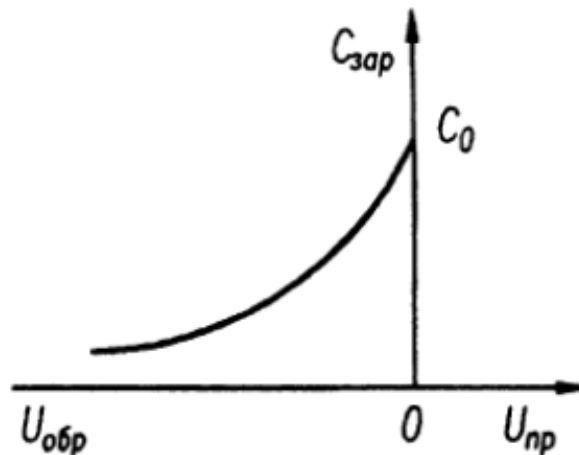
Ёмкости р-п-перехода

Зарядная (барьерная) ёмкость

В общем случае зависимость зарядной ёмкости от приложенного к р-п-переходу обратного напряжения выражается формулой

$$C_{\text{зар}} = \frac{C_0}{(1 + |U_{\text{обр}}|/U_{\text{к}})^{\gamma}},$$

где C_0 - ёмкость р-п-перехода при нулевом напряжении на переходе; γ - коэффициент, зависящий от типа р-п-перехода (для резких р-п-переходов он равен 1/2, а для плавных равен 1/3). $U_{\text{к}}$ - контактная разность потенциалов. Зарядная ёмкость увеличивается с ростом $N_{\text{а}}$ и $N_{\text{д}}$, а также с уменьшением обратного напряжения. Характер зависимости $C_{\text{зар}}$ от напряжения показан на рисунке



Ёмкости р-п-перехода

• **Диффузионная ёмкость.** При увеличении внешнего напряжения, приложенного к р-л-переходу в прямом направлении, растёт концентрация инжектированных носителей вблизи границ перехода, что приводит к изменению количества заряда, обусловленного неосновными носителями в р- и п-областях. Это можно рассматривать как проявление некоторой ёмкости. Поскольку она зависит от изменения диффузионной составляющей тока, её называют диффузионной. Диффузионная ёмкость представляет собой отношение приращения инжекционного заряда dQ к вызвавшему его изменению напряжения $C_{\text{диф}} = dQ_{\text{инж}} / dU_{\text{пр}}$.

Диффузионная ёмкость, обусловленная изменением общего заряда неравновесных дырок в п-области, определится по формуле

$$C_{\text{диф } p} = \frac{dQ_p}{dU_{\text{пр}}} = \frac{qL_p \Pi p_{n0}}{\varphi_T} \exp \frac{U_{\text{пр}}}{\varphi_T}.$$

Аналогично для диффузионной ёмкости, обусловленной инжекцией электронов в р-область, (где Π - площадь перехода)

$$C_{\text{диф } n} = \frac{dQ_n}{dU_{\text{пр}}} = \frac{qL_n \Pi n_{p0}}{\varphi_T} \exp \frac{U_{\text{пр}}}{\varphi_T}.$$

Ёмкости р-п-перехода

Общая диффузионная ёмкость

$$\begin{aligned} C_{\text{диф}} &= C_{\text{диф } p} + C_{\text{диф } n} = \\ &= (q\Pi/\varphi_T)(L_n n_{p0} + L_p p_{n0}) \exp(U_{\text{пр}}/\varphi_T). \end{aligned}$$

Полная ёмкость р-п-перехода определяется суммой зарядной и диффузионной ёмкостей:

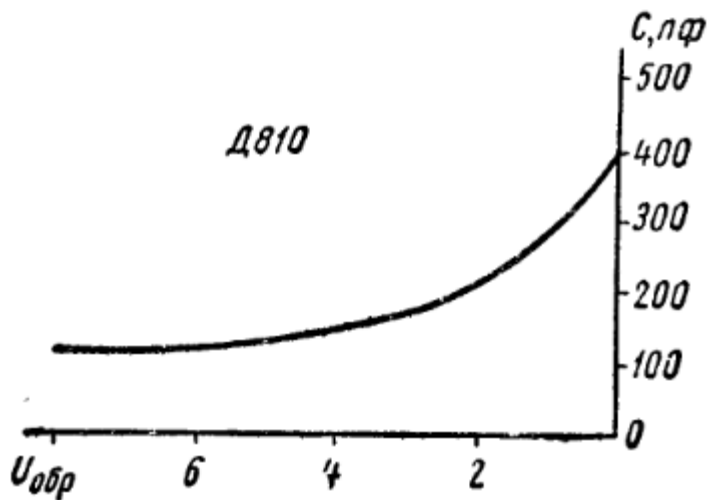
$$C_{\text{пер}} = C_{\text{зар}} + C_{\text{диф}}.$$

При включении р-п -перехода в прямом направлении преобладает диффузионная ёмкость, а при включении в обратном направлении - зарядная.

Ёмкости р-п-перехода

Варикапы

Зависимость ёмкости перехода от напряжения практически используется в полупроводниковых диодах, называемых варикапами. Варикап представляет собой электрический конденсатор, ёмкость которого управляется напряжением. Малая инерционность процесса перестройки и малые габариты прибора делают его удобным для применения в колебательных контурах с целью автоматической подстройки частоты и частотной модуляции, а также в параметрических преобразователях частоты и усилителях. Варикапы изготавливают из кремния, позволяющего благодаря малому обратному току получить небольшие потери в переходе, т. е. хорошую добротность конденсатора.



Промышленностью выпускается варикап типа Д901, имеющий следующие данные

$$C_{ном} = 22 \div 32 \text{ пФ}, \quad \frac{C_{max}}{C_{min}} = 4,$$

Рабочее напряжение порядка 4 - 80 Вольт и добротностью 25-30.

ВАРИКАПЫ

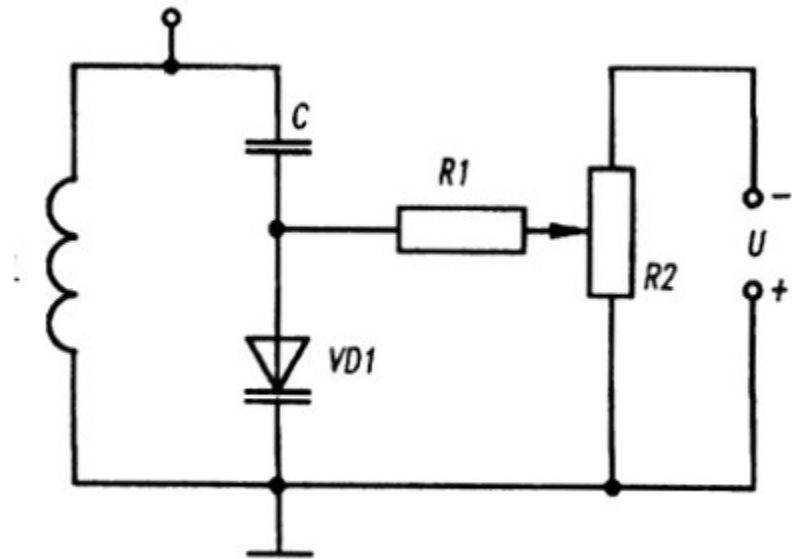
Варикапами называют полупроводниковые диоды, в которых используется зависимость барьерной ёмкости р-п-перехода от обратного напряжения. Они применяются в качестве конденсатора с электрически управляемой ёмкостью. Условное графическое изображение варикапа показано на рисунке.



Основные параметры варикапов и их типовые значения

1. Общая ёмкость C - ёмкость, измеренная между выводами варикапа при заданном обратном напряжении (десятки — сотни пФ).
2. Коэффициент перекрытия по ёмкости — отношение ёмкостей варикапа при двух заданных значениях обратных напряжений: $K_c = C_{\text{макс}}/C_{\text{мин}}$ (несколько единиц—несколько десятков единиц).
3. Сопротивление потерь — суммарное активное сопротивление, включая сопротивление кристалла, контактных соединений и выводов варикапа.
4. Добротность Q_a отношение реактивного сопротивления варикапа на заданной частоте переменного сигнала к сопротивлению потерь при заданном значении ёмкости или обратного напряжения: $Q_B = X_c/r$, (десятки — сотни единиц).
5. Температурный коэффициент ёмкости (ТКЕ) — отношение относительного изменения ёмкости к вызывавшему его абсолютному изменению температуры окружающей среды:

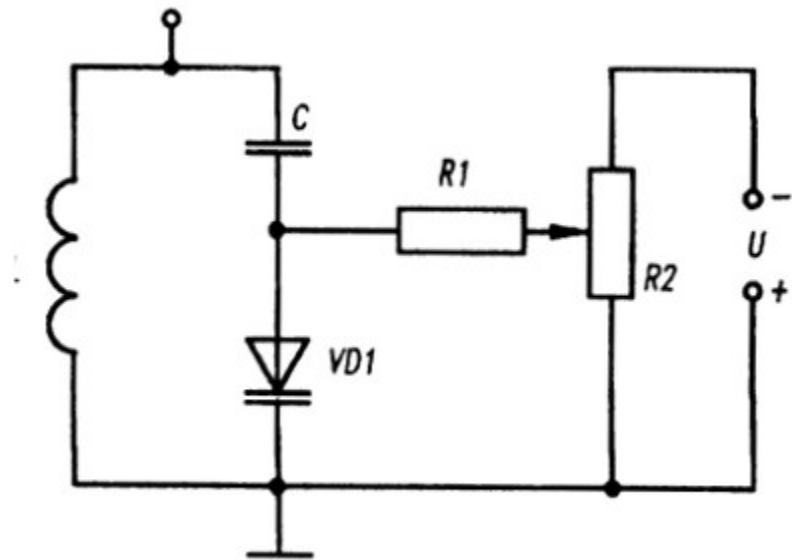
ВАРИКАПЫ



На рисунке изображён колебательный контур, перестраиваемый с помощью варикапа. В этой схеме конденсатор C предотвращает замыкание напряжения смещения через индуктивность L. Его ёмкость обычно значительно превышает ёмкость варикапа - диода VD1. Поэтому резонансная частота контура определяется по формуле

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_{\text{в}}}},$$

ВАРИКАПЫ



Регулировкой напряжения смещения, подаваемого на диод с потенциометра $R2$ через резистор $R1$, можно изменять ёмкость диода и, следовательно, резонансную частоту колебательного контура. Резистор $R1$ предотвращает возможность шунтирования колебательного контура при перемещении движка потенциометра. Сопротивление резистора $R1$ выбирают большим резонансного сопротивления контура.

Основными специальными параметрами варикапов являются: номинальная ёмкость C_v , измеренная при заданном обратном напряжении $U_{обр}$, коэффициент перекрытия ёмкости K_c , определяемый отношением ёмкостей варикапа при двух заданных значениях обратного напряжения.

ВАРИКАПЫ

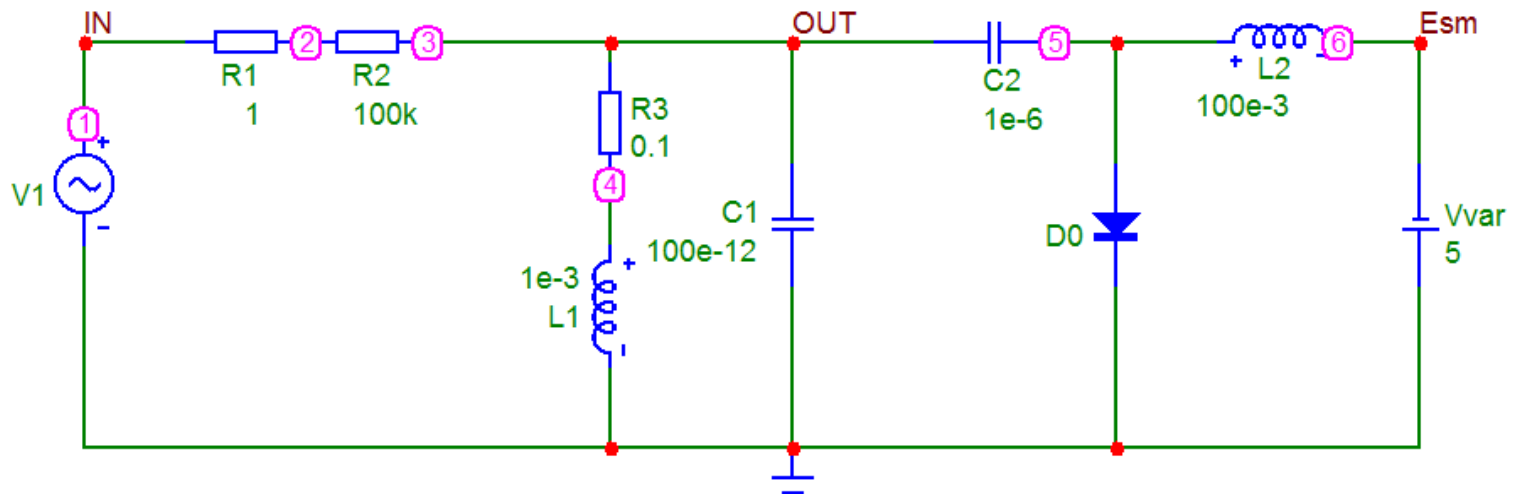
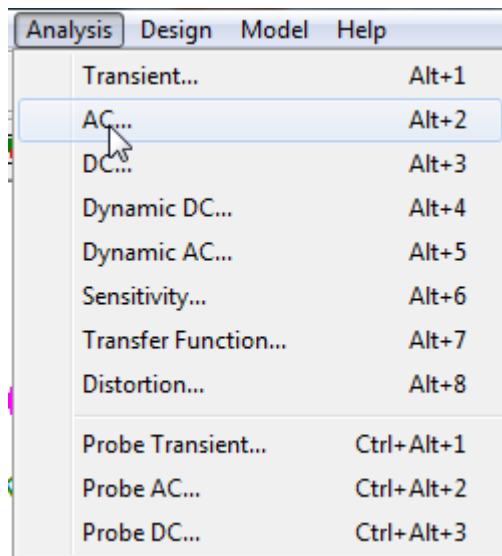
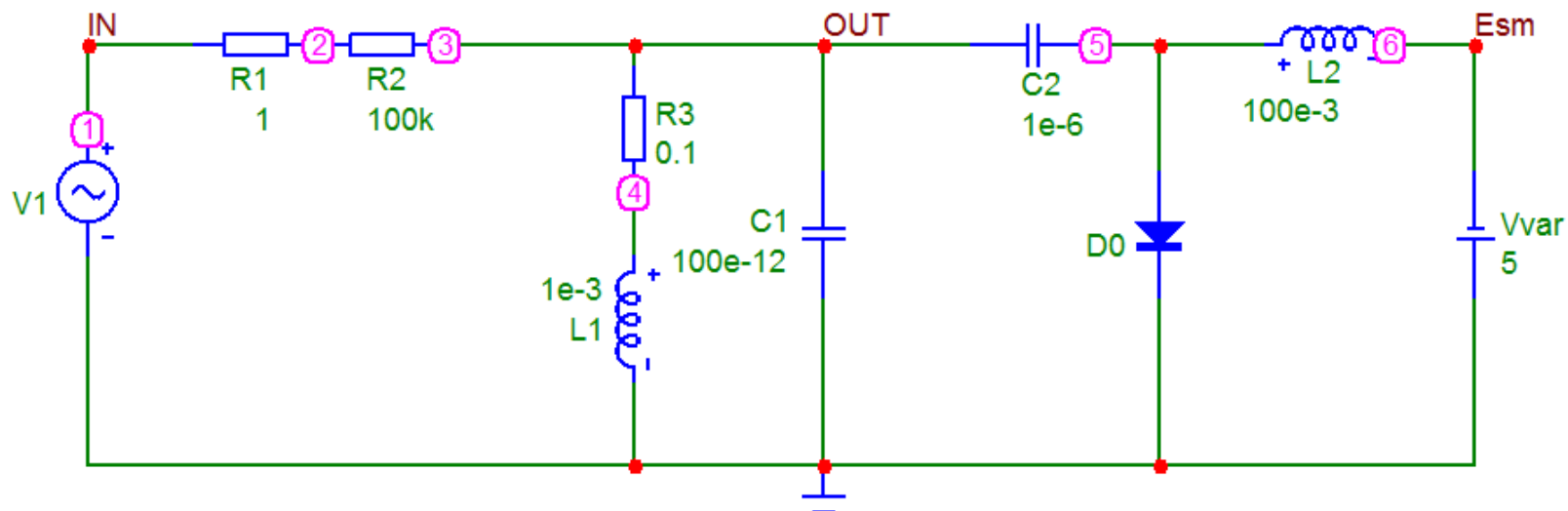


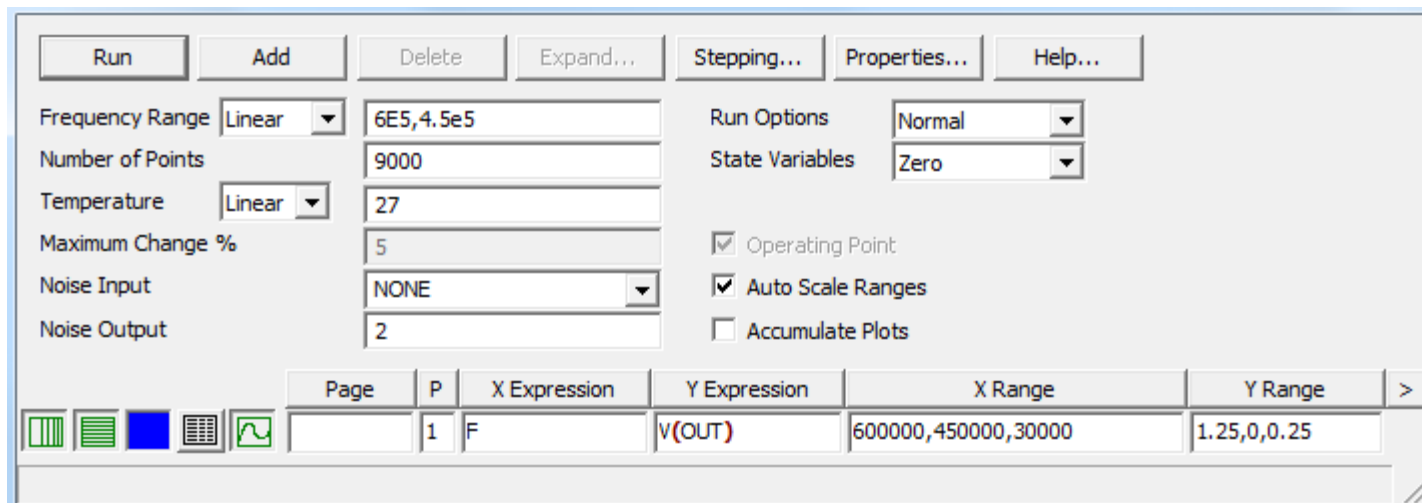
Схема экспериментального исследования ёмкости полупроводникового диода.



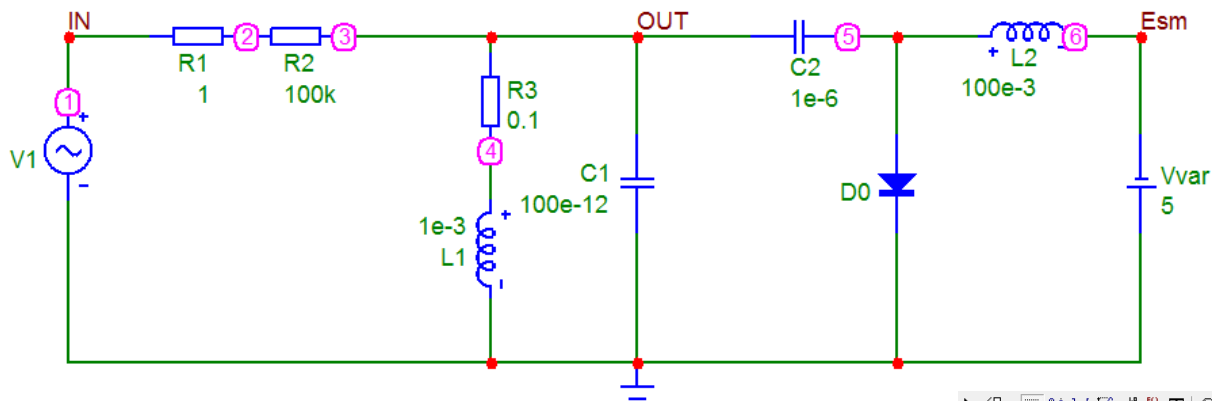
ВАРИКАПЫ



Пределы АС анализа в МСхх.



ВАРИКАПЫ



Результаты АС анализа в МСхх. Получение данных о резонансной частоте при заданном напряжении смещения на диоде Vvar

