

Раздел 7. Измерение параметров полупроводниковых приборов и интегральных микросхем (ИМС)

7.1. Измерение параметров диодов, стабилитронов, транзисторов. Измерение параметров ИМС

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДИОДОВ

К основным параметрам диодов и стабилитронов малой мощности, относятся:

- 1). Постоянное прямое напряжение диода при заданном постоянном прямом токе;
- 2). Постоянный обратный ток при заданном обратном напряжении;
- 3). Напряжение стабилизации (для стабилитронов) при протекании заданного тока стабилизации;
- 4). Емкость диода;
- 5). Дифференциальное сопротивление.

Свойства диодов на низких частотах достаточно полно определяют их вольт-амперные характеристики (ВАХ). При оценке параметров прямой ветви ВАХ целесообразно задавать постоянный ток $I_{пр}$ и изменять прямое падение напряжения $U_{пр}$. Это требование означает, что внутреннее сопротивление источника питания должно быть существенно больше сопротивления диода, чтобы изменение напряжения на диоде не вызывало изменений тока, выходящих за пределы заданной погрешности измерений, т.е. источник должен быть источником тока по отношению к диоду. Это условие должно выполняться при измерении напряжения на всех участках ВАХ, где дифференциальное сопротивление мало. При измерении параметров диода в области пробоя (в области стабилизации напряжения для стабилитронов) также следует задавать значение обратного тока $I_{обр}$ и определять обратное напряжение $U_{обр}$.

При измерении параметров обратной ВАХ диода, за исключением области пробоя, необходимо, чтобы источник питания, которым задается режим измерения, имел малое внутреннее сопротивление, так как в противном случае незначительные изменения обратного тока будут вызывать большую погрешность при измерении обратного напряжения.

На рисунках 2.9.1 и 2.9.2 приведены схемы измерения параметров прямой и обратной ветвей ВАХ маломощного диода.

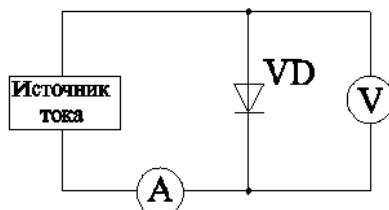


Рисунок 2.9.1 – Схема измерения параметров прямой ветви ВАХ диода

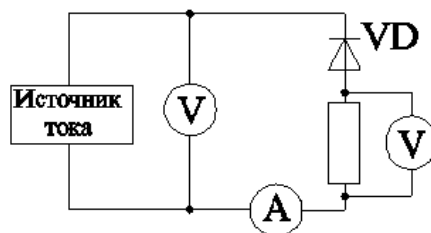


Рисунок 2.9.2 – Схема измерения параметров обратной ветви ВАХ диода

Стабилизированный источник постоянного тока обеспечивает дискретные значения прямого тока в диапазоне изменения прямого напряжения для испытываемого диода VD или обратного тока для стабилитрона. Измерение падения напряжения на диоде осуществляется цифровым вольтметром постоянного тока с высоким входным сопротивлением (от 10^6 до 10^9 Ом), а контроль дискретных значений тока – магнитоэлектрическим или цифровым амперметром. Падение напряжения на контактной системе в проводах, с помощью которых испытываемый диод подключается к измерительной цепи, не должно превышать значений от 1 до 2% от максимально возможного падения напряжения на диоде.

При измерении параметров обратной ветви диода стабилизированный источник напряжения подает на испытуемый диод VD заданные значения обратного напряжения, которые контролируются цифровым или магнитоэлектрическим вольтметром. Значение обратного тока диода измеряется цифровым микроамперметром постоянного тока. Обратный ток $I_{обр}$ можно измерить косвенным путем ($I_{обр} = U_0/R_0$), включив в цепь диода известное сопротивление R_0 , на котором цифровым вольтметром измеряется падение напряжения. При этом $R_0 \ll R_{обр}$.

Для оценки частотных свойств диодов снимают частотные характеристики $I_{выпр}(f)$ по схеме, приведенной на рисунке 2.9.3.

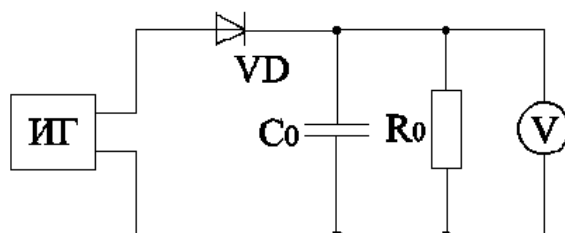


Рисунок 2.9.3 – Схема измерения частотных характеристик диодов

От измерительного генератора (ИГ) на испытуемый диод VD подводят переменное напряжение постоянной амплитуды различной частоты. Напряжение U_0 на резисторе R_0 , пропорциональное средневыпрямленному значению тока, измеряется при различных значениях частоты. Семейство частотных характеристик получается изменением значения сопротивления резистора R_0 . Измерение напряжения осуществляется высокоомным цифровым вольтметром постоянного тока. Значение емкости конденсатора C_0 выбирается таким, чтобы емкостное сопротивление при минимальной частоте испытательного напряжения было значительно меньше сопротивления резистора R_0 .

Вопросы для самопроверки:

1. Измерение параметров прямой ветви ВАХ диода.
2. Измерение частотных характеристик диода.
3. Измерение параметров обратной ветви ВАХ диода.

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТРАНЗИСТОРОВ

При работе на малых сигналах (сигнал считается малым, если при увеличении его амплитуды на 50% измеряемый параметр изменяется не более, чем на 10%) транзистор рассматривается, как линейный активный четырехполюсник в различных вариантах включения: с общей базой, с общим эмиттером и общим коллектором (рисунки 2.9.4, 2.9.5).

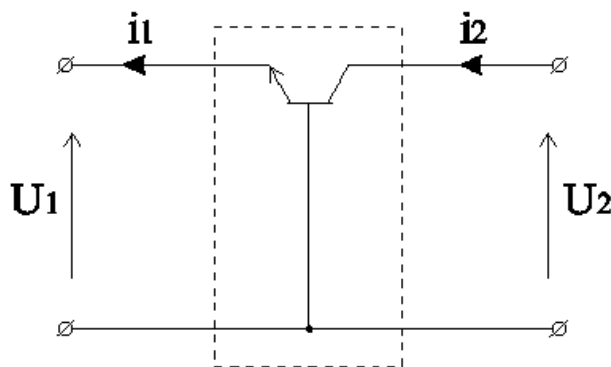


Рисунок 2.9.4 – Замена транзистора четырехполюсником,

где i_1 , U_1 - входные ток и напряжение; а i_2 , U_2 – выходные ток и напряжение соответственно.

Если за независимые переменные выбрать i_1 и U_2 , то получим систему уравнений, описывающих четырехполюсник с использованием h-параметров:

$$\begin{aligned} U_1 &= i_1 h_{11} + U_2 h_{12}; \\ i_2 &= i_1 h_{21} + U_2 h_{22}, \end{aligned}$$

где $h_{11} = U_1/i_1$ - входное сопротивление при $U_2 = 0$ (короткое замыкание на выходе);

$h_{12} = U_1/U_2$ - коэффициент обратной связи по напряжению при $i_1 = 0$ (холостой ход на входе);

$h_{21} = i_2/i_1$ - коэффициент обратной связи по току при $U_2 = 0$;

$h_{22} = i_2/U_2$ - выходная проводимость при $i_1 = 0$.

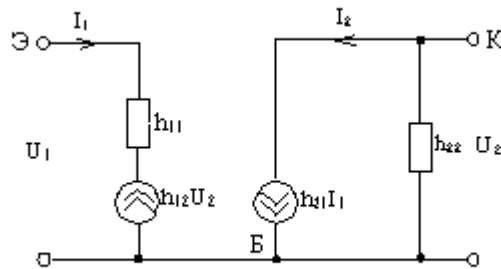


Рисунок 2.9.5 – Эквивалентная схема транзистора с использованием h-параметров

Холостой ход (х.х.) цепи означает, что входная цепь представляет для переменного тока i_1 бесконечно большое сопротивление, т.е. $i_1 = 0$.

Под коротким замыканием (к.з.) понимается цепь с таким малым сопротивлением, что дальнейшее уменьшение его не влияет на результат измерения.

Испытателем Л2-54 можно измерить параметры h_{22} , $h_{21б}$, $h_{21е}$, обратный ток коллектора $I_{сво}$, а также можно проверить наличие к.з. между коллектором и эмиттером испытуемого транзистора.

Обратный ток коллектора $I_{сво}$ проходит через обратно смещенный коллекторный переход и измеряется при отключенном выводе эмиттера. Величина $I_{сво}$ зависит от свойств, применяемого полупроводникового материала и температуры. Для хорошей работы транзистора желательно иметь как можно меньшую величину $I_{сво}$. Для маломощных транзисторов $I_{сво}$ составляет от 10 до 20 мкА. Транзисторы средней и большой мощности имеют значение $I_{сво}$ от 400 до 500 мкА.

Вопросы для самопроверки:

1. Эквивалентная схема транзистора с использованием h-параметров.
2. Пояснить понятия: холостой ход и короткое замыкание.
3. h-параметры транзистора.

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИМС

Все существующие интегральные схемы (ИС) по степени интеграции подразделяются на:

- ИС малой интеграции (МИС) с числом элементов от 10 до 20 (вентили, транзисторные сборки);
- ИС средней интеграции (СИС) с числом элементов от 100 до 200 (счетчики, регистры);
- большие ИС (БИС) с числом элементов до десятков тысяч (запоминающие устройства, микропроцессоры).

По функциональному назначению ИС делятся на:

- аналоговые (линейные) ИС - предназначены для преобразования и обработки сигналов, изменяющихся по закону линейной функции;
- цифровые (логические) ИС - предназначены для преобразования и обработки сигналов, изменяющихся по закону дискретной функции.

Интегральные схемы подвергаются испытаниям трех типов:

- 1). Статические – на постоянном токе (ток утечки, потребляемая мощность, напряжение пробоя, напряжения логического нуля и единицы);
- 2). Функциональные (логические), которые подтверждают, что интегральная схема выполняет свои функции;
- 3). Динамические, состоящие из измерения временных интервалов (время выборки из памяти, хранения, нарастания и спада).

Цифровые ИС (ЦИС) реализуют логические функции И, ИЛИ, НЕ и их комбинации. Условные графические обозначения элементов И, ИЛИ, НЕ приведены на рисунке 2.9.6.

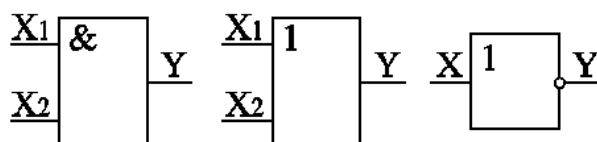


Рисунок 2.9.6 – Условные графические обозначения элементов И, ИЛИ, НЕ

Цифровые ИС характеризуются большим количеством статических и динамических параметров.

Основными статическими параметрами цифровых ИС являются:

- уровни выходных напряжений, соответствующих значениям логических «1» $U'_{\text{вых}}$ и «0» $U^{\circ}_{\text{вых}}$;
- входные и выходные токи, соответствующие значениям логических «1» $I'_{\text{вх}}, I'_{\text{вых}}$ и «0» $I^{\circ}_{\text{вх}}, I^{\circ}_{\text{вых}}$;
- статическая помехоустойчивость;
- коэффициент разветвления по выходу.

Под напряжением логического нуля ЦИС понимают значение низкого уровня напряжения для "положительной" логики и значение высокого уровня для "отрицательной" логики. Напряжение логического тока определяется конечным значением высокого уровня для "положительной" логики и низкого уровня - для "отрицательной" логики.

Основными динамическими параметрами ЦИС являются:

- время задержки включения $t_{з10}$;
- время задержки выключения $t_{з01}$;
- время задержки распространения сигнала при включении $t_{зр10}$;
- время задержки распространения сигнала при выключении $t_{зр01}$;
- среднее время задержки, которое характеризует быстродействие ЦИС:

$$t_{з.р.ср} = (t_{з.р.10} + t_{з.р.01})/2$$

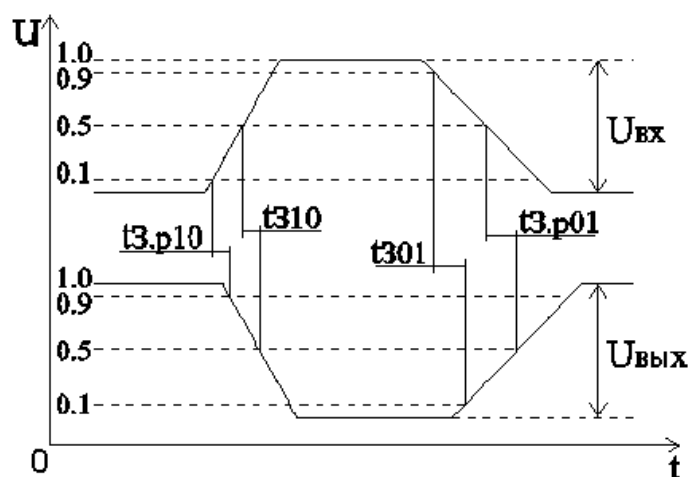


Рисунок 2.9.7 – Физический смысл основных динамических параметров ЦИС

Вопросы для самопроверки:

1. Классификация интегральных схем.
2. Статические параметры ЦИС.
3. Статические, динамические и функциональные испытания.
4. Динамические параметры ЦИС.