

ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ
ЭЛЕКТРОРАДИОНЕДЕЛИИ

Методические указания
к лабораторной работе

Самара 1991

Составители: В.А.Капитонов,
Н.Г.Черносорови

УДК 681.3:685.9:681.3

Диагностический неразрушающий контроль электрорадио-
изделия: Метод, указания к лаборатор. работе/Куликов
В.И.и др. -Сост.: В.А.Капитонов, Н.Г.Черносорови; Кул-
ков В.И., 1991. 16 с.

рассмотрены методы, технические средства и техноло-
гия диагностического неразрушающего контроля полупроводни-
ковых приборов и интегральных микросхем. Изложена методи-
ка выбора критериев отбраковки потенциально некачественных из-
делий. Работа 1 предусматривает изучение технологии диагнос-
тического контроля ИМС ИС, работа 2 - исследование метода
диагностики биполярных транзисторов в динамическом режиме
питания.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Жесткие требования, предъявляемые к системам авиационной электроники, определяют необходимость высокой надежности комплектующих электrorадиоизделий (ЭРИ). Отказы ЭРИ могут быть вызваны конструктивными, производственно-технологическими и эксплуатационными факторами. По характеру проявления отказы можно разделить на внезапные (катастрофические) и постепенные (параметрические). Внезапные отказы обусловлены грубыми дефектами в материалах и конструкциях ЭИ, нарушениями технических условий. Постепенные (параметрические) отказы вызваны деструктивными и деструктурными процессами (коррозия, диффузия, электроперенос и т.п.) и проявляются в дрейфе параметров и уходе их за пределы норм. Доля внезапных и постепенных отказов является относительным, по мере развития технологии причины возникновения внезапных отказов могут быть в значительной мере устранены, тогда как постепенные, отражающие внутренние свойства материалов ЭИ, в принципе, искоренить невозможно. Эффективным средством повышения надежности ЭРИ является выявление потенциально ненадежных экземпляров методами неразрушающего диагностического контроля и их отбраковка. Целью применения методов диагностического неразрушающего контроля является выявление скрытых дефектов ЭРИ, параметры которых на момент контроля соответствуют нормам ТУ. Режимы измерений параметров диагностического контроля не должны превышать допустимых значений, указанных в ТУ на проверяемые элементы.

Обычно под неразрушающим контролем понимают такой, при котором имеет место незначительная энтропия структуры ЭРИ и не наблюдается необратимых изменений свойств и характеристик изделий, а также ускорения процессов старения.

Все методы неразрушающего контроля можно разделить на локальные - основанные на использовании проникающих излучений различного характера и интегральные, использующие измерение электрофизических

параметров контролируемых структур. Наибольшее распространение из методов второй группы получили основанные на измерении величинных показателей, избыточных шумов, токов утечек, термоэлектрических, вольт-фарадных и динамических характеристик.

На этапе входного контроля локальные методы неразрушающего контроля использовать сложно, а иногда невозможно из-за отсутствия доступа к рабочему телу ЭИД, поэтому будут рассмотрены только интегральные методы неразрушающего диагностического контроля.

Лабораторная работа I

ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ ЦИФРОВЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ К-НОИ И КРОСКИМ

Цель работы - изучение методов технологии и средств отработки потенциально ненадежных цифровых интегральных схем (ИС).

Задания:

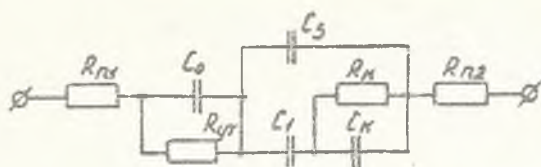
1. Для выборки ИС серии 564 экспериментально определить значеная длительностей фронтов импульсов на выходе при предельных пониженных напряжениях питания.
2. Провести отбор ИС повышенной надежности по описанным в работе статистическим критериям.

Теоретические сведения

Причинами возникновения отказов, включая любые отклонения параметров от установленных норм, в этих изделиях являются дефекты, определяющие деградационные процессы под воздействием дестабилизирующих факторов (климатических, электрических, механических и т.д.). Решение задач раннего обнаружения скрытых и потенциальных дефектов невозможно без установления связей между дефектами, механизмами их развития, отказами и предвестниками их появления - информативными параметрами.

В основу рассматриваемого метода диагностического контроля К-НОИ ИС положена установленная связь динамических параметров - длительностей переднего $t_{\text{ф}}^+$ и заднего $t_{\text{ф}}^-$ фронтов импульса на их вы-

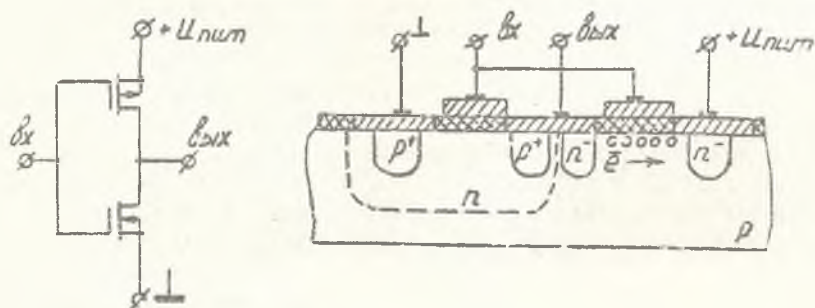
ходе, с дефектами кристалла, окислов и металлизации, приводящими к развитию деградационных процессов в полупроводниковой структуре. Понижение напряжения питания ИС усиливает механизм влияния дефектов на динамические параметры МОП ИС, что поясняется путем представления ее базового элемента в виде ИС-структуры с распределенными параметрами (рис. 1). Элементы схемы замещения: сопротивление контакта и металлизации R_{M1} , емкость подзатворного диэлектрика C_0 , емкость области про-



Р и с. 1

странственного заряда C_3 , цепь $R_K C_K$, учитывающая ток смещения через диэлектрик на соседние высокопроводящие области канала, крайние емкости C_1 , сопротивление контакта и металлизации стока R_{M2} - определяются состоянием соответствующих областей МОП-структуры и приложенными напряжениями. Переходные процессы, обусловленные ими, в свою очередь, определяют задержку сигналов и "затягивание фронтов".

Кроме того, рекомбинация носителей в потенциальной яме подзатворной области открытого транзистора комплиментарной пары (базового элемента К-МОП ИС на рис. 2) на дефектах и примесях, а также переза-



Р и с. 2

рядка дефектов в канале в моменты прихода фронта и спада импульса увеличивает время исчисления и рассеивания пространственного заряда, что и приводит к отклонению динамических параметров от нормы. Понижение напряжения питания до предельных уровней уменьшает дрейфовую составляющую тока до значения, сравнимого со значением рекомбинационной составляющей, что усиливает влияние дефектов структуры на динамические параметры.

Критерии отбраковки базируются на следующих концепциях:

При стабильном технологическом процессе значения параметров ИС соответствуют технологически predetermined области (первый критерий):

зависимость диагностических параметров от тестовых условий сохраняется для всех экземпляров ИС (второй критерий).

По первому критерию микросхемы повышенной надежности имеют значения коммерческих параметров по всем диагностическим тестам в границах

$$M_i - \sigma_i < t_{xi} < M_i + \sigma_i, \quad (1)$$

где t_{xi} - значение параметра A -й микросхемы в i -м тесте; i - номер диагностического теста ($i=1, \dots, n$); M_i - математическое ожидание диагностического параметра в i -м тесте; σ_i - минимальное значение среднеквадратичного отклонения, определенное по результатам теста.

При отборе по второму критерию для каждой ИС, удовлетворяющей условию (1), сравниваются значения, полученные в каждом диагностическом тесте с соответствующими значениями этого же параметра, полученными на других тестах:

$$|t_{xi} - t_{xj}| < \Delta_{loc} = |M_i - M_j|, \quad (2)$$

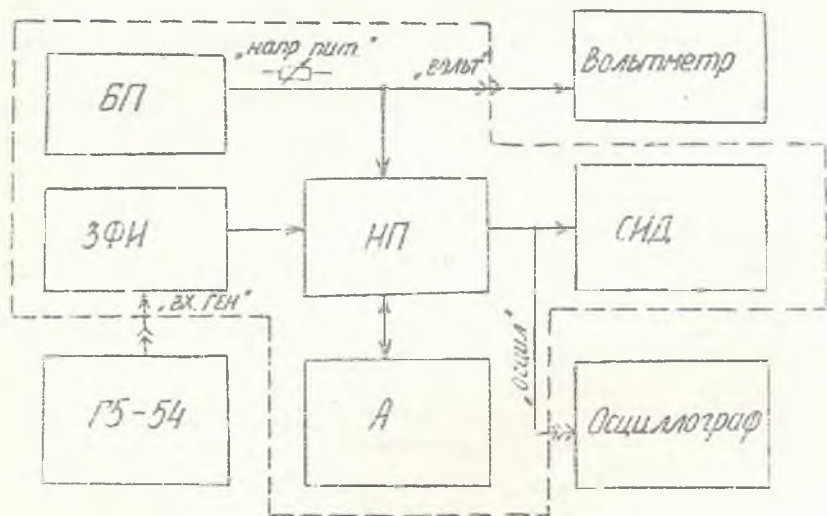
где t_{xj} - значение параметра A -й ИС в j -м тесте ($j=1, \dots, n, j \neq i$); Δ_{loc} - погрешность средства измерения параметров.

В соответствии с принятой диагностической моделью ИС, отвечающие критериям (1), (2), отличаются повышенной надежностью.

Уточнение норм или отбраковочных уровней проводится по результатам испытаний изделия, прошедших диагностический контроль на надежность, или физико-химического анализа их структуры с вскрытием и зарезкой.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Функциональная схема экспериментальной установки представлена на рис. 3. Установка состоит из задатчика-формирователя входных тестовых комбинаций импульсов (ЗФИ), на вход которого поступает импульсы опорной частоты 10 кГц с генератора Г5-54, стабилизированного бло-



Р и с. 3

ка питания (БП), напряжение которого регулируется переменным резистором "Напр.пит." и контролируется внешним вольтметром, подключаемым к гнездам "Вольт.", схемы измерения и индикации длительностей чरणгов (СИД), наборного поля (НП), служащего для коммутации выводов исследуемой ИС с блоками устройства и адаптера (А) для подключения микросхемы. К гнездам "Осцил." подключается вход осциллографа для контроля формы импульсов. При запуске устройства на входы ИС в соответствии с коммутацией наборного поля подается комбинация импульсов, наиболее полно задействующая структуру микросхемы.

Напряжение питания ИС понижается до значения порогового напряжения ее базовых элементов или значения, при котором форма импульсов начнет искажаться и по индикатору на передней панели производится подсчет значений времени задержки срабатывания по переднему и заднему фронтам.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Получить у преподавателя выборку ИС.
2. Ознакомиться со справочными данными ИС.
3. Ознакомиться с экспериментальной установкой.
4. Включить приборы в сеть и прогреть их.
5. Установить в адаптер соответствующую микросхему, учитывая расположение ключа на корпусе.
6. Вращая ручку "Напр.пит.", задать уровень напряжения питания, равный пороговому напряжению базового элемента данной ИС.
7. Переключатель "ЭФ-1Ф" поставить в положение "ЭФ". Провести отсчет информативного параметра по заднему фронту импульса.
8. Переключатель "ЭФ-1Ф" поставить в положение "1Ф". Провести отсчет значения информативного параметра по переднему фронту.
9. Повторить пп. 5-8 для всех экземпляров ИС выборки.
10. Провести статистическую обработку результатов измерений (рассчитать $M(t_{\Phi}^-)$, $M(t_{\Phi}^+)$, $\sigma(t_{\Phi}^-)$, $\sigma(t_{\Phi}^+)$). На основе расчетов произвести отбор ИС повышенной надежности по критериям (1), (2), принимая значение $n = 2$ и соответственно $t_{\alpha 1} = t_{\alpha p}^*$, $t_{\alpha 2} = t_{\alpha p}^*$, $M_1 = M(t_{\Phi}^-)$, $M_2 = M(t_{\Phi}^+)$, $\sigma_1 = \sigma(t_{\Phi}^-)$.
11. Сформулировать основные выводы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что понимается под диагностическим неразрушающим контролем (ДНК)?
2. Что понимается под внезапным отказом ЭИИ?
3. Как классифицируются методы ДНК?
4. Причины и механизмы отказов ЭИИ.
5. Заков механизмом выявления дефектов К-МОИ ИС на их динамические параметры?
6. Основание диагностирования К-МОИ ИС при пониженном напряжении питания.
7. Критерии отбора ИС повышенной надежности.
8. Принцип действия экспериментальной установки.

Библиография, русский список

Оценочные качества ГСМ методами диагностики и прогнозирования
ИИИ, 1984, т. 3, с. 10-11.
ИИИ, 1984, т. 3, с. 10-11.
ИИИ, 1984, т. 3, с. 10-11.

Технология СВИС: В 2-х кн. Кн.2: Пер. с англ. Под ред. С.Эи.
М.: Мир, 1986.

Глудкин О.И., Черняев В.Н. Анализ и контроль технологических процессов производства РЭА: Учеб. пособие для вузов. М.: Радио и связь, 1983.

Лабораторная работа 2

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА И НАДЕЖНОСТИ БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

Ц е л ь р а б о т ы - изучение методов, технических средств, технологии и принципов определения критериев отбраковки биполярных транзисторов.

З а д а н и я:

1. Для заданной выборки транзисторов провести измерения значений диагностических (информативных) параметров.
2. На основе статистической обработки определить отбраковочные (пороговые) уровни информативных параметров.
3. провести отбраковку транзисторов по установленным пороговым уровням информативных параметров.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Оценку качества биполярных транзисторов проводят по различным электрическим параметрам, таким как коэффициенты передачи тока для прямого и инверсного включения, обратные токи $r-l$ -переходов, емкости $r-l$ переходов, граничная частота коэффициента передачи тока и т.д.

Все эти параметры в конечном итоге определяют эксплуатационные возможности транзисторов. Однако каждый вид электрических параметров требует при отбраковке индивидуальной методики контроля, отдельного оборудования и рабочего места. Поэтому часто в целях снижения трудоемкости и затрат отбраковку проводят по одному электрическому параметру. Очевидно, такой контроль не является адекватным реальной картине поведения транзистора на заданных частотных и пороговых режимах и не позволяет выявить все скрытые дефекты, определяющие потенциальную надежность элемента.

Задача комплексной оценки качества и надежности биполярных транзисторов может быть решена на основе использования новых свойств транзистора, проявляющихся при питании того от источника высокочастотного напряжения. При этом токи переходов транзистора описываются уравнениями

$$i_K = I_{K\beta} \gamma_\beta(t) + I_{0K} \gamma_K(t) + C_{dK\beta}(U_\beta) \frac{dU_\beta}{dt} - [C_{dK}(U_K) + C_{\beta K}(U_K)] \frac{dU_K}{dt},$$

$$i_\beta = I_{\beta\beta} \gamma_\beta(t) + I_{\beta K} \gamma_K(t) + C_{d\beta K}(U_K) \frac{dU_K}{dt} + [C_{\beta\beta}(U_\beta) + C_{d\beta}(U_\beta)] \frac{dU_\beta}{dt},$$

где $I_{\beta\beta}$, $I_{\beta K}$, I_{0K} , $I_{K\beta}$ - коэффициенты, имеющие размерность тока, определяемые структурой и ее дефектами и не зависящие от приложенных напряжений; $C_{dK}(U_K)$, $C_{d\beta}(U_\beta)$ - диффузионные емкости коллекторного и эмиттерного переходов; $C_{\beta K}(U_K)$, $C_{\beta\beta}(U_\beta)$ - барьерные емкости соответствующих переходов; $C_{dK\beta}(U_\beta)$ - диффузионная емкость коллекторного перехода с учетом влияния напряжения на эмиттерном переходе; $C_{d\beta K}(U_K)$ - диффузионная емкость эмиттерного перехода с учетом влияния напряжения на коллекторном переходе.

Соответствующие диффузионные емкости находятся из выражений

$$C_{dK}(U_K) = C_{0K} \cdot e^{\gamma_K(t)}; \quad C_{dK\beta}(U_\beta) = C_{0K\beta} \cdot e^{\gamma_\beta(t)};$$

$$C_{d\beta}(U_\beta) = C_{0\beta} \cdot e^{\gamma_\beta(t)}; \quad C_{d\beta K}(U_K) = C_{0\beta K} \cdot e^{\gamma_K(t)},$$

где C_{0K} , $C_{0\beta}$, $C_{0K\beta}$, $C_{0\beta K}$ - коэффициенты, имеющие размерность емкости, определяемые структурой переходов и ее дефектами;

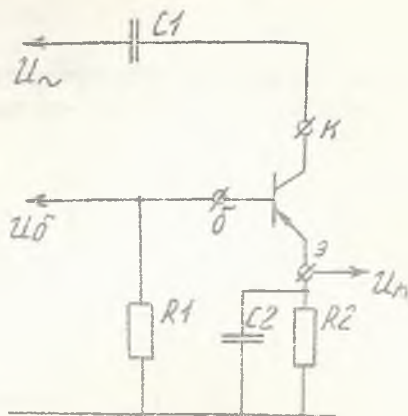
$$\gamma_\beta(t) = \frac{U_\beta(t)}{\varphi_T}; \quad \gamma_K(t) = \frac{U_K(t)}{\varphi_T};$$

$$\gamma_\beta(t) = e^{\gamma_\beta(t)} - 1; \quad \gamma_K(t) = e^{\gamma_K(t)} - 1,$$

где φ_T - температурный потенциал.

Установлено, что вольт-амперная характеристика (ВАХ) дрейфового биполярного транзистора при питании от источника переменного напряжения (рис.1), начиная с некоторой частоты, имеет \mathcal{S} -образный вид и явно выраженную гистерезисную зону (рис.2). С увеличением амплитуды высокочастотного напряжения до значения $U_{\beta 1}$ ток в цепи эмиттера скачком возрастает от $I_{\beta 1}$ до $I_{\beta 2}$ и далее изменяется пропорционально амплитуде переменного напряжения питания. Последующее умень-

дение амплитуды напряжения сопровождается пропорциональным уменьшением тока и при некотором пороговом значении U_{2} скачком меняется от значения I_{33} до I_{34} . В соответствии с ходом ВАХ скачкообразно меняются напряжения U_5 , U_6 (рис. 3). Контроль токов и напряжений в характерных точках ВАХ в динамическом режиме питания позволяет обобщенно оценить дрейфовые и барьерные емкости переходов, обратные токи и коэффициенты передачи в прямом и инверсном включении, а также диагностировать скрытые дефекты путем сравнения полученных значений с аналогичными для бездефектных структур.



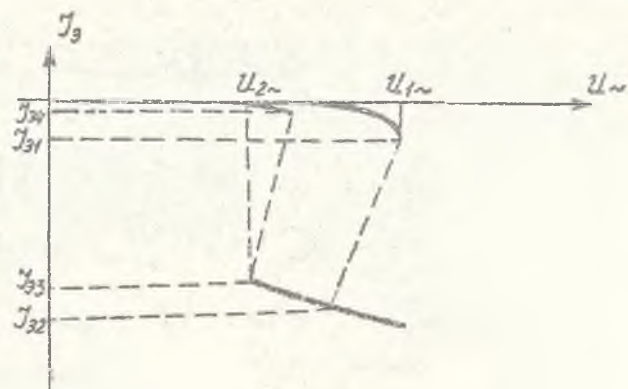
Р и с. I

Так как при наличии в транзисторе явных дефектов (обрывов выводов и коротких замыканий переходов) исчезает S -образная характеристика и соответственно исчезают скачки напряжений U_5 , U_6 обнаружить такие дефекты также можно в процессе контроля.

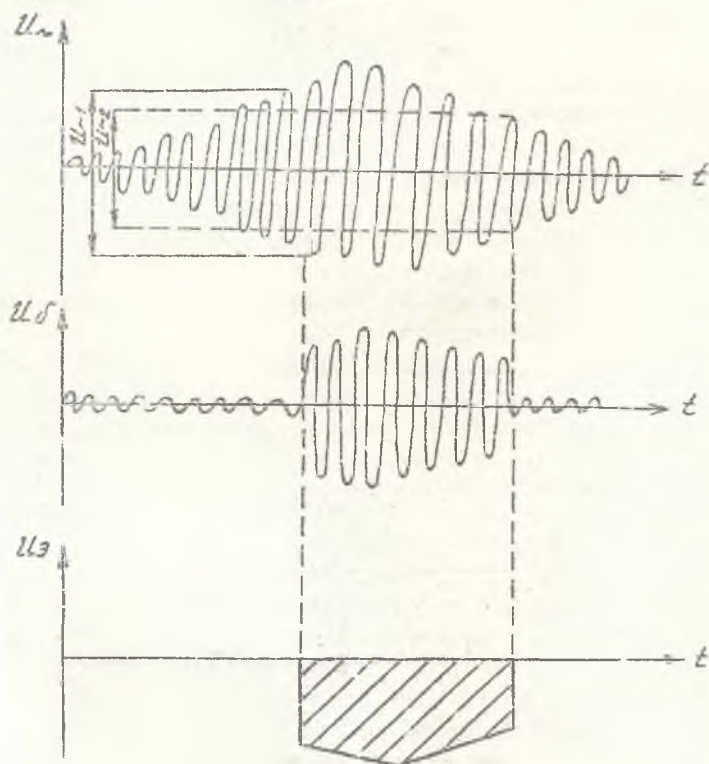
Отбраковочные уровни токов и напряжений в характерных точках динамической ВАХ устанавливаются на основе анализа статистических параметров распределения, например, по правилу "трех сигм", или путем сравнения с бездефектными аналогами. Уточнение отбраковочных уровней диагностических параметров проводится на основе испытаний на надежность в номинальных или форсированных режимах (ускоренные испытания) по критерию минимальной вероятности ошибочных решений.

$$P_{ош} = \frac{n(\text{реш } K1/K2) + n(\text{реш } K2/K1)}{n}$$

где $n(\text{реш } K1/K2)$ - число ошибочных решений об отнесении экземпляров класса $K2$ (дефектных) в класс $K1$ (годных), т.е. число фактически отказавших в процессе испытаний экземпляров, ошибочно отнесенных к годным при заданном отбраковочном уровне; $n(\text{реш } K2/K1)$ - число экземпляров, отбракованных при заданном отбраковочном уровне, но успешно прошедших испытания.



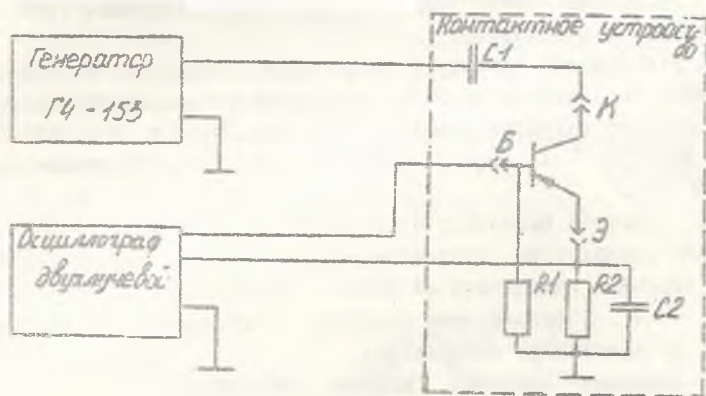
Р и с. 2



Р и с. 3

Описание установки

Функциональная схема экспериментальной установки приведена на рис. 4. Контактное устройство служит для подключения исследуемого



Р и с . 4

транзистора и содержит фильтр $R2, C2$ для сглаживания постоянной составляющей тока эмиттера, резистор $R1$ в цепи базы и емкость связи $C1$. Высоочастотное переменное напряжение питания на коллектор исследуемого транзистора подается через емкость $C1$ с генератора с встроенным индикатором амплитуды. Переменное напряжение U_B с резистора $R1$, постоянная составляющая напряжения с фильтра U_E подается на входы двухлучевого осциллографа. В целях снижения трудоемкости в работе в качестве информативного параметра используется ширина гистерезисной зоны ВАХ ($\Delta U_2 = U_{2m} - U_{2n}$). Отсчет значений U_{2m} , U_{2n} производится по встроенному индикатору генератора соответственно в моменты скачкообразного отпирания и запираания транзистора, фиксируемые по перепадам напряжений U_B и U_E на экране осциллографа (см. рис. 3).

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Получить у преподавателя выборку транзисторов.
2. Ознакомиться со справочными данными исследуемого типа транзисторов.

3. Ознакомиться с экспериментальной установкой.

4. Включить приборы в сеть и после прогрева установить частоту 2 МГц и начальную амплитуду напряжения на коллекторе 500 мВ по индикаторам генератора, а также соответствующие положения переключателей "V/дел" и "время/дел" осциллографа.

5. Установить исследуемый транзистор в контактное устройство в соответствии с цоколевкой.

6. Увеличивать амплитуду переменного напряжения на коллекторе от начального значения до лавинообразного отпирания транзистора, признаком которого являются скачки напряжений U_3 и U_5 от U_{31} и U_{51} до U_{32} и U_{52} . Зафиксировать соответствующее значение $U_{н1}$.

7. Уменьшить амплитуду переменного напряжения на коллекторе до запираания транзистора, признаком которого служат соответствующие обратные перепады напряжений на экране осциллографа от U_{33} , U_{53} до U_{34} , U_{54} . Зафиксировать значение амплитуды напряжения запираания $U_{н2}$ по индикатору генератора.

8. Вычислить значение "ширины" гистерезисной зоны:

$$\Delta U_{н} = U_{н1} - U_{н2}.$$

9. Провести статистическую обработку результатов (определить выборочное среднее $\Delta \tilde{U}_{н}$, среднеквадратичное отклонение $\sigma(\Delta U_{н})$ границы доверительного интервала:

$$m(\Delta U_{н}) = \Delta \tilde{U}_{н} = t_{\alpha} \frac{\sigma(\Delta U_{н})}{\sqrt{n}}; \quad \alpha = 0,95.$$

10. Установить уровни отбраковки:

$$\Delta U_{н \text{ отбр}} = m(\Delta U) \pm 3\sigma(\Delta U_{н}).$$

11. Экземпляры, значения информативного параметра $\Delta U_{н}$ которых выходят за пределы отбраковочных уровней, отнести к потенциально ненадежным.

12. Сформулировать основные выводы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Цели и задачи диагностического неразрушающего контроля.

2. Что понимается под параметрическим отказом ЭРП?

3. Что понимается под диагностическим (информативным) параметром?
4. Методы контроля качества биполярных транзисторов, их достоинства и недостатки.
5. Связь ВАХ в динамическом режиме питания транзистора с его статическими и динамическими параметрами.
6. Причины возникновения S-образной ВАХ в транзисторе.
7. Обосновать связь вида ВАХ в динамическом режиме питания транзистора с дефектами его структуры.
8. Порядок определения и уточнения отбраковочных уровней информативных параметров.
9. Принцип действия экспериментальной установки.

Библиографический список

Чернышев А.А. Основы надежности полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. М.: Радио и связь, 1988.

Дмитриев В.Д. Динамические вольтамперные характеристики транзисторов и их использование в построении элементов памяти и логики // Устройства, элементы и методы комплексной микроминиатюризации РЭА/Казан. авиац. ин-т. Казань, 1981.

Чернобровин И.Г., Иганов М.Н., Дмитриев В.Д. Методика отбраковочных испытаний полупроводниковых приборов // Повышение эффективности испытаний приборных устройств. М., 1989.

ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ
ЭЛЕКТРОРАДИОИЗДЕЛИЙ

Составители: К а п и т о н о в Валерий Алексеевич,
Ч е р н о б р о в и н Николай Григорьевич

Редактор Е.Д.А н т о н о в а
Техн.редактор Н.М.К а л е н ю к
Корректор Н.С.К у п р я н о в а

Подписано в печать 17.06.91. Формат 60x84¹/16.
Бумага оберточная. Печать оперативная. Усл.п.л. 0,93.
Усл.кр.-отт. 1,0. Уч.-изд.л. 0,90. Тираж 100 экз.
Заказ 150 Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С.П.Королева.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

Часть оперативной полиграфии Куйбышевского
авиационного института. 443001 Самара, ул.Ульяновская, 18.