

## ТРАНЗИСТОРЫ БИПОЛЯРНЫЕ

Метод измерения емкостей коллекторного  
и эмиттерного переходовTransistors bipolar. Method for measuring collector  
and emitter capacitances

ГОСТ

18604.3—80\*

(СТ СЭВ 3999—83)

Взамен

ГОСТ 18604.3—73

ОКП 62 2312

Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 4 июля  
1980 г. № 3392 срок действия установлен

с 01.01.82

до 01.01.87

Несоблюдение стандарта преследуется по закону

Настоящий стандарт распространяется на биполярные транзисторы и устанавливает метод измерения емкостей коллекторного  $C_k$  и эмиттерного  $C_\varepsilon$  переходов.

Общие требования при измерении должны соответствовать ГОСТ 18604.0—83 и требованиям, изложенным в соответствующих разделах настоящего стандарта.

Стандарт полностью соответствует СТ СЭВ 3999—83.

(Измененная редакция, Изм. № 1).

## 1. ПРИНЦИП И УСЛОВИЯ ИЗМЕРЕНИЯ

1.1. При измерении емкостей  $C_k$  и  $C_\varepsilon$  используют метод резистивно-емкостного делителя, в котором измеряется падение напряжения на токоъемном резисторе, пропорциональное измеряемой емкости.

1.2. Частоту измерения, постоянное напряжение источника питания транзистора указывают в стандартах или технических условиях на транзисторы конкретных типов (далее — стандартах).

Частоту измерения выбирают из ряда: 465 кГц, 5, 10, 30, 100, 300 МГц.

1.3. Измерения производят на малом переменном сигнале. Амплитуду сигнала считают достаточно малой, если при уменьшении амплитуды сигнала генератора в два раза значение измеряемого

Издание официальное

Перепечатка воспрещена

★

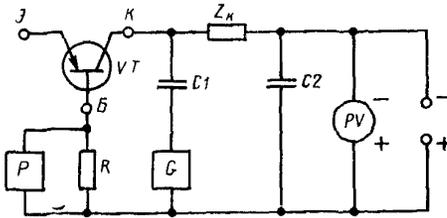
\* Переиздание (декабрь 1985 г.) с Изменением № 1,  
утвержденным в апреле 1984 г. (ИУС 8—84).

параметра изменяется менее чем на значение погрешности измерительной установки.

## 2. АППАРАТУРА

2.1. Емкость  $C_K$  следует измерять на установке, структурная электрическая схема которой приведена на черт. 1. Емкость  $C_\Sigma$  измеряют по этой же схеме, при этом эмиттер и коллектор меняют местами.

Применяют схему измерения  $C_K$ , которая отличается от схемы черт. 1 тем, что генератор сигналов  $G$  и электронный измеритель напряжения  $P$  меняют местами, при этом токосъемный резистор переносят в цепь коллектора.



$VT$ —измеряемый транзистор,  $ZK$ —полное сопротивление для развязки,  $C1$ ,  $C2$ —конденсаторы,  $P$ —электронный измеритель напряжения,  $R$ —токосъемный резистор,  $G$ —генератор сигналов  
 $PV$ —измеритель напряжения

Черт 1

2.2. Сопротивление токосъемного резистора выбирают из соотношения

$$R \leq \frac{1}{10\omega C},$$

где  $C$  — емкость измеряемого перехода,  
 $\omega$  — угловая частота измерения.

В качестве токосъемного элемента может быть использовано входное сопротивление электронного измерителя напряжения (далее — прибора  $P$ ).

2.3. Разделительную емкость конденсатора  $C1$  выбирают из соотношения

$$\frac{1}{\omega C_1} \leq \frac{R_{\text{вых}G}}{10},$$

где  $R_{\text{вых}G}$  — выходное сопротивление генератора сигналов.

Конденсатор  $C1$  отсутствует в схеме черт. 1, если генератор  $G$  имеет на выходе собственную разделительную емкость.

2.4. Выходное сопротивление генератора сигналов выбирают из соотношения

$$R_{\text{вых } g} < \frac{1}{10\omega C_K}$$

2.5. Емкость блокировочного конденсатора  $C_2$  выбирают из соотношения

$$\frac{1}{\omega C_2} < \frac{|Z_K|}{100},$$

где  $Z_K$  — полное сопротивление, предотвращающее замыкание генератора сигналов через источник питания.

В качестве  $Z_K$  может быть использован резистор, индуктивность или резонансный контур, настроенный на частоту измерения.

2.6. Активную составляющую полного сопротивления в цепи коллектора  $Re(Z_K)$  выбирают из соотношения

$$Re(Z_K) < \frac{U_K}{100I_{\text{КБО}}},$$

где  $U_K$  — напряжение источника питания коллектора;

$I_{\text{КБО}}$  — обратный ток коллектора, указывают в стандартах.

2.7. При измерении СВЧ транзисторов допускается:

соединять вывод корпуса  $VT$  с корпусом схемы измерения (с землей), если имеется изолированный корпусной вывод и ни один из электродов транзистора не соединен с корпусом;

применять прибор  $P$  с входным сопротивлением, равным стандартному волновому сопротивлению 50 или 75 Ом. При этом токо-съемным элементом, с которого снимают напряжение, пропорциональное измеряемой емкости, является параллельное соединение резистора  $R$  и входного сопротивления прибора  $P$ ;

выбирать активную составляющую полного сопротивления  $Re(Z_K)$ , равную стандартному волновому сопротивлению 50 или 75 Ом;

применять многопредельный прибор  $P$ . При этом отсчет измеряемой емкости производят с учетом коэффициента соответствующего пересчета со шкалы, на которой проводилась калибровка, к шкале, на которой проводилось измерение;

в качестве токо-съемного элемента использовать конденсатор, значение емкости которого должно быть не менее чем в 100 раз больше емкости измеряемого перехода. При этом токо-съемную емкость шунтируют резистором, значение сопротивления которого  $R_{\text{ш}}$  выбирают из соотношения

$$I_{\text{КБО}} \cdot R_{\text{ш}} \ll U_K$$

2.8. Уровень наводок прибора  $P$ , вызванных пульсацией напряжения источника питания транзистора  $VT$ , а также внутренними

и внешними наводками в схеме при отсутствии измеряемого сигнала, должен быть не более 5 % шкалы для стрелочных измерителей и не более 2 % напряжения сигнала для измерителей с дискретным отсчетом.

2.9. Нестабильность чувствительности прибора  $P$ , нестабильность амплитуды и частоты генератора  $G$  должны обеспечивать постоянство калибровки с погрешностью  $\pm 10\%$  в течение часа работы.

2.10. В справочном приложении представлены примеры схем измерения емкостей  $C$  и  $C_{\text{Э}}$  СВЧ транзисторов в соответствии со схемой измерения черт. 1 и с учетом дополнительных требований п. 2.7.

2.11. Емкость коллектор-эмиттер контактодержателя  $C'_{\text{кЭ}}$  должна удовлетворять условиям

$$C'_{\text{кЭ}} \leq 0,03 C_{\text{к}}$$

Если емкость  $C_{\text{кЭ}}$  соизмерима с емкостью  $C_{\text{к}}$ , то вывод эмиттера в схеме черт. 1 должен заземляться через емкость не менее 200 пФ.

Пример электрической схемы измерения представлен на черт. 5 справочного приложения.

Емкость коллектор-база контактодержателя должна быть  $C_{\text{кб}} \ll C_{\text{к}}$ .

### 3. ПОДГОТОВКА И ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ

3.1. Перед измерением калибруют шкалу прибора  $P$ , для чего в схему черт. 1 вместо транзистора включают калибровочный конденсатор  $C_{\text{клб}}$ .

Емкость конденсатора  $C_{\text{клб}}$  должна выбираться из соотношений:

$$C_{\text{клб}} = (0,5-3)C_{\text{к}};$$

$$C_{\text{клб}} = (0,5-3)C_{\text{Э}}.$$

Подбор емкости производят с погрешностью в пределах  $\pm 2\%$  на любой частоте.

Шкалу прибора  $P$  считают откалиброванной, если показание его соответствует значению  $C_{\text{клб}}$  в пределах погрешности измерения и стрелка при этом отклоняется не менее чем на 30 % шкалы.

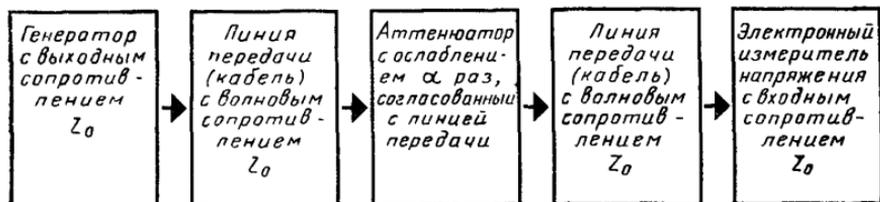
3.2. В схему измерения включают измеряемый транзистор. Задают режим по постоянному току, указанный в стандартах. По шкале прибора  $P$  отсчитывают показания измеряемой емкости.

3.3. При измерении емкостей, равных или менее 1 пФ калибровку проводят измерением напряжения с помощью прибора  $P$ , подключенного через аттенюатор с необходимым ослаблением, при

условии, что входное сопротивление прибора  $P$  согласовано с передающим ВЧ трактом.

Схема калибровки должна соответствовать приведенной на черт. 2.

### Калибровка



Черт. 2

Расчет напряжений производят по формулам:

$$U_{\text{клб}} = \frac{U_G}{\alpha} \quad \text{при калибровке,}$$

$$U_{\text{изм}} = U_G 2\pi f Z_0 C \quad \text{при измерении,}$$

где  $U_G$  — напряжение на генераторе при согласованной нагрузке;

$\alpha$  — ослабление аттенуатора;

$C$  — измеряемая емкость ( $C_K$  или  $C_{\Sigma}$ );

$f$  — частота измерения;

$Z_0$  — волновое сопротивление передающего ВЧ тракта, равное 50 или 75 Ом.

Шкала прибора  $P$  может быть проградуирована непосредственно в значениях измеряемой емкости. При этом в режиме калибровки прибор  $P$  должен показывать значение емкости, удовлетворяющее равенству

$$C_{\text{клб}} = \frac{1}{2\alpha\pi f Z_0},$$

где  $C_{\text{клб}}$  — значение емкости, которое показывает прибор  $P$  в режиме калибровки.

3.4. Измеряемую емкость рассчитывают по формуле

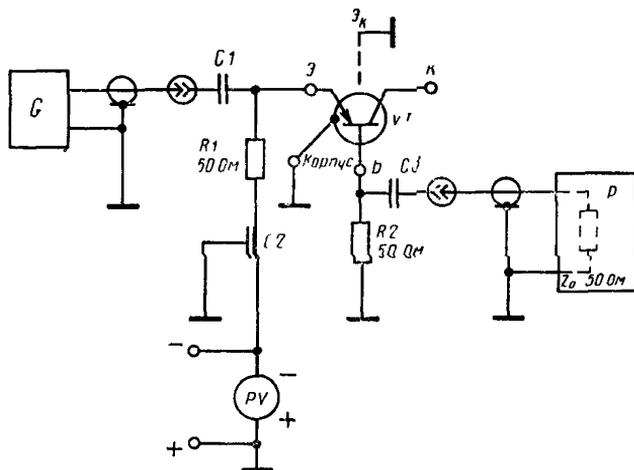
$$C = C_{\text{клб}} \frac{U_{\text{изм}}}{U_{\text{клб}}}.$$

3.5. Система калибровки может отличаться от приведенной в пп. 3.1 и 3.3, если она обеспечивает правильное соотношение между амплитудой генератора  $G$  и чувствительностью прибора  $P$ , погрешность измерения измерительной установки.



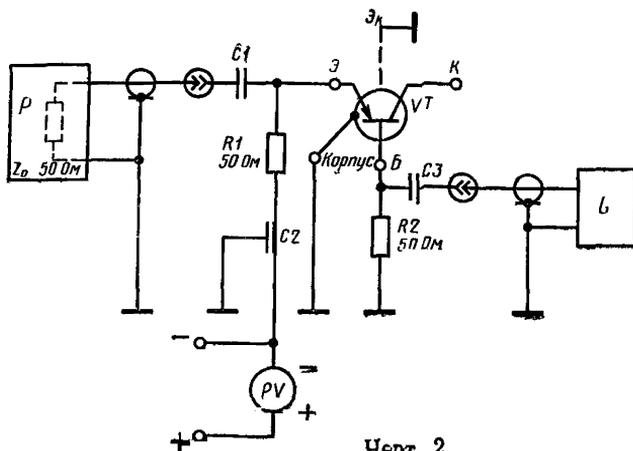
**ПРИМЕРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ ИЗМЕРЕНИЯ ЕМКОСТЕЙ КОЛЛЕКТОРНОГО И ЭМИТТЕРНОГО ПЕРЕХОДОВ СВЧ ТРАНЗИСТОРОВ С ВОЛНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ ПЕРЕДАЮЩЕГО ВЧ ТРАКТА 50 ОМ**

Схема с включением токосяемного резистора последовательно в цепь базы.



Черт. 1

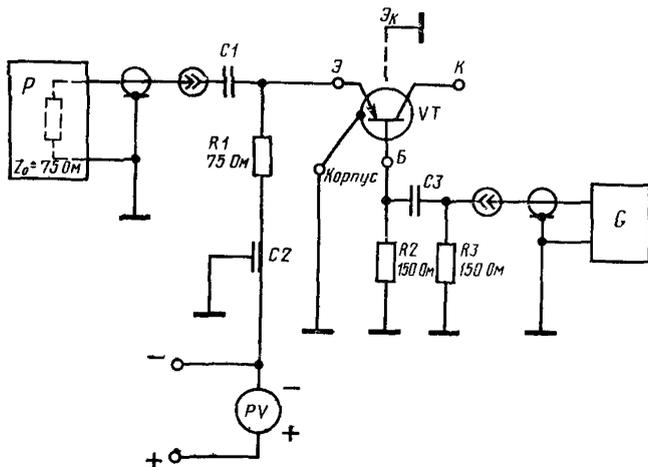
Схема с подачей сигнала от генератора в цепь базы.



Черт. 2

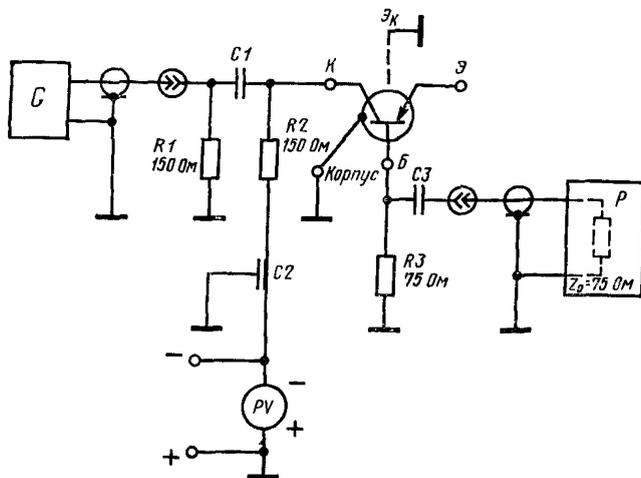
**ПРИМЕРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ ИЗМЕРЕНИЯ ЕМКОСТЕЙ КОЛЛЕКТОРНОГО И ЭМИТТЕРНОГО ПЕРЕХОДОВ СВЧ ТРАНЗИСТОРОВ С ВОЛНОВЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ ПЕРЕДАЮЩЕГО ВЧ ТРАКТА 75 Ом**

Схема с подачей сигнала от генератора в цепь базы



Черт. 3

Схема с включением токосъемного резистора последовательно в цепь базы

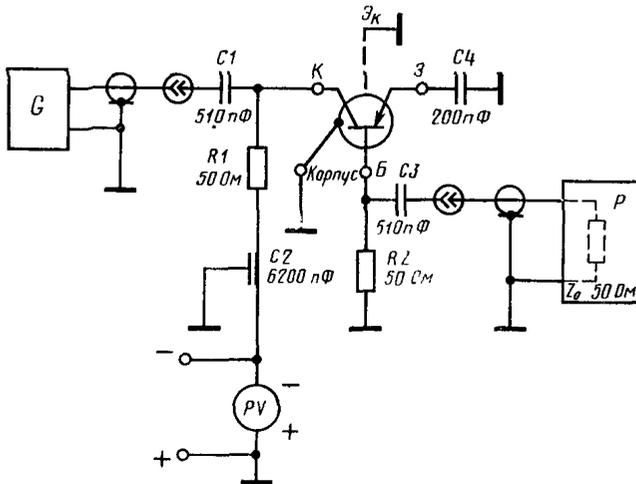


Черт. 4

Основные элементы схем черт. 1—4 приложения должны соответствовать требованиям, изложенным в стандарте.

Конденсатор  $C3$  выбирают аналогично конденсатору  $C1$  в соответствии с п. 23 стандарта

**Схема измерения емкости коллекторного перехода  
с заземленным эмиттером**



Черт. 5

**Изменение № 2 ГОСТ 18604.3—80 Транзисторы биполярные. Метод измерения емкостей коллекторного и эмиттерного переходов**

**Утверждено и введено в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 25.06.87 № 2537**

Дата введения 01.10.87

Наименование стандарта. Заменить слово: «Метод» на «Методы»; «Method» на «Methods».

Вводную часть изложить в новой редакции: «Настоящий стандарт распространяется на биполярные транзисторы и устанавливает два метода измерения емкостей коллекторного  $C_K$  и эмиттерного  $C_E$  переходов:

с использованием резистивно-емкостного делителя,  
с использованием моста.

Метод с использованием резистивно-емкостного делителя применяют в производственных измерениях, требующих высокой производительности.

Метод с использованием моста применяют в лабораторных и производственных измерениях, требующих высокой точности.

Общие требования при измерении и требования безопасности — по ГОСТ 18604.0—83».

Раздел 1. Наименование изложить в новой редакции: «1. Метод измерения  $C_K$  и  $C_E$  с использованием резистивно-емкостного делителя».

Пункт 1.1 изложить в новой редакции: «1.1. Условия измерения».

Пункт 1.2. Второй абзац изложить в новой редакции: «Частоту измерения выбирают из ряда: 465 кГц, 1, 2, 5, 10, 30, 100, 300 МГц».

Пункт 1.3. Исключить слова: «Амплитуду сигнала считают достаточно малой, если при уменьшении амплитуды сигнала генератора в два раза значение измеряемого параметра изменяется менее чем на значение погрешности измерительной установки».

Пункт 2.1. Второй абзац изложить в новой редакции: «Для измерения  $C_K$  допускается применять установку, схема которой отличается от схемы, приведенной на черт. 1, тем, что генератор сигналов  $G$  и электронный измеритель напряжения  $P$  (далее — прибор  $P$ ) меняют местами (например, при заземленном корпусе транзистора), при этом токосъемный резистор  $R$  переносят в цепь коллектора»;

чертеж 1. Подрисуночная подпись. Заменить слова: « $Z_K$  — полное сопротивление для развязки» на « $Z_K$  — элемент для развязки».

Пункт 2.2. Второй абзац. Заменить слова: «(далее — прибора  $P$ )» на « $R_{вх.P}$ , которое должно удовлетворять условию

$$R_{вх.P} \gg R.»$$

Пункт 2.3. Первый абзац. Заменить слова: «Разделительную емкость конденсатора» на «Емкость разделительного конденсатора».

Пункт 2.5. Формула. Заменить обозначение:  $Z_K$  на  $|Z_K|$ ; заменить слова: «где  $Z_K$  — полное сопротивление, предотвращающее замыкание генератора сигналов через источник питания» на «где  $|Z_K|$  — модуль полного сопротивления элемента для развязки».

Пункт 2.6. Заменить слова: «полного сопротивления в цепи коллектора» на «полного сопротивления элемента для развязки».

Пункт 2.7. Исключить слова: «применять многопредельный прибор  $P$ . При этом отсчет измеряемой емкости производят с учетом коэффициента соответствующего пересчета со шкалы, на которой проводилась калибровка, к шкале, на которой проводилось измерение»;

(Продолжение см. с. 434)

шестой абзац. Заменить слова: «токосяемную емкость» на «токосяемный конденсатор».

Пункт 2.8. Заменить слова: «не более 5 % шкалы» на «не более 5 % конечного значения шкалы».

Пункт 2.11 изложить в новой редакции: «2.11. Емкости контактодержателя должны удовлетворять требованиям:

$$C'_{КЭ} \ll C_K,$$

$$C'_{КБ} \ll C_K,$$

$$C'_{ЭБ} \ll C_Э,$$

где  $C'_{КБ}$  — емкость между контактами коллектор-база контактодержателя, пФ;

$C'_{ЭБ}$  — емкость между контактами эмиттер-база контактодержателя, пФ;

$C'_{КЭ}$  — емкость между контактами коллектор-эмиттер контактодержателя, пФ.

Если емкость  $C'_{КЭ}$  соизмерима с емкостью  $C_K$ , то вывод эмиттера в схеме, приведенной на черт. 1, следует заземлять через емкость не менее 200 пФ. Пример электрической схемы измерения приведен на черт. 5 приложения».

Раздел 2 дополнить пунктом — 2.12: «2.12. Основная погрешность измерительной установки ( $\delta_{осн}$ ) по схеме, приведенной на черт. 1, со стрелочными измерителями должна быть в пределах  $\pm 10\%$  конечного значения предела измерения и  $\pm 15\%$  измеряемого значения в начале рабочего участка шкалы. При измерении емкостей 3 пФ и менее допускается  $\delta_{осн} \pm (20\% + 0,05 \text{ пФ})$  измеряемого значения в начале рабочего участка шкалы.  $\delta_{осн}$  для измерителей с цифровым отсчетом должна быть в пределах  $\pm (10\% + 0,05 \text{ пФ})$  измеряемого значения плюс 2 знака младшего разряда дискретного отсчета».

Пункт 4.1 изложить в новой редакции: «4.1. Показатели точности измерений  $C_K$  и  $C_Э$  должны соответствовать установленным в стандартах на транзисторы конкретных типов».

Раздел 4 дополнить пунктом — 4.2: «4.2. Границы интервала, в котором с вероятностью 0,997 находится погрешность измерения  $\delta$ , определяют по формуле

$$\delta = \pm k_{\Sigma} \sqrt{\left(\frac{\delta_{уст}}{k_1}\right)^2 + \left(a_1 \cdot \frac{\partial U_{К(Э)}}{k_2}\right)^2},$$

где  $\delta_{уст}$  — погрешность измерителя емкости;

$a_1$  — коэффициент влияния напряжения коллектора (эмиттера) на измеряемый параметр, определяемый по формуле

$$a_1 = \frac{\partial C_{К(Э)}}{\partial U_{К(Э)}} \cdot \frac{U_{К(Э)}}{C_{К(Э)}},$$

$\frac{\partial C_{К(Э)}}{\partial U_{К(Э)}}$  — производная погрешности измеряемого параметра от напряжения;

$k_{\Sigma}$  — коэффициент, зависящий от закона распределения погрешности измерения и установления вероятности;

для нормального закона распределения и вероятности 0,997  $k_{\Sigma} = 1,96$ ;

$k_1, k_2$  — предельные коэффициенты, зависящие от законов распределения составляющих погрешности; для равномерного закона распределения  $k_1 = k_2 = 1,73$ .

Для транзисторов, у которых зависимость  $C_K = f(U_K)$  имеет вид

$$C_K = kU_K^{-n} + C_{КО},$$

где  $k$  — коэффициент пропорциональности;

$n$  — показатель степени, зависящий от материала транзистора;

$C_{КО}$  — составляющая емкости, не зависящая от напряжения, коэффициент влияния определяют по формуле

$$a_1 = n \left( 1 - \frac{C_{КО}}{C_K} \right) ».$$

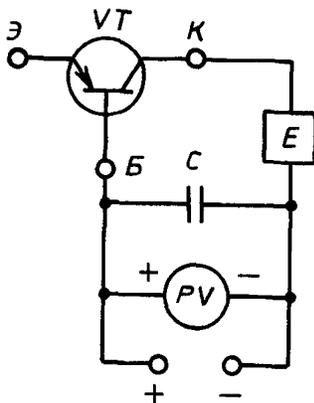
Стандарт дополнить разделом — 5:

**«5. Метод измерения  $C_K$  и  $C_{Э}$  с использованием моста**

5.1. Условия измерения — в соответствии с требованиями разд. 1.

**5.2. Аппаратура**

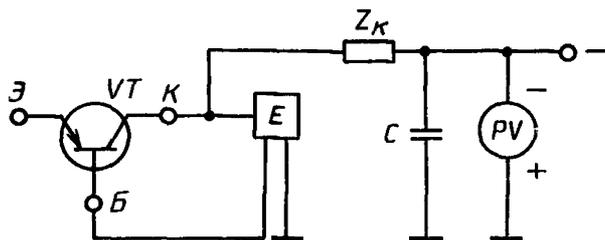
5.2.1. Емкость  $C_K$  следует измерять на установке, структурная электрическая схема которой приведена на черт. 3 и 4. При измерении емкости  $C_{Э}$  подключение выводов эмиттера и коллектора измеряемого транзистора меняют местами.



$VT$  — измеряемый транзистор;  
 $E$  — мост;  $C$  — конденсатор;  
 $PV$  — измеритель напряжения.

Черт. 3

(Продолжение см. с. 436)



*VT*—измеряемый транзистор, *E*—мост;  $Z_K$ —элемент для развязки; *C*—конденсатор; *PV*—измеритель напряжения

Черт. 4

5.2.2. Требование к выбору емкости конденсатора *C* должно соответствовать п. 2.5.

5.2.3. Требование к элементу для развязки  $Z_K$  должно соответствовать п. 2.6.

5.2.4. Требование к контактодержателю должно соответствовать п. 2.11.

5.2.5. Основная погрешность измерительной установки  $\delta_{осн}$  должна быть в пределах  $\pm 2\%$  измеряемого значения плюс 2 знака младшего разряда дискретного отсчета.

### 5.3. Подготовка и проведение измерений

5.3.1. Перед измерением при отсутствии измеряемого транзистора проводят нулевую регулировку баланса моста согласно его описанию (например, типа E7—12).

5.3.2. В схему измерения вставляют измеряемый транзистор. Задают режим по постоянному току, указанный в стандартах на транзисторы конкретных типов. Мост вновь балансируют и изменение емкости определяет емкость коллекторного или эмиттерного переходов.

5.4. Показатели точности — в соответствии с требованиями разд. 4».

(ИУС № 10 1987 г.)