

ТРАНЗИСТОРЫ БИПОЛЯРНЫЕ

Метод измерения постоянной времени цепи
обратной связи на высокой частоте

Transistors bipolar. Method for measuring
collector-to-base time constant at high frequencies.

ОКП 63 2312

ГОСТ
18604.1—80*

[СТ СЭВ 3993—83]

Взамен
ГОСТ 18604.1—73

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 постоянной времени цепи обратной связи на высокой частоте τ_K (далее — постоянной времени).

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

Стандарт полностью соответствует СТ СЭВ 3993—83.

(Измененная редакция, Изд. № 1).

1. ПРИНЦИП И УСЛОВИЯ ИЗМЕРЕНИЯ

1.1. Постоянную времени τ_K определяют измерением модуля коэффициента обратной связи по напряжению $|h_{126}|$ в режиме малого сигнала на высокой частоте исходя из соотношения

$$\tau_K = \frac{|h_{126}|}{2\pi f},$$

где f — частота, на которой измеряют $|h_{126}|$.

1.2. Частоту измерений f выбирают из ряда: 5, 10, 30, 100, 300 МГц; она должна удовлетворять соотношению

$$\frac{3(h_{126})_{\text{из}}}{\tau_K} < 2\pi f < \frac{\tau_K}{3(L_B + L'_B) \cdot C_K},$$

Издание официальное

Перепечатка воспрещена



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

где $(h_{126})_{\text{нч}}$ — значение параметра h_{126} , измеряемое на низкой частоте:

L_b' — конструктивная паразитная индуктивность базового вывода контактодержателя, значение которой обеспечивается конструкцией узла:

L_B — индуктивность базового вывода транзистора;
 C_K — емкость коллекторного перехода транзистора.

Значения L_B и C_K указывают в стандартах или технических условиях на транзисторы конкретных типов (далее -- стандартах).

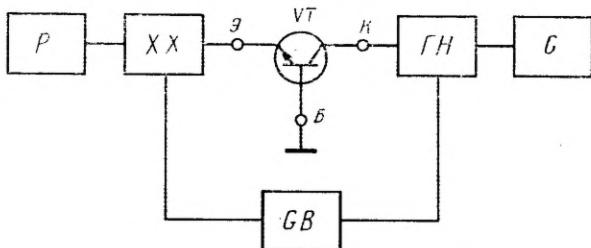
1.3. Измерения производят на малом переменном сигнале при температуре окружающей среды в пределах $(25 \pm 10)^\circ\text{C}$. Амплитуду сигнала считают достаточно малой, если при уменьшении амплитуды сигнала генератора в два раза значение измеряемого параметра изменяется менее чем на значение погрешности измерительной установки.

(Измененная редакция, Изм. № 1).

1.4. На транзистор в схеме с общей базой задают режим от источника постоянного тока эмиттера и от источника постоянного напряжения коллектор-база, который должен соответствовать указанному в стандартах.

2. АППАРАТУРА

2.1. Постоянную времени следует измерять на установке, электрическая структурная схема которой приведена на черт. 1.



P-электронный индикатор напряжения; *ХХ*-схема, обеспечивающая условия холостого хода (схема *ХХ*); *VT*-измеряемый транзистор; *ГН*-схема, обеспечивающая условия генератора напряжения высокой частоты (схема *ГН*); *G*-генератор сигналов; *GB*-блок питания транзистора.

Черт. 1

2.2. При измерении низкочастотных (НЧ) транзисторов в качестве схемы ХХ используют генератор тока, сопротивление которого (омическое в цепи эмиттера или внутреннее сопротивление источника питания эмиттера) должно в 100 и более раз превосходить

дить входное сопротивление измеряемого транзистора как на постоянном токе, так и на частоте измерения.

Пример электрической схемы для измерения т_к НЧ транзисторов приведен на черт. 1 справочного приложения.

2.3. При измерении т_к высокочастотных и сверхвысокочастотных (ВЧ и СВЧ) транзисторов расчетная проводимость $\dot{Y}_{x,x}$, состоящая из действительной части проводимости на зажимах эмиттер-база $Re(\dot{Y}_{x,x})$ и модуля мнимой части проводимости на зажимах эмиттер-база $|I_m(\dot{Y}_{x,x})|$, должна удовлетворять условиям:

$$\left. \begin{array}{l} Re(\dot{Y}_{x,x}) < \frac{0,03}{\Delta r + \frac{KT}{qI_3}} ; \\ |I_m(\dot{Y}_{x,x})| < \frac{0,2}{\Delta r + \frac{KT}{qI_3}} ; \\ Re(\dot{Y}_{x,x}) < \frac{0,03}{R_{экв}} ; \\ I_m(\dot{Y}_{x,x}) < \frac{0,2}{R_{экв}} ; \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{при измерении} \\ \text{при калибровке с помощью} \\ \text{эквивалентной цепочки} \end{array}$$

где Δr — сопротивление в цепи эмиттера транзистора, указываемое в стандартах. Если типовое значение Δr составляет менее 30 % типового значения r_s , то Δr можно не учитывать;

$$\frac{KT}{q} = 26 \cdot 10^{-3} \text{ В при } T = 300 \text{ К;}$$

I_3 — постоянный ток эмиттера;
 $R_{экв}$ — сопротивление резистора эквивалентной цепочки, выбирают с погрешностью $\pm 1\%$.

Примеры электрических схем ХХ для измерения т_к ВЧ и СВЧ транзисторов приведены на черт. 2—4 справочного приложения.

(Измененная редакция, Изм. № 1).

2.4. Электронный индикатор напряжения P (далее — прибор P) измеряет напряжение, пропорциональное напряжению холостого хода на зажимах эмиттер-база транзистора. Чувствительность прибора или выходное напряжение генератора высокой частоты должны быть отрегулированы таким образом, чтобы показания прибора P при калибровке численно соответствовали значению постоянной времени эквивалентной цепочки. При калибровке установки по эталонному аттенюатору показания прибора P должны соответствовать его ослаблению α .

Нестабильность чувствительности прибора P должна быть такой, чтобы обеспечивалось постоянство калибровки с погрешностью не более $\pm 10\%$ в течение часа работы.

При применении многопредельного электронного индикатора напряжения отсчет постоянной времени производят с учетом коэффициента, соответствующего переходу со шкалы, где производили калибровку, к шкале, на которой производили измерение.

Входное сопротивление прибора P при измерении t_k НЧ транзисторов должно превышать входное сопротивление транзистора более чем в 100 раз.

Входное сопротивление прибора P при измерении t_k ВЧ и СВЧ транзисторов выбирают таким образом, чтобы обеспечивалось условие для расчетной проводимости на зажимах эмиттер-база $Y_{s,x}$ измеряемого транзистора, приведенное в п. 2.3.

Отклонение от линейной характеристики прибора P не должно превышать $\pm 10\%$ в интервале 30—100 % шкалы.

Уровень наводок прибора P , вызванных пульсацией напряжения источников питания измеряемого транзистора, а также внутренними и внешними наводками в схеме при отсутствии измеряемого сигнала, должен быть не более 5 % шкалы.

При контроле допускаемого значения наводки в зажимы эмиттер-база вставляют резистор с сопротивлением, равным $r_{s,max}$.

2.5. Блок питания транзистора GB обеспечивает заданный режим транзистора при измерении. Коэффициент пульсации выходного напряжения источника питания не должен превышать 5 %.

Блок GB должен обеспечивать задание постоянного тока, внутреннее сопротивление которого не менее чем в 100 раз превышает входное сопротивление транзистора по постоянному току при измерении маломощных транзисторов и не менее чем в 10 раз — при измерении мощных транзисторов.

Постоянное напряжение на коллектор U задают от источника напряжения, внутреннее сопротивление которого должно быть меньше $\frac{U_k}{100I_k}$ при измерении t_k маломощных транзисторов и

меньше $\frac{U_k}{10I_k}$ — при измерении мощных транзисторов, где I_k — постоянный ток коллектора, значение которого указывают в стандартах.

2.6. В качестве генератора сигналов G используется любой генератор сигналов, обеспечивающий постоянство калибровки с погрешностью, в пределах $\pm 10\%$ в течение часа работы.

2.7. Схема ГН должна иметь низкое выходное сопротивление Z_{gn} на зажимах коллектор-база измеряемого транзистора.

При измерении t_k ВЧ и СВЧ транзисторов выходное сопротивление генератора сигналов выбирают равным волновому сопротивлению (50 или 75 Ом) линии, подводящей сигнал от генератора.

При измерении τ_K расчетное значение выходного сопротивления схемы ГН \dot{Z}_{ra} , состоящее из действительной части выходного сопротивления генератора напряжения $Re(\dot{Z}_{ra})$ и модуля мнимой части выходного сопротивления генератора напряжения $|I_m(\dot{Z}_{ra})|$ должно удовлетворять условиям:

$$Re(\dot{Z}_{ra}) < \frac{1}{8\pi f C_K};$$

$$|I_m(\dot{Z}_{ra})| < \frac{1}{50\pi f C_K}.$$

Примеры электрических схем ГН для измерения τ_K ВЧ и СВЧ транзисторов приведены на черт. 5—7 справочного приложения.

2.8. При измерении τ_K ВЧ и СВЧ транзисторов контактодержатель должен обеспечивать выполнение условий:

$$L'_B < 3L_B;$$

$$C'_{KE} < C_{KE},$$

где L'_B — конструктивная паразитная индуктивность базового вывода контактодержателя;

L_B — индуктивность базового вывода транзистора;

C_{KE} — конструктивная паразитная емкость между выводами коллектора и эмиттера контактодержателя;

C_{KE} — емкость между выводами коллектора и эмиттера транзистора.

Если шкалу прибора P калибруют с помощью резистора R_{KE} и конденсатора C_{KE} эквивалентной цепочки, то должно выполняться условие

$$C'_{KE} < 0,03C_{KE}.$$

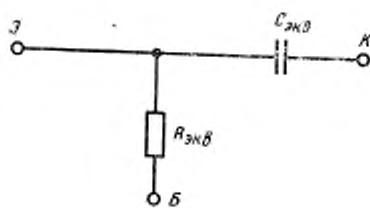
Значения L'_B , C'_{KE} обеспечиваются конструкцией узла контактодержателя. Значения L_B , C_{KE} указывают в стандартах.

2.9. При измерении транзисторов с изолированными выводами коллектора, базы и эмиттера имеющийся корпусный вывод должен подключаться к земле (базе).

3. ПОДГОТОВКА И ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

3.1. Перед измерением следует проводить калибровку шкалы прибора P . Калибровку проводят двумя способами.

3.2. Первым способом режим калибровки осуществляют с помощью эквивалентной цепочки, для чего в схему черт. 1 вместо транзистора VT включают эквивалентную цепочку, схема которой приведена на черт. 2.



Черт. 2

Емкость конденсатора $C_{экв}$ выбирают такой, чтобы входное сопротивление эквивалентной цепочки соответствовало условиям:

$$\sqrt{R_{экв}^2 + \left(\frac{1}{\omega C_{экв}}\right)^2} > 10|Z_{re}|;$$

$$R_{экв \min} \geq 5\omega L$$

где ω — угловая частота измерения,

L — индуктивное сопротивление монтажа.

Произведение $R_{экв}$, $C_{экв}$ выбирают таким, чтобы калибровка и измерение производились в диапазоне 30—100 % шкалы.

Элементы эквивалентной цепочки измеряют в схеме черт. 2 раздельно с погрешностью, не превышающей 1 %.

$R_{экв}$ измеряют на постоянном токе, а $C_{экв}$ — на переменном токе любой частоты.

При калибровке устанавливают показания прибора P численно равными постоянной времени эквивалентной цепочки.

Частота и амплитуда переменного напряжения от генератора G при калибровке должны быть такими же, что и при измерении.

3.3. При втором способе калибровки в контактодержатель между выводами эмиттера и коллектора включают перемычку. При этом на выходе генератора G вводят аттенюатор (аттенюатор можно включать и в канал измерителя и вместо контактодержателя), значение ослабления которого выбирают таким, чтобы калибровочная точка укладывалась в динамический диапазон шкалы прибора P с погрешностью, не превышающей 5 %, при этом калибровочное значение $\tau_{к.к.б}$ должно быть равно

$$\tau_{к.к.б} = \frac{1}{2\pi f}$$

3.4. После проведения калибровки в схему черт. 1 следует установить измеряемый транзистор. Устанавливают заданный в стандартах на транзистор режим питания по постоянному току.

3.5. Постоянную времени определяют по шкале прибора P (при калибровке первым или вторым способом) или по аттенюатору генератора G при калибровке вторым способом, при этом прибор P выполняет функции индикатора уровня.

3.6. Способ калибровки может отличаться от приведенного, если он обеспечивает правильное соотношение между амплитудой генератора G и чувствительностью прибора P , точность измерения и удобство работы.

4. ПОКАЗАТЕЛИ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ

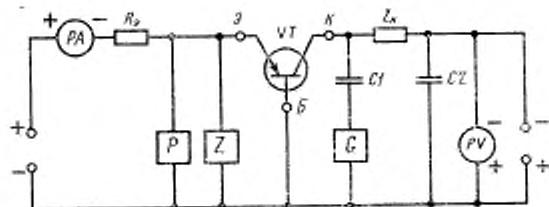
4.1. Основная погрешность измерительных установок, в которых используются стрелочные приборы, должна находиться в пределах $\pm 15\%$ конечного значения рабочей части шкалы и в пределах $\pm 20\%$ измеряемого значения в начале рабочей части шкалы.

4.2. Основная погрешность измерительных установок, в которых используются цифровые приборы, должна находиться в пределах $\pm 15\%$ измеряемого значения ± 2 знака младшего разряда дискретного отсчета.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Справочно:

1. Пример электрической схемы измерения постоянной времени τ_L НЧ транзисторов.



PA—измеритель тока; R_B —резистор в цепи эмиттера, VT —измеряемый транзистор; Z_K —полное сопротивление для развязки цепи генератора сигналов и источника питания коллектора; C_J —разделительный конденсатор; C_L —блокировочный конденсатор; P —электронный индикатор напряжения; Z —ограничитель напряжения; G —генератор сигналов; PV —измеритель напряжения

Черт. 1

Основные элементы схемы измерения должны соответствовать требованиями, указанным в разд. 2 настоящего стандарта.

Конденсаторы C_1 и C_2 выбирают одинаковой емкости, исходя из соотношения

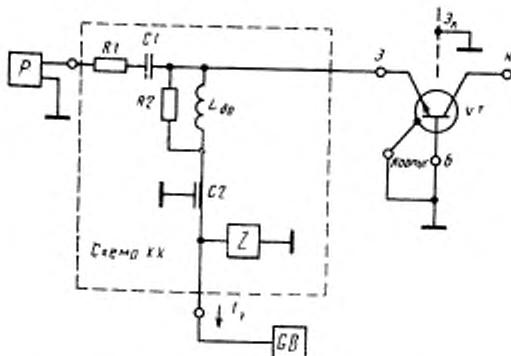
$$\frac{1}{\omega C_1} = \frac{1}{\omega C_2} \approx (0,1 - 0,01) R_K$$

Активное сопротивление постоянному току в цепи коллектора R_K должно удовлетворять соотношению

$$R_K \leq \frac{U_K}{100 I_B},$$

Примеры схем ограничителя напряжения приведены на черт. 8.

2. Пример электрической схемы XX для измерения постоянной времени τ_K маломощных ВЧ и СВЧ транзисторов.



P —электронный индикатор напряжения; R_1 —резистор для развязки; C_1 и L_{dB} —контуры для задания необходимого значения проводимости холостого хода; ϑ_K —экран в контактодержателе между выводами эмиттера и коллектора измеряемого транзистора VT ; R_2 —резистор для подавления паразитного возбуждения транзистора; C_2 —конденсатор для подавления помех, поступающих из GB на вход P ; Z —ограничитель напряжения; GB —блок питания транзистора.

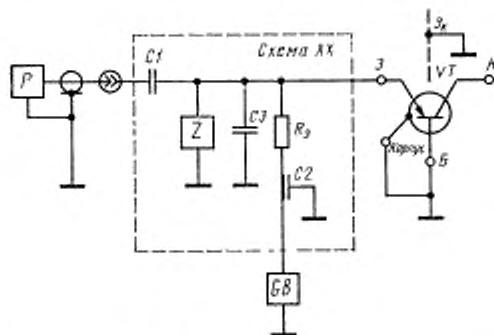
Черт. 2

Выбор элементов схемы XX определяется требованиями п. 2.3 стандарта к необходимому значению проводимости на зажимах эмиттер-база измеряемого транзистора.

3. Пример электрической схемы XX для измерения постоянной времени τ_K маломощных ВЧ и СВЧ транзисторов панесной конструкции с гибкими выводами, у которых высокочастотные параметры удовлетворяют соотношению

$$\frac{f_{rp}}{\tau_K} < 30,$$

где f_{rp} — граничная частота коэффициента передачи тока, МГц;
 τ_K — постоянная времени, пс.



P—электронный индикатор напряжения; *C1*—разделительный конденсатор; E_K —экран в контактодержателе между выводами эмиттера и коллектора измеряемого транзистора *VT*; *Z*—ограничитель напряжения; *C3*—конденсатор, обеспечивающий короткое замыкание на высокой частоте и условие холостого хода на частоте измерения; *R*—резистор в цепи эмиттера; *C2*—конденсатор для подавления помех, поступающих из *GB* на вход *P*; *GB*—блок питания транзистора.

Черт. 3

Выбор емкостей конденсаторов *C1* и *C2*, входного сопротивления $R_{вхP}$ прибора *P* определяется необходимым значением проводимости холостого хода на зажимах эмиттер-база, которую определяют согласно п. 2.3 настоящего стандарта.

Емкость конденсатора *C1* на частоте измерения должна удовлетворять соотношению

$$\frac{1}{\omega C_1} < \frac{R_{вхP}}{10},$$

если используют прибор *P* с большим входным сопротивлением, или

$$\frac{1}{\omega C_1} \gg R_{вхP},$$

если используют прибор *P* с малым входным сопротивлением (50 или 75 Ом).

Сопротивление резистора *R3* должно быть в 10 раз больше, чем входное сопротивление транзистора по постоянному току. Емкость конденсатора *C2* выбирают из условия

$$\frac{1}{\omega C_2} < \frac{R_3}{10},$$

Суммарная емкость $C_{ЭБ}$, состоящая из емкостей конденсатора *C3*, входной емкости прибора *P* и емкости ограничителя напряжения *Z*, включенная параллельно выводам эмиттер-база измеряемого транзистора, должна удовлетворять требованию

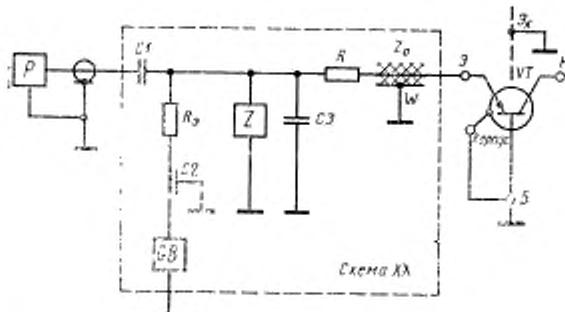
$$\frac{1}{2\pi/C_{ЭБ}} \geq (7-10) h_{11бmax}.$$

где f — частота измерения;
 R_{\max} — максимальное значение входного сопротивления транзистора VT в режиме малого сигнала, указывают в стандартах.

Значение емкости C_{EB} рекомендуется выбирать близко к максимально допустимому.

4. Пример электрической схемы ХХ для измерения постоянной времени τ_k маломощных ВЧ и СВЧ транзисторов коаксиальной и полосковой конструкции, у которых высокочастотные параметры не удовлетворяют соотношению

$$\frac{f_{tr}}{T_K} < 30$$



P —электромагнитный индикатор напряжения; $C1$ —разделительный конденсатор; R —нагрузочный резистор; W —передающая линия с волновым сопротивлением Z_0 ; VT —измеряемый транзистор; Z —варианты контактодержателя между выводами эмиттера и коллектора; R_E —резистор в цепи эмиттера; Z —ограничитель напряжения; $C3$ —конденсатор, обеспечивающий короткое замыкание на полоской частоте и условие холостого хода на частоте измерения; $C2$ —конденсатор для подавления помех; GB —блок питания транзистора.

Черт. 4

Выбор основных элементов схемы ХХ определяется требованиями п. 2.5 настоящего стандарта к необходимому значению проводимости на зажимах эмиттер-база VT .

В данной схеме суммарная емкость C_{EB} , удовлетворяющая соотношению, приведенному в п. 3 приложения, состоит из емкостей конденсатора $C1$ и $C3$, емкости ограничителя Z и распределительной емкости полосковой передающей линии.

Требования к емкости конденсаторов $C1$ и $C2$ изложены в п. 3 справочного приложения.

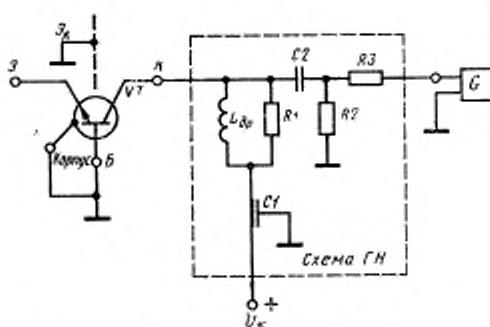
5. Пример электрической схемы ГН для измерения постоянной времени τ_k мощных ВЧ и СВЧ транзисторов.

Выбор элементов схемы ГН определяется требованиями п. 2.7 настоящего стандарта к значению выходного сопротивления.

Значения сопротивлений резисторов $R2$ и $R3$ должны удовлетворять условиям:

$$R_2 = 2R_3;$$

$$R_2 + R_3 = 50 \text{ или } 75 \Omega.$$



VT—измеряемый транзистор; Э_К—окран в контактодеривателе между выводами эмиттера и коллектора. С2—разделительный конденсатор; R2, R3—резисторы для развязки генератора сигналов; G—генератор сигналов; L_{dp}—дроссель для извлечения напряжения из коллектора транзистора; R1—резистор для подавления паразитного возбуждения транзистора; С1—блокировочный конденсатор.

Черт. 5

Индуктивность дросселя L_{dp} должна выбираться из соотношения

$$L_{dp} > \frac{5R_2}{2\pi f}.$$

Емкость конденсаторов С1 и С2 выбирают из следующих условий:

$$C_1 \gg 100C_K;$$

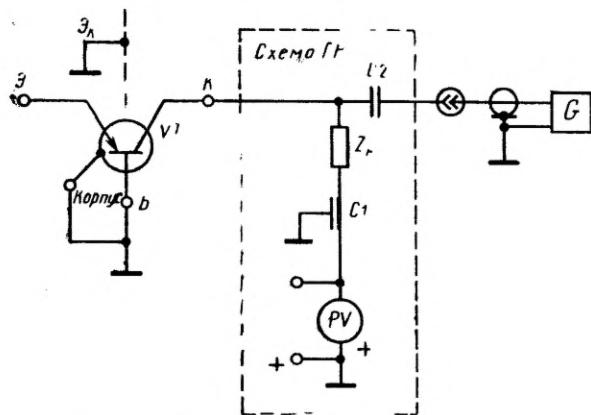
$$C_2 \gg 100C_K,$$

где C_K —емкость коллекторного перехода VT, указывают в стандартах

Рекомендуется выбирать выходное сопротивление генератора сигналов различным волновому (50 или 75 Ом). В этом случае резисторы R2 и R3 отсутствуют.

6. Пример электрической схемы ГН для измерения постоянной времени τ_K маломощных ВЧ и СВЧ транзисторов навесной конструкции с гибкими выводами, у которых высокочастотные параметры должны удовлетворять неравенству.

$$\frac{f_{tp}}{\tau_K} < 30$$



VT—измеряемый транзистор; \mathcal{E}_K —экран в контактодержателе между выводами эмиттера и коллектора; C_2 —разделительный конденсатор; G —генератор сигналов; Z_K —полное сопротивление для развязки цепи генератора сигналов и источника питания; C_1 —разделительный конденсатор; PV —измеритель напряжения.

Черт. 6

Выбор элементов схемы ГН в цепи коллектора определяется требованиями п. 2.7.

7. Пример электрической схемы ГН для измерения постоянной времени τ маломощных ВЧ и СВЧ транзисторов коаксиальной и полосковой конструкции, у которых высокочастотные параметры не удовлетворяют неравенству

$$\frac{f_{\text{гр}}}{\tau_K} < 30.$$

Основные элементы схемы должны соответствовать требованиям, указанным в п. 2.7 настоящего стандарта по выбору схемы ГН в цепи коллектора.

Для высоких частот аттенюатор E должен быть подключен непосредственно к зажимам передающей линии через конденсатор C_2 .

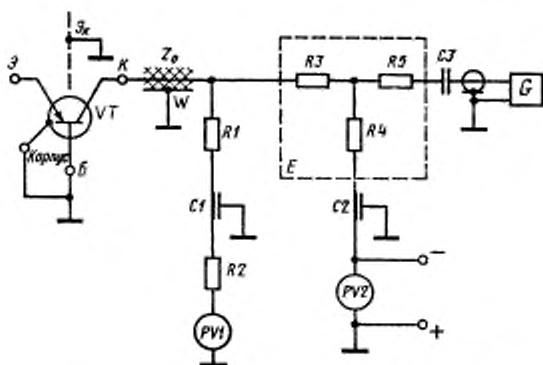
Аттенюатор E должен состоять из резисторов R_3 , R_4 , R_5 и совмещать функции полного сопротивления для развязки, указанного на черт. 1 приложения, и согласованной нагрузки для линии W .

Значения сопротивлений резисторов R_3 , R_4 и R_5 следует рассчитывать через волновое сопротивление линии Z_0 и значение ослабления аттенюатора α :

$$R_3 = R_5 = Z_0 \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{4\alpha}{(\alpha-1)^2}}};$$

$$R_4 = Z_0 \sqrt{\frac{\frac{2\alpha}{(\alpha-1)^2}}{1 + \frac{1\alpha}{(\alpha-1)^2}}}.$$

В данном случае выходное сопротивление генератора сигналов G равно волновому сопротивлению линии Z_0 (50 или 75 Ом).



Z_K — экран в контактодержателе между выводами эмиттера и коллектора; VT — измеряемый транзистор; W — передающая линия с волновым сопротивлением Z_0 ; R_1 , R_2 — добавочные резисторы к измерителю напряжения PV_1 ; C_1 , C_2 — конденсаторы для подавления помех; PV_1 , PV_2 — измерители напряжения; E — аттенюатор; C_3 — разделительный компенсатор; G — генератор сигналов.

Черт. 7

Емкость конденсатора C_1 выбирают аналогично емкости конденсатора C_1 , указанного на черт. I приложения.

Сумму сопротивлений резисторов R_1 и R_2 определяют как добавочное сопротивление к измерителю напряжения PV_1 на коллекторе, но значение R_1 должно быть не менее 1,5 кОм.

Допускается измерение напряжения питания коллектора включением измерительного прибора PV_2 в цепь резистора R_4 . При этом R_1 , R_2 и C_1 из схемы исключают. Однако, при установке режима питания по коллектору учитывают падение напряжения ΔU_K на резисторах R_3 , R_4 и R_5 от протекания тока коллектора

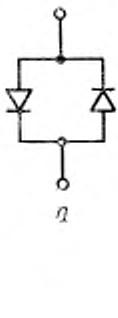
$$\Delta U_K = I_K (R_3 + R_4) \approx I_{\varnothing} (R_3 + R_4)$$

8. Примеры схем ограничителя напряжения.

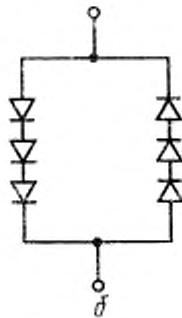
Ограничители напряжения предназначены для защиты эмиттерного перехода от случайных увеличений напряжения обратной полярности и для ограничения напряжения холостого хода на зажимах контактного устройства при отключении транзистора.

Необходимый уровень ограничения зависит от прямого падения напряжения на зажимах эмиттер-база транзистора VT . Уровень ограничения должен превышать прямое падение напряжения на зажимах транзистора VT в 1,5—2 раза.

Ограничитель
напряжения
на уровне
 $\pm (0,5-0,6)$ В



Ограничитель
напряжения
на уровне
 $\pm (1,5-1,8)$ В



Черт. 8