УСТРОЙСТВО ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ТРАНСФОРМАТОРОВ

В. К. Заяц, В. А. Палагин, Ю. А. Александров, Б. Д. Москвин, Г. И. Сидоров

Харьков

Контроль изоляции является одним из способов выявления нарушений технологического процесса производства радиоэлектронных изделий. Качество изоляции определяется результатами контроля электрической прочности, сопротивления и тангенса угла диэлектрических потерь изоляции. Для суждения о качестве изоляции трансформаторов радиоаппаратуры обычно достаточно проверить электрическую прочность и сопротивление изоляции (СИ).

В большинстве случаев при контроле СИ достаточно знать, не снизилась ли его величина ниже допустимого предела, а измерение величины сопротивления не требуется.

В практике измерения больших сопротивлений используются [1, 2, 3, 4, 5, 6]:

1) способ непосредственного отклонения;
2) измерения магнитоэлектрическими мегомметрами;
3) измерения при помощи потенциометрических схем;
4) методы, использующие разряд конденсатора;
5) мостовые методы.

Для автоматического контроля наиболее пригоден мостовой метод. Оценку величины сопротивления в мостовой схеме можно произвести по амплитуде или по полярности сигнала ошибки. Среди известных авторам устройств контроля СИ отсутствуют схемы оценки СИ по полярности сигнала разбаланса моста. А именно этот способ оценки СИ наиболее пригоден для устройств автоматического контроля, так как при достаточно высоком коэффициенте усиления усилителя-индикатора точность контроля не зависит ни от колебаний напряжения источника питания схемы сравнения и усилителя-индикатора, ни от изменения коэффициента усиления схемы [7]. Что касается главного ограничивающего фактора применения полярностной оценки в контролирующих устройствах — необходимости двухкратного сравнения контролируемой величины с образцовыми значениями (максимальным допустимым и минимальным) — оно вообще отпадает, так как в случае контроля СИ важно лишь, чтобы оно не было меньше заданного.

В базовой лаборатории «Технология производства радиоаппаратуры» Харьковского политехнического института разработан блок контроля СИ с использованием полярностного метода сравнения. Блок входит в состав программированного полуавтомата для контрольных испытаний трансформаторов низкой частоты. СИ контролируется между каждой обмоткой и всеми остальными, соединенными с корпусом. Диапазон контроля СИ

5 ÷ 500 *мом* при дискретности шкалы 5 *мом*. Погрешность контроля сопротивлений, соответствующих шкале дискретности, меньше 5%. Скорость работы принципиально зависит от величины постоянной времени перезаряда абсорбционной ёмкости изоляции [8] и в описываемом устройстве равна одному измерению за 2 *сек*. Контроль может производиться при любом из трех напряжений: 100, 250 и 500 *в*. Для повышения надежности устройства применяется самоконтроль блока, заключающийся в проверке чувствительности усилителя сигнала ошибки.

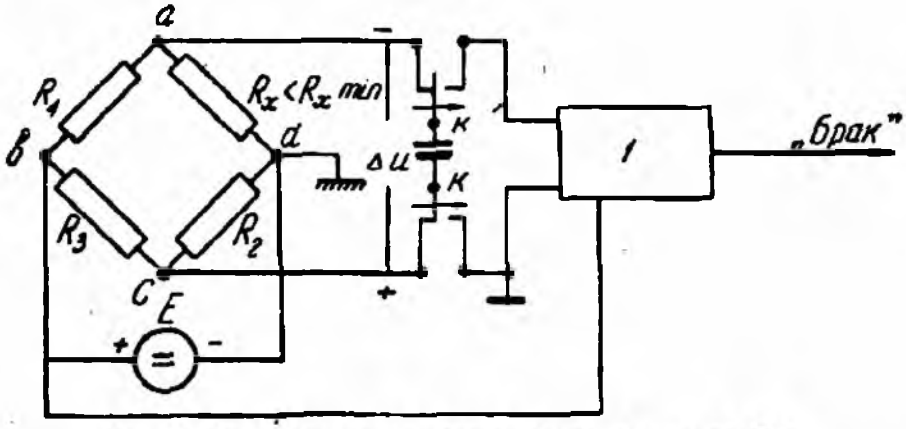

Рис. 1. Функциональная схема блока контроля СИ.

Функциональная схема блока контроля СИ приведена на рис. 1. Сравнение контролируемого СИ R_x и эталонного сопротивления R_4 и преобразование разности сопротивлений в сигнал ошибки ΔU осуществляется четырехплечим мостом постоянного тока (R_x, R_2, R_3, R_4). Эталонное сопротивление R_4 по программе работы полуавтомата устанавливается соответствующим минимально допустимому значению контролируемого СИ $R_{x\,мин}$, исходя из условия

$$R_{x\,мин}R_3 = R_2R_4.$$

Если $R_x < R_{x\,мин}$, то на индикаторной диагонали моста *ac* появится сигнал ошибки ΔU отрицательной полярности. В индикаторную диагональ через нормально замкнутые контакты реле K включен запоминающий конденсатор C, который заряжается до напряжения сигнала ошибки ΔU. Заряженный конденсатор переключается на вход усилителя-индикатора *1*, реагирующий только на отрицательные входные сигналы, выдавая сигнал «брак».

Применение в качестве элемента связи выхода моста с усилителем-индикатором запоминающего конденсатора C позволяет соединять с корпусом прибора источник напряжения контроля E, сопротивление изоляции R_x и вход усилителя. Кроме того, не требуется никаких усложнений схемы при измерении величины напряжения контроля E, что часто бывает необходимым. Последовательность всех переключений в блоке осуществляется временным коммутатором полуавтомата.

Остановимся на особенностях построения отдельных узлов устройства и выборе их параметров.

Измерительный мост. Магазинное плечо состоит из восьми образцовых сопротивлений $R_1 \div R_8$, образующих две тетрады по системе *1—2—2 — 4*. Минимальное сопротивление равно 50 *ком*, максимальное 2 *мом*. Образцовые сопротивления включаются в схему моста при размыкании контактов соответствующих реле $P_{11} \div P_{18}$. Величина сопротивления

магазинного плеча, необходимая для программирования моста, определяется из выражения

$$R_{маг} = \frac{R_9}{R_{10}} R_{x\,мин} = \frac{R_{x\,мин}}{M}.$$

Сопротивления R_9 и R_{10} образуют плечи отношений моста $\frac{R_{10}}{R_9} = M = 100$. При таком соотношении почти все напряжение E приложено непосредственно к контролируемому СИ. Получаем приемлемую для практики величину сопротивлений $R_1 \div R_8$ и в то же время достаточную чувствительность моста. Чувствительность S_0 в данном случае равна напряжению на индикаторной диагонали моста при отклонении R_x на 1% от значения, соответствующего балансу моста [3,9]

$$S_0 = \frac{\Delta U}{\varepsilon} = \frac{E(R_9 R_x - R_{маг} R_{10})}{\varepsilon (R_9 + R_{10})(R_{маг} + R_x)} \; в/\%;$$

$$R_{x\,мин} = \frac{R_{маг} R_{10}}{R_9} = M R_{маг};\; R_x = 99 R_{маг};\; \varepsilon = 1\%.$$

Минимальная чувствительность, получаемая при $E = 100$ *в*, равна $S_0 = 10$ *мв*/%. Заряд абсорбционной емкости изоляции C_a практически заканчивается в изделиях, оговоренных техническими условиями, через $t = 1{,}5$ *сек*. За это время устанавливается также процесс заряда запоминающего конденсатора C, так как $\tau_C \ll \tau_{C_a}$.

Погрешность образцовых сопротивлений моста не выше 1%, т. е. предельная погрешность моста не превышает 3%. При точности контроля не хуже 5% усилитель-индикатор должен срабатывать от напряжения, соответствующего 2% разбаланса моста, т. е. $U_{вх} < 20$ *мв*.

Усилитель-индикатор состоит из двухкаскадного усилителя сигнала ошибки ($Л_{1а}$ и $Л_{1б}$) и выходной релейной схемы $Л_8$ (рис. 2). Усилитель по принципу действия аналогичен приведенному в работе [7] под названием «усилитель с принудительной подзарядкой емкостей».

При длительной бесподстроечной работе устройства нельзя применять обычный усилитель постоянного тока из-за значительного дрейфа нуля этих усилителей. Так как основной составляющей дрейфа нуля являются медленные изменения выходного напряжения, применен усилитель прерывистого действия, в течение короткого отрезка времени работы которого дрейф нуля оказывается незначительным.

В этом усилителе каскады связаны емкостью C_2, но сеточная цепь лампы $Л_{1б}$ шунтируется не сопротивлением, а нормально замкнутыми контактами реле $P_{2в}$. При этом конденсатор C_2 в каждый момент времени заряжается до величины напряжения на аноде лампы $Л_{1а}$, повторяя все его изменения. Но эти изменения на сетку второго каскада не передаются, так как вход каскада замкнут контактами реле $P_{2в}$. При переключении контактов (замыкании входа $Л_{1а}$ и размыкании входа $Л_{1б}$) конденсатор C_2 некоторое время сохраняет установившийся на нем заряд, и в течение этого времени усилитель работает так же, как обычный усилитель с гальваническими связями. Взяв этот отрезок времени малым, избавляемся от вредного действия дрейфа нуля усилителя на работу устройства.

Прохождение отрицательного сигнала ошибки, соответствующего случаю брака СИ, иллюстрируется упрощенной временной диаграммой напряжений усилителя (рис. 3).

В начале цикла контроля t_0 конденсатор C_1 через нормально замкнутые контакты реле $P_{2з}$ заряжается до напряжения сигнала ошибки ($-U_{c_1}$) за время $t < 1{,}5$ *сек*. В момент t_1 временной коммутатор полу-

автомата запитывает реле P_{23} и конденсатор C_1 подключается к сетке $Л_{1а}$. Напряжение на аноде изменяется до U_{a_1}, и конденсатор C_2, имевший до этого потенциал U_{a_1}, также заряжается до U_{a_1}. В момент t_2 срабатывает P_{26}, его контакты замыкают вход каскада $Л_{1а}$ и размыкают вход $Л_{1б}$. На аноде $Л_{1а}$ устанавливается напряжение U_{a_0}, соответствующее нулевому сигналу на входе $Л_{1а}$.

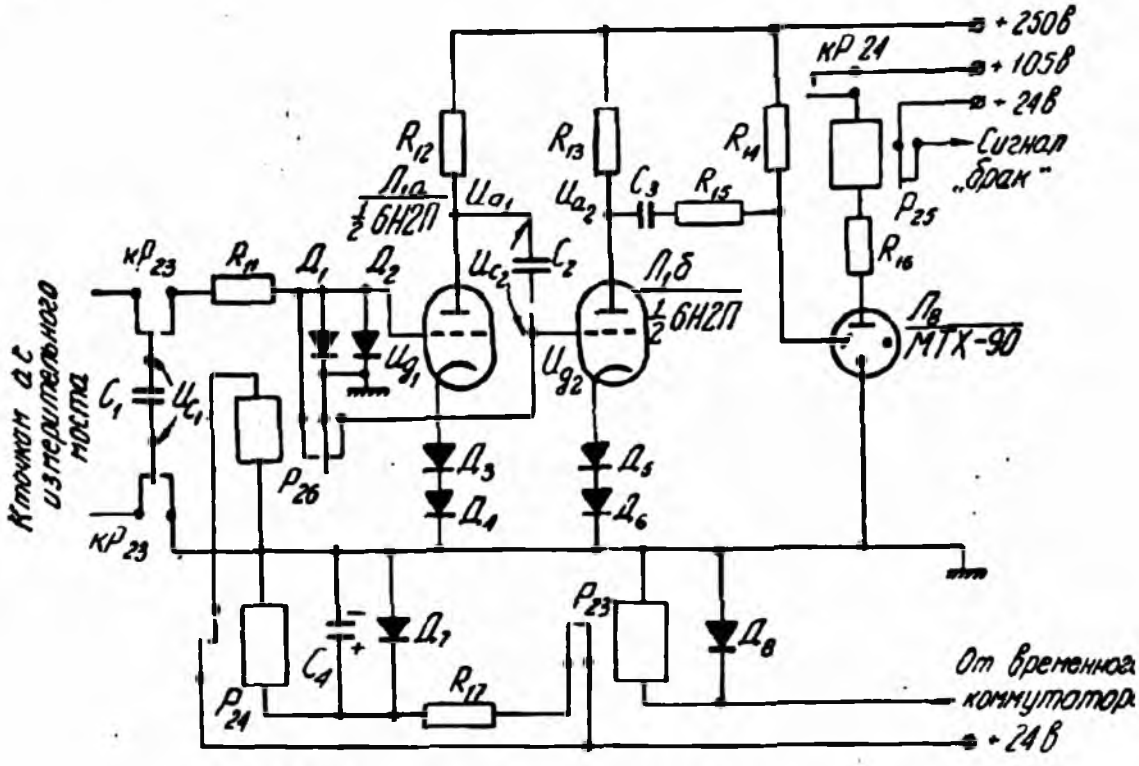

Рис. 2. Принципиальная схема усилителя-индикатора.

Благодаря отсутствию сопротивления утечки и сеточных токов в $Л_{1б}$ конденсатор C_2 почти не разряжается; он передает скачок $\Delta U_{a_1} = U_{a_1} - U_{a_0}$ на вход второго каскада без искажений, т. е. эта связь работает как гальваническая. На аноде $Л_{1б}$ возникает положительный скачок напряжения, который поджигает тиратрон МТХ-90 ($Л_8$). Реле P_{23} выдает сигнал «брак», поступающий на исполнительные устройства.

В момент времени t_3 временной коммутатор полуавтомата снимает питание с реле P_{23} и цикл контроля повторяется для другой обмотки. Если для новой обмотки изменяется предельное значение СИ, то промежуток времени $t_4 - t_3$ используется для переключения реле моста $P_{11} \div P_{18}$ на новый номинал. При положительном сигнале ошибки мостовой схемы, соответствующем нормальному состоянию изоляции, на управляющий электрод тиратрона поступит отрицательный перепад напряжения, на который спусковая схема не реагирует.

Данные схемы и режим усилителя. Время $t_2 - t_1 \approx 0{,}1$ *сек* равно разности в моментах срабатывания реле P_{23} и P_{26}. Оно определяется данными $R_{17}C_4$ и P_{24}. Диод $Д_1$ (типа $Д106А$) играет роль сопротивления утечки $Л_{1а}$; $Д_2$ (типа Д811) предохраняет $Д_1$ от пробоя при больших отрицательных сигналах ошибки. Диоды $Д_3 \div Д_6$ используются для создания смещения на $Л_{1а}$ и $Л_{1б}$. Благодаря нелинейности их характеристик устраняется обратная связь по току. $Д_7$, $Д_8$ уменьшают наводки в цепях усилителя при отключении P_{23} и P_{24}. Напряжения сеточного

смещения первого и второго каскадов — 1,3 *в*, токи анодов — 0,15 *ма*, напряжения на анодах +125 *в*. Ток подготовки в цепи управляющего электрода $Л_8$ 12 ÷ 15 *мка*.

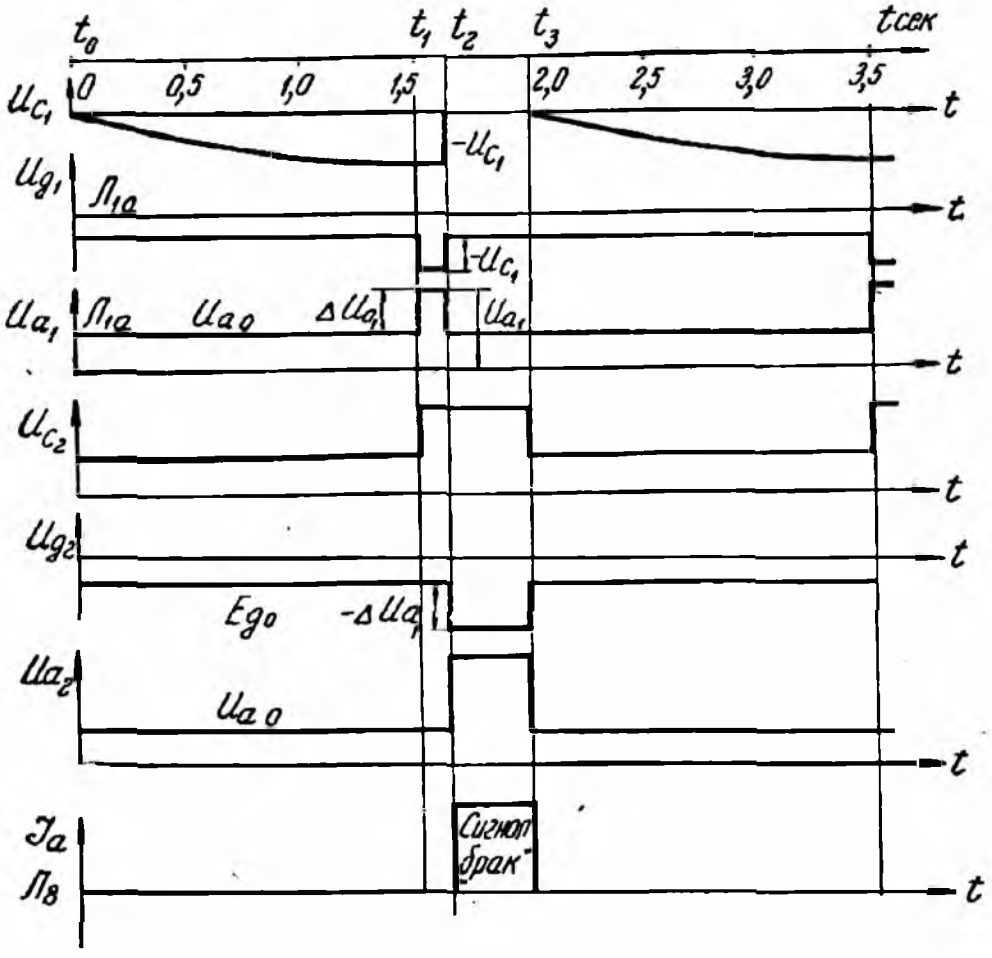

Рис. 3. Упрощенная временная диаграмма напряжений усилителя-индикатора.

Результаты испытаний изменения коэффициента усиления усилителя (каскады $Л_{1а}$ и $Л_{1б}$) в зависимости от величины входного сигнала даны в табл. 1.

Таблица 1

U_{c_1}, *мв*	ΔU_{a_2}, *в*	$K = \frac{\Delta U_{a_2}}{U_{c_1}}$
0	±2	—
—5	+12	2400
—10	+30	3000
—20	+55	2700
—30	+75	2000
—90	+125	1400

Устойчивый порог срабатывания усилителя — 5 *мв*, т. е. в 4 раза лучше порога, допустимого заданной погрешностью контроля. Следовательно, погрешность за счет порога срабатывания усилителя-индикатора не превышает допустимую.

Защита измерительных цепей от токов утечки. Для уменьшения погрешности, вызванной несовершенством изоляции самой измерительной схемы, в описываемом устройстве применен метод *эквипотенциальной защиты* [4], который основан на отсутствии токов утечки между поверхностями равного потенциала. Защита применена для устранения утечек через изоляцию плат, на которых смонтированы образцовые сопротив-

ления $R_1 \div R_8$, реле $P_1 \div P_{18}$, P_{23} и соединительных проводников. Для этого реле изолируются от панели шасси прокладками, и на корпуса реле подается защитный потенциал. Монтаж соединений мостовой схемы с контролируемым трансформатором выполнен кабелем РК-19, на экран которого подан защитный потенциал.

Испытания блока. Проверялась погрешность контроля СИ при трех напряжениях контроля 100, 250, 500 *в* и различных значениях контролируемого СИ. В качестве эквивалента СИ использовался набор последовательно соединенных магазинов сопротивлений типов МСШ-70-1, МСШ-70-2, МСШ-70-3 и Р405.

Результаты проверки погрешности контроля на различных номиналах контролируемых СИ приведены в табл. 2.

Таблица 2

Напряжение контроля, *в*	Погрешность контроля, %	R_x, *мом*					
		5	10	20	100	200	400
100	δ	2,0	1,0	3,0	3,0	2,5	2,5
250	δ	2,0	2,0	3,0	3,0	2,0	1,7
500	δ	2,0	2,0	3,0	3,0	1,5	1,2

Испытания устройства и двухгодичная эксплуатация в цеховых условиях подтвердили устойчивость его работы и эксплуатационную надежность.

Конструкция устройства определяется применением его в полуавтомате, испытательные блоки которого размещены под вращающимся конвейером. Верхнюю часть блока занимает прижимная контактная плата с поджимающим электромагнитом. На отдельной П-образной скобе установлены реле $P_1 \div P_{10}$ коммутации обмоток испытуемых трансформаторов. Сопротивления моста установлены на эбонитовых монтажных пластинах, находящихся под напряжением контроля СИ. Реле коммутации обмоток трансформаторов и сопротивлений магазинного плеча моста $P_{11} \div P_{18}$ типа РМУГ. Усилитель-индикатор выполнен на отдельном коробчатом шасси для уменьшения импульсных наводок при работе контактных коммутирующих элементов полуавтомата. Габариты $250 \times 200 \times 600$ *мм*. Вес 12 *кг*.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. И. Грибанов. Измерение слабых токов, зарядов и больших сопротивлений. Госэнергоиздат, 1962.

2. Г. П. Минин. Мегомметр. Госэнергоиздат, 1963.

3. К. Б. Карандеев. Мостовые методы измерений. Гостехиздат УССР, 1953.

4. К. Б. Карандеев. Специальные методы электрических измерений. Госэнергоиздат, 1963.

5. Ф. Б. Гриневич, М. А. Ахмаметьев. Схема устройства для сортировки слюдяных конденсаторов по сопротивлению изоляции. Сб. «Электрические методы автоматического контроля», вып. 3. Изд-во СО АН СССР, 1962.

6. С. А. Голубь. Устройство для измерения высокоомных сопротивлений. Авт. свид. № 175122 от 21/IX 1967. Бюллетень изобретений, 1966, № 8.

7. М. Д. Савельзон, Г. Р. Рудольф, Р. Я. Якубович. Автоматизация контроля электрических параметров радиоаппаратуры. «Радиотехническое производство». 1957, № 15.

8. В. Б. Кулаковский. Профилактические испытания изоляции крупных электрических машин. Госэнергоиздат, 1961.

9. А. Д. Нестеренко. Основы расчета электроизмерительных схем уравновешивания. Изд-во АН УССР, 1960.

10. К. А. Нетребенко. Цифровые автоматические компенсаторы. Госэнергоиздат, 1961.