

ОБ ОДНОЙ ВОЗМОЖНОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ПРИБОРА АВТОМАТИЧЕСКОГО ДОПУСКОВОГО КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ СЛОЖНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Для контроля правильности монтажа и работоспособности радиоэлектронного оборудования, а также для быстрого отыскания элемента, вызвавшего отказ, все более широкое применение находят автоматические системы контроля.

Ниже рассматривается функциональная схема (рис. 1) прибора автоматического допускового контроля, разработанного в отраслевой научно-исследовательской лаборатории автоматизации электрических измерений и контроля Пензенского политехнического института [1].

Прибор предназначен для контроля комплексных сопротивлений по модулю и фазовому углу, амплитуды и фазовых сдвигов переменных напряжений и токов звуковой частоты, постоянных напряжений и токов, а также для контроля исправности транзисторов без выпаивания их из схемы.

Работа схемы при контроле комплексных сопротивлений происходит следующим образом: напряжением \dot{U}_0 опорного источника (ОИ) (частота программируется) запитывается преобразователь «параметр — напряжение» (ППН), представляющий собой делитель напряжения, составленный из контролируемого комплексного сопротивления $\dot{Z}_K = Z_K \cdot e^{j\varphi_K}$ и одного на предел образцового резистора R_0 . Падение напряжения \dot{U}_K на R_0 однозначно определяется модулем Z_K и фазовым углом φ_K контролируемого сопротивления и равно

$$\frac{\dot{U}_0 R_0}{R_0 + \dot{Z}_K}$$

При контроле модуля сопротивлений (переключатель П в положении «Z») фазочувствительные выпрямители работают в режиме синхронных выпрямителей. При этом постоянное напряжение $U_{В1}$ на выходе ФЧВ₁ пропорционально U_K . Напряжение установки формируется из напряжения ОИ с помощью дискретно управляемого делителя (ДУД), эмиттерного повторителя (ЭП₂) и фазочувствительного выпрямителя (ФЧВ₂), управляемого усилителем-ограничителем УО₂. Коэффициент передачи дискретного делителя $K_{дз}$, устанавливаемый по программе, определяется формулой

$$K_{дз} = \frac{R_0}{\sqrt{R_0^2 + Z_{кг}^2 + 2R_0 Z_{кг} \cdot \cos \varphi_{кг}}},$$

где $Z_{кг}$ — граничное значение модуля контролируемого сопротивления;

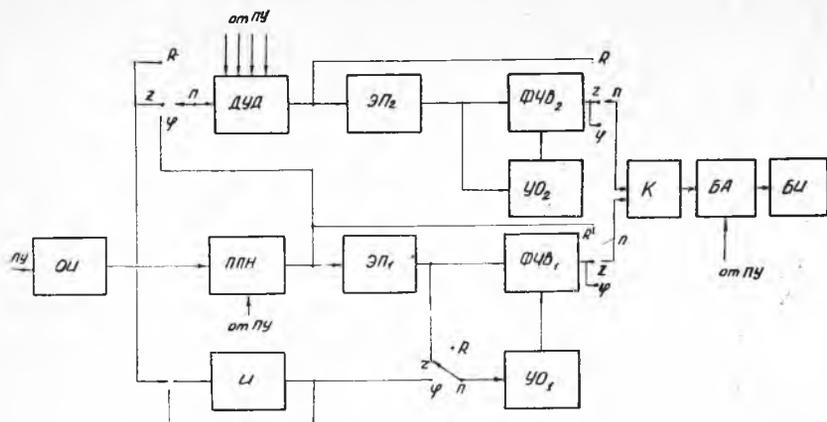


Рис. 1. Структурная схема прибора автоматического допускового контроля параметров сложных электрических цепей ПАК-Д2

$\varphi_{\text{кн}}$ — номинальное значение фазового угла контролируемого сопротивления.

При контроле фазовых углов комплексных сопротивлений (переключатель Π в положении « φ ») опорное напряжение ФЧВ_1 формируется из напряжения U_0 . При этом выходное напряжение ФЧВ_1 пропорционально произведению модуля коэффициента передачи ППН на косинус его фазового угла.

Для получения на выходе ФЧВ_1 напряжения одной полярности независимо от знака фазового угла сопротивления ППН при контроле сопротивлений индуктивного характера в цепь опорного сигнала ФЧВ_1 вводится инвертор (И), обеспечивающий сдвиг на π .

Как показывают расчеты, формирование напряжения при контроле φ уставки из напряжения \dot{U}_K позволяет значительно уменьшить влияние отклонения модуля контролируемого сопротивления от своего номинального значения на результат контроля фазовых углов. Коэффициент передачи ДУД $K_{\text{д}\varphi}$ в этом случае устанавливается по программе, в соответствии с граничным значением косинуса фазового угла ППН

$$K_{\text{д}\varphi} = \frac{R_0 + Z_{\text{кн}} \cdot \cos \varphi_{\text{кг}}}{\sqrt{R_0^2 + Z_{\text{кн}}^2 + 2R_0 Z_{\text{кн}} \cdot \cos \varphi_{\text{кг}}}}$$

где $\varphi_{\text{кг}}$ — граничное значение фазового угла контролируемого сопротивления;

$Z_{\text{кн}}$ — номинальное значение модуля контролируемого сопротивления.

Выходные напряжения ФЧВ_1 и ФЧВ_2 сравниваются компаратором (К). После логической обработки результата срав-

нения блоком автоматики (БА) дается команда на переход к следующей по программе операции контроля, а в случае неисправной цепи фиксируется брак (индицируется номер неисправной цепи и характер неисправности); при этом дальнейшая работа прибора начнется только после повторного запуска его оператором.

При контроле резисторов на постоянном токе (переключатель П в положении «R») из измерительной схемы исключаются повторители и выпрямители. В этом случае коэффициент передачи дискретного делителя $K_{дR}$ устанавливается равным

$$K_{дR} = \frac{R_0}{R_0 + R_{кг}},$$

где $R_{кг}$ — граничное значение сопротивления контролируемого резистора.

В остальном работа схемы аналогична описанной выше.

При контроле напряжений (токов) последние подаются на вход ППН, в котором в этом случае по команде программирующего устройства образуется делитель напряжений с требуемым коэффициентом деления. Контроль исправности транзисторов, включенных в электрическую схему, осуществляется по величине коллекторного тока закрытого транзистора [2].

Оценим погрешность обработки результата контроля. Максимум ее имеет место в случае нахождения контролируемого параметра на границе допуска. Уравнение, характеризующее работу схемы в этом случае, при контроле модуля сопротивления имеет вид

$$V_p = V_0 \left[K_1 K_2 - \frac{R_0 K_1}{\sqrt{R_0^2 + Z_{кг}^2 + 2R_0 Z_{кг} \cos \varphi_k}} \right], \quad (1)$$

где V_p — разрешающая способность компаратора;

$K_1 = K_2 = K_B$ — коэффициент передачи повторителей выпрямителей.

Максимальная относительная погрешность обработки результата контроля может быть определена из (1)

$$\delta Z_k = \sum \left| \frac{\partial Z_{кг}}{\partial i} \right|_{\varphi_{кн}} \cdot \frac{i}{Z_{кг}} \delta i, \quad (2)$$

где i — соответствующий параметр выражения (1);

δi — относительное отклонение i от своего номинального значения.

Учитывая обычно, что $V_p \ll V_0$, $\delta V_0 \ll \delta V_p$, а также то, что величина δR_0 мала, получим

$$\varphi Z_k = a_\varphi \Delta \varphi_k + a_1 \delta K_B + a_2 \left[\frac{V_p}{V_0 K_B} \delta V_p + \Delta K_1 \right]. \quad (3)$$

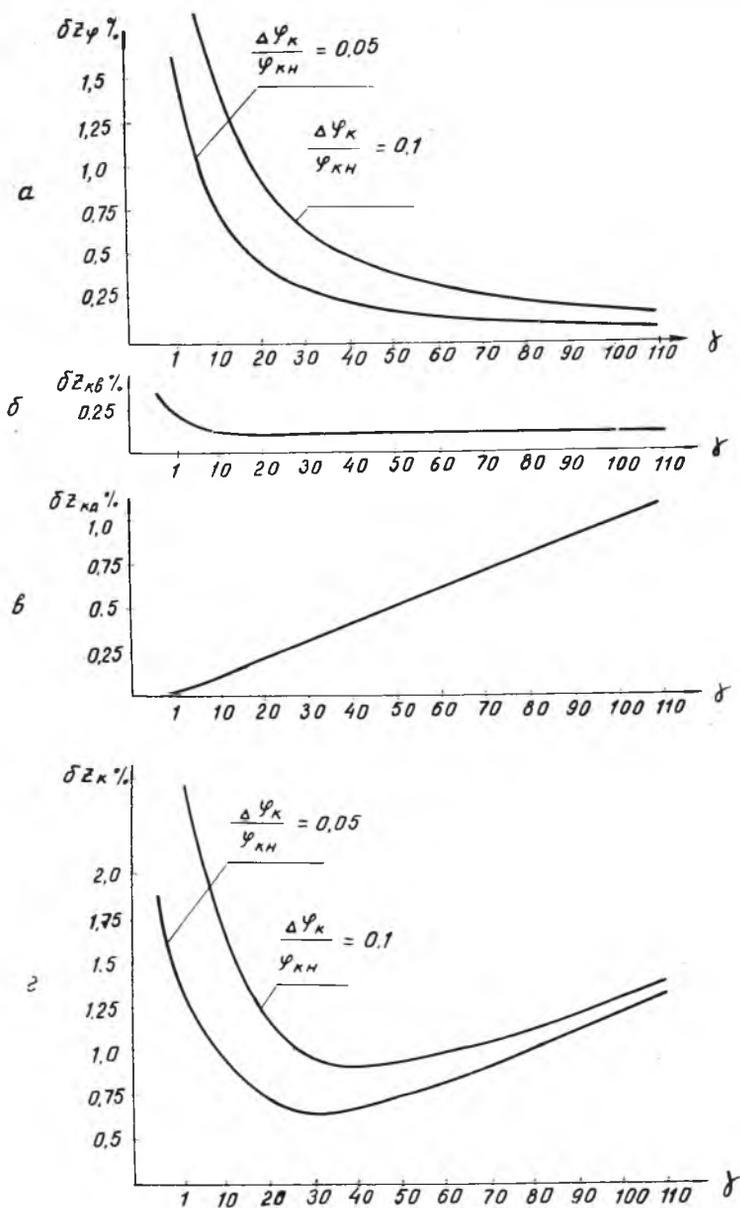
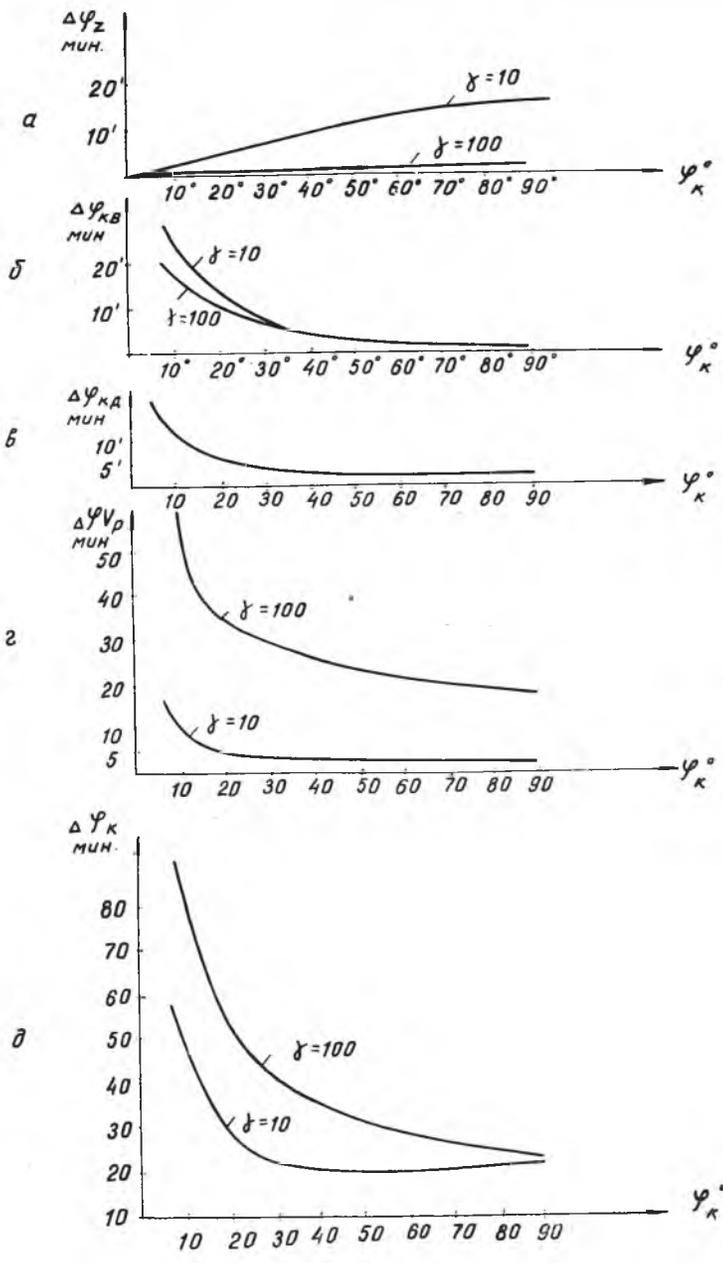


Рис. 2. Погрешности контроля модулей комплексных сопротивлений



Р и с. 3. Погрешности контроля фазовых углов комплексных сопротивлений

Здесь $\delta K_B = \delta K_1 - \delta K_2$ — относительная дифференциальная неустойчивость повторителей-выпрямителей;

$$a_\varphi = \frac{\varphi_{KH} \sin \varphi_{KH}}{\gamma + \cos \varphi_{KH}}; \quad a_1 = \frac{1 + 2\gamma \cos \varphi_{KH} + \gamma^2}{\gamma(\gamma + \cos \varphi_{KH})};$$

$$a_2 = \frac{\sqrt{(1 + \gamma^2 + 2\gamma \cos \varphi_{KH})^3}}{\gamma(\gamma + \cos \varphi_{KH})}; \quad \gamma = \frac{Z_K}{R_0}.$$

Первая составляющая в выражении (3) характеризует методическую погрешность и появляется вследствие влияния на результат контроля модуля отклонения действительного значения фазового угла контролируемого сопротивления от φ_{KH} . При этом предполагается, что само отклонение находится в пределе допуска $\Delta\varphi_K$, иначе цепь забракуют при контроле по φ_K . Остальные составляющие характеризуют инструментальные погрешности.

Распределение погрешностей в зависимости от γ показано на рис. 2а, б, в для $\delta K_B = 0,1\%$; $\Delta K_d = 0,00005$ (трехдекадный делитель напряжения с делителем на 10 на выходе, причем задание установки осуществляется с точностью до половины дискретности); $V_0 = 1$ в; $V_P = 50$ мкв. Графическое суммирование составляющих по рабочему диапазону позволяет определить общую погрешность отработки результата контроля (рис. 2г) и выбрать рабочий диапазон γ . Для $\frac{\Delta\varphi_K}{\varphi_{KH}} = 5\%$ в диапазоне $0 \leq \gamma \leq 100 \delta Z_K$ не превышает $1,2\%$. Для $\frac{\Delta\varphi_K}{\varphi_{KH}} = 10\%$ в диапазоне $7 \leq \gamma \leq 95 \delta Z_K$ не превышает $1,25\%$.

Уравнение, характеризующее работу прибора при контроле фазовых углов комплексных сопротивлений, имеет вид [4]

$$V_P = V_0 \frac{R_0}{\sqrt{R_0^2 + Z_K^2 + 2K_0 Z_K \cos \varphi_{KH}}} \times$$

$$\times \left[K_2 K_d - K_1 \frac{R_0 + Z_K \cos \varphi_{KH}}{\sqrt{R_0^2 + Z_K^2 + 2R_0 Z_K \cos \varphi_{KH}}} \right]. \quad (4)$$

С учетом сделанных выше допущений максимальная абсолютная погрешность отработки результата контроля фазовых углов будет равна

$$\Delta\varphi_K = a_z \Delta Z_{KH} = a_4 \delta K_B + a_5 \Delta K_{дл} + a_6 \frac{V_P}{V_0 K_B} \delta V_P \quad (5)$$

Здесь

$$a_z = \frac{\sin \varphi_{KH}}{\gamma + \cos \varphi_{KH}}; \quad a_4 = \frac{(1 + \gamma \cos \varphi_{KH})(1 + 2\gamma \cos \varphi_{KH} + \gamma^2)}{\gamma^2 \sin \varphi_{KH} (\gamma + \cos \varphi_{KH})};$$

$$a_5 = \frac{\sqrt{(1 + 2\gamma \cos \varphi_{KH} + \gamma^2)^3}}{\gamma^2 \sin \varphi_{KH} (\gamma + \cos \varphi_{KH})}; \quad a_6 = \frac{(1 + 2\gamma \cos \varphi_{KH} + \gamma^2)^2}{\gamma^2 \sin \varphi_{KH} (\gamma + \cos \varphi_{KH})}.$$

Первая составляющая в выражении (5) характеризует методическую погрешность, вызванную отклонением в пределах допуска ΔZ_k модуля, контролируемого сопротивления от своего номинального значения. Распределение погрешностей в зависимости от величины контролируемого фазового угла для $\gamma=10$ и $\gamma=100$ показано на рис. 3а, б, в, г. Графическое суммирование составляющих по рабочему диапазону позволяет определить общую погрешность отработки результата контроля (рис. 3д). В рабочем диапазоне $10 \leq \gamma \leq 100$ для фазовых углов, больших 45° , погрешность отработки результата контроля не превышает $30'$; для углов, больших $10^\circ-1^\circ 20'$ и для углов в диапазоне $3^\circ-10^\circ$ не превышает $2,5^\circ$.

В заключение статьи приведем характеристики прибора ПАК-Д2, изготовленного по описанной выше функциональной схеме. Количество контролируемых цепей—2500 (50 пар точек).

Диапазон контролируемых сопротивлений резисторов $1 \text{ ом} - 10 \text{ мом}$. Диапазон контролируемых модулей комплексных сопротивлений:

а) на частоте 400 гц $1 \text{ ом}-200 \text{ ком}$

б) на частоте 400 гц $1 \text{ ом}-150 \text{ ком}$

Максимальная мощность, рассеиваемая в контролируемой цепи, при $R_k=1 \text{ ом}$ —2,5 мвт.

Диапазон контролируемых фазовых углов комплексных сопротивлений и напряжений $5^\circ-360^\circ$.

Диапазон контролируемых напряжений—0,01—100 в.

Входное сопротивление при контроле напряжений—не ниже 5 мом.

Погрешность контроля сопротивлений резисторов—0,3%.

Погрешность контроля модулей полных сопротивлений—1,3%.

Погрешность контроля фазовых углов $0,5^\circ-1,5^\circ$.

Погрешность контроля напряжений—0,5%.

Прибор может контролировать наличие или отсутствие коротких замыканий, правильность включения и исправность любых полупроводниковых элементов. Время одной операции контроля 0,2 сек и 10 сек программируется в соответствии с номинальными параметрами контролируемой цепи и режимом контроля. Питание прибора от сети 220 в 50 гц.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шляндин В. М., Мартяшин А. И., Цыпин Б. В. Устройство допускового контроля сопротивлений электрических цепей. Авторское свидетельство № 282752. Бюллетень изобретений № 30, 1970.

2. Шляндин В. М., Мартяшин А. И., Цыпин Б. В. Устройство автоматического контроля исправности полупроводниковых триодов в электрических схемах. Авторское свидетельство № 295094. Бюллетень изобретений № 7, 1971.