

Е.А. СЕДОВА

## УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МАЛЫХ КОНТАКТНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ

Проведено аналіз схем вимірювання, що використовують для безпосереднього контролю величин малих електричних опорів контактів. Запропоновано схема пристрою, що містить мілівольтметр, яка підвищує точність контролю таких опорів і спрощує процес вимірювань.

Проведен анализ схем измерения, применяемых для непосредственного контроля величин малых электрических сопротивлений контактов. Предложена схема устройства, содержащего милливольтметр, которая повышает точность контроля таких сопротивлений и упрощает процесс измерений.

**Введение.** Проблема надежности коммутирующих электрических аппаратов и реле является актуальной. Одним из путей ее решения является повышение надежности контактирования электрических контактов. Основным параметром, по которому можно контролировать состояние контактов является контактное сопротивление. Существующие методы исследования контактного сопротивления в цепях с малым уровнем сигнала и наличии смазки на контактных поверхностях требует большого числа замеров контактного сопротивления, поскольку требуется набор статистики для обеспечения высокой достоверности измерений и исключение влияния термо-ЭДС и помех. Кроме того, во время измерений контактного сопротивления важно, чтобы приложенное напряжение никогда не превышало напряжения, при котором производится исследование контактов. Если при измерении контактного сопротивления ЭДС измерительной цепи превышает 20 мВ, может наступить электрический пробой пленки, после чего наступает металлическое контактирование. Величина измеренного контактного сопротивления при этом будет низкой, однако такой контакт откажет в цепях с малым уровнем сигнала. Поэтому желательно, чтобы при замере величины контактного сопротивления ЭДС измерительной цепи не превышала  $5 \cdot 10^{-3}$  В и процесс измерения не вызывал изменения структуры контактирования.

Известные приборы прямого отсчета являются наиболее производительными и простыми в работе. Среди них можно отметить измерители контактных сопротивлений Е6-6 и Е6-12. Микроомметры М246 и Ф415 не пригодны для измерения сопротивлений электрических контактов аппаратов, работающих в цепях с малым уровнем сигнала, так как в их разомкнутой измерительной цепи составляет  $5 \text{ В} \div 50 \text{ мВ}$ .

Приборов прямого отсчета, пригодных для замера сопротивления контактов в цепях с малым уровнем сигнала в настоящее время нет. В связи с необ-

ходимостью обеспечения малой величины ЭДС измерительной цепи использование простых составных схем крайне затруднительно, так как падение напряжения на замкнутых проверяемых контактах получается настолько мало, что его тяжело измерить.

Для этого рекомендуется применять специальные составные измерительные схемы, состоящие из нескольких высокочувствительных электроизмерительных приборов, источника питания и устройств, которые обеспечивают возможность проведения измерений при ЭДС разомкнутой измерительной цепи менее 20 мВ.

**Цель работы** – анализ схем измерения, применяемых для непосредственного контроля величин малых электрических сопротивлений контактов, и описание устройства, реализующего одну из схем измерений.

**Анализ схем измерения малых электрических сопротивлений контактов.** Применение измерительной *схемы амперметр-вольтметр* крайне затруднительно из-за своей громоздкости, необходимости изготовления большого количества эталонных и нагрузочных резисторов, проведения большого количества переключений в процессе измерений. Кроме того, для получения результата измерения необходимо по показаниям милливольтметров производить математические вычисления по формуле:

$$R_x = \frac{U_x}{U_k R_k}, \quad (1)$$

где  $R_x$  – сопротивление измеряемого контакта;  $U_x$  – падение напряжения на измеряемом контакте;  $U_k$  – падение напряжения на калибровочном резисторе;  $R_k$  – сопротивление калибровочного резистора.

Другой метод – *компенсационный*. Его рекомендуется применять при необходимости получения особо точных, прецизионных измерений. При этом необходимо собирать схему на базе измерительного потенциометра с гальванометром со светолучевым отсчетом и эталонным резистором, чувствительным к изменению окружающей температуры и вибрациям. Операция измерения требует многочисленных переключений декад потенциометра. С целью исключения термо-ЭДС замер производится дважды при измерении полярности тока измерительной цепи. Результат измерения получают методом расчета. Процесс измерения трудоемкий и сложный.

Рекомендуемая в литературе [1] *схема измерения электрических контактных сопротивлений изделий, работающих в цепях с малым уровнем сигнала* имеет на выходе прибор, который градуируется непосредственно в Омах. Но в связи с тем, что измерение производится при ЭДС измерительной цепи 5 В, схемой предусмотрено перед каждым замером производить контроль наличия контактирования при 5 мВ. Для получения отсчета необходимо постепенно увеличивать ток в измерительной цепи, строго следя за тем, чтобы падение напряжения на измеряемом контакте не превысило 5 мВ. Работа с этой схемой требует от исследователя повышенной внимательности из-за необходимости строгого соблюдения последовательности проведения коммутаций в

процессе работы, а производительность при этом получается низкая.

Известный миллиомметр Е6-12, предназначенный для измерения контактных сопротивлений на переменном токе *методом непосредственного отсчета* имеет высокие технические и эксплуатационные характеристики. Диапазон измеряемых миллиомметром сопротивлений от 0,1 МОм до 10 Ом, класс прибора 3,0. С целью исключения влияния термо-ЭДС на измеряемых контактах и повышения помехоустойчивости, измерительная цепь его питается от источника ЭДС 50 В, 500 Гц. Однако, прибор Е6-12 имеет тот недостаток, что величина ЭДС измерительной цепи составляет 50 мВ, тогда как для получения достоверных результатов измерения электрического сопротивления контактов, работающих в цепях с низким уровнем сигнала, эта ЭДС не должна превышать 20 мВ, а предпочтительно 5 мВ.

Анализ этих методов показывает, что при устранении недостатка, связанного с ограничением величины ЭДС на уровне 50 мВ, метод непосредственного отсчета может быть применен для измерения контактных сопротивлений в широком диапазоне, от 0,1 МОм до 10 Ом.

**Схема устройства для замера контактного сопротивления в цепях с малым уровнем сигнала.** На базе прибора Е6-12 разработана схема и изготовлен прибор, отвечающий требованиям, предъявляемым к измерению сопротивления контактов в цепях с малым уровнем сигнала методом непосредственного отсчета. Базовый прибор содержит набор следующих элементов: набор образцовых резисторов, усилитель, синхронный детектор с отсчетным прибором, мультивибратор-источник измерительного напряжения и блок питания схемы с импульсным трансформатором. Для обеспечения измерений ЭДС в измерительной цепи 5 мВ дополнительно введены источник ЭДС в виде дополнительной обмотки на импульсном трансформаторе, второй калибровочный резистор и переключатель режимов измерения.

На рис. 1 представлена функциональная схема миллиомметра. Миллиомметр содержит: делитель шкал (переключатель с комплектом эталонных резисторов) 1, ключ управления ("Измерение-калибровка") 2, калибровочный резистор 3 для режима 50 мВ и калибровочный резистор 4 для режима 5 мВ, переключатель режимов измерения (5 мВ или 50 мВ) 5, усилитель 6, фазовый (синхронный) детектор с отсчетным прибором 7, источник питания измерительной цепи (мультивибратор, формирующий усилитель и импульсный трансформатор) 8 и блок питания 9. Позицией 10 обозначено измеряемое контактное сопротивление, включенное по четырехпроводной схеме. Выводы 11 и 12 дополнительной обмотки импульсного трансформатора выдает в измерительную цепь соответственно 5 мВ и 50 мВ.

Второй калибровочный резистор служит для сохранения режима работы усилителя, синхронного детектора и градуировки отсчетного прибора при указанном режиме измерения. Переключатель режимов измерения предназначен для одновременной коммутации обмотки импульсного трансформатора и соответствующих калибровочных резисторов и позволяют производить измерения в режимах 5 мВ либо 50 мВ. Миллиомметр работает по принципу

измерения падения напряжения на измеряемом контактном сопротивлении 10 при заданной величине тока, обусловленной величиной ЭДС измерительной цепи (5 мВ или 50 мВ) и выбранном эталонном резисторе делителя шкал 1. ЭДС измерительной цепи подается с обмотки импульсного трансформатора источника питания измерительной цепи 8 через переключатель режимов измерения 5 и делитель шкал 1 на измеряемое контактное сопротивление 10.

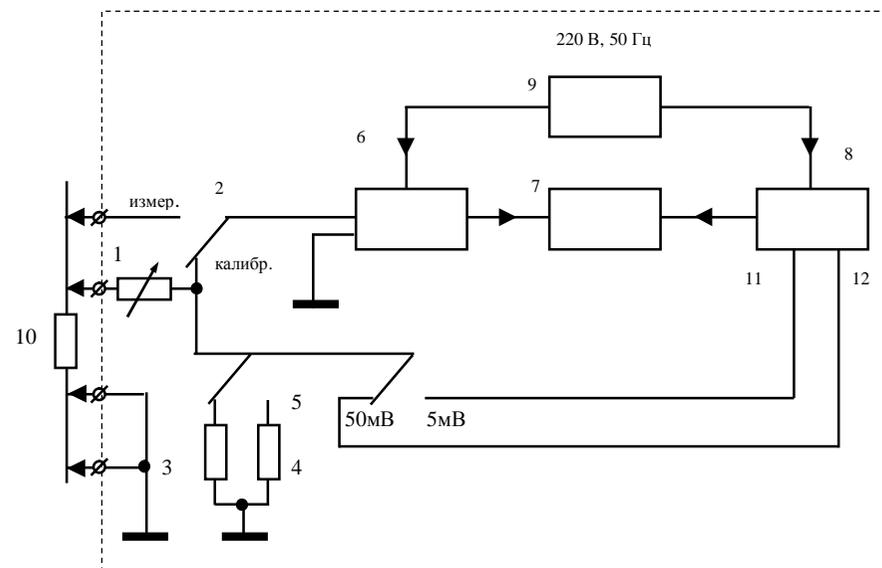


Рис. 1. Функциональная схема миллиомметра для замера контактного сопротивления в цепях с малым уровнем сигнала

Падение напряжения на измеряемом сопротивлении 10 через ключ управления 2 в положении "Измерение" поступает на вход усилителя 6, где усиливается с попадает на фазовый детектор 7, примененный с целью получения линейной шкалы, включенного на выходе отсчетного прибора и устранения влияния помех на результат измерения.

При наличии на измеряемом контактном сопротивлении диэлектрической пленки, вследствие малой величины ЭДС не происходит ее пробой, а результат измерений получается аналогичным тому, какой был бы в цепи малой мощности при токе, составляющем доли микроампера, и ЭДС – доли микровольта.

**Режимы работы прибора.** Для измерения электрических контактных сопротивлений изделий, работающих в цепях с низким уровнем сигнала, переключатель режима измерения 5 устанавливается в положение 5 мВ, а делитель шкал 1 – в положение, соответствующее ожидаемой величине измеряемого сопротивления. Результат измерения считывается со шкалы отсчетного

прибора при переводе ключа управления 2 в положение "Измерение". Поскольку величины эталонных резисторов делителя шкал 1 те же, что и у базового прибора Е6-12, а ЭДС измерительной цепи уменьшена с 50 мВ до 5 мВ в предложенном приборе, результат измерения следует умножить на 10 ЭДС измерительной цепи.

При необходимости проведения измерения электрических контактных сопротивлений изделий, работающих в цепях с большими мощностями, переключатель режима измерения 5 устанавливается в положение 50 мВ и дальнейшие измерения производятся аналогично.

Для калибровки миллиомметра ключ управления 2 ставится в положение "Калибровка". При этом последовательно с эталонным резистором делителя шкал 1, вместо измеряемого контактного сопротивления 10, подключается эталонный калибровочный резистор 3 (для режима 50 мВ) или 4 (для режима 5 мВ). Падение напряжения на калибровочном резисторе обусловлено величиной сопротивления эталонного резистора делителя шкал 1 и ЭДС измерительной цепи. Поскольку эталонный резистор делителя шкал 1 один и тот же для режимов 50 мВ и 5 мВ, то для создания одинакового падения напряжения на калибровочных резисторах 3 и 4 резистор 4 для режима 5 мВ выбран в 10 раз больше, чем резистор 3 (для режима 50 мВ).

**Выводы.** Использование разработанного миллиомметра, взамен применяемых в настоящее время специальных составных схем, при замере электрических контактных сопротивлений коммутационных, установочных и соединительных изделий, работающих в цепях с малым уровнем сигнала, позволяет значительно упростить и ускорить процесс измерения, уменьшить число необходимых для измерения приборов (взамен трех по схемам – один миллиомметр). Погрешность измерения миллиомметром не превышает 3-4 % и в малой степени зависит от изменения температуры в помещении и вибрации. Прибор может быть применен как в цеховых условиях для контроля продукции, так и при исследовательских работах, когда требуется проведение большого числа измерений с высокой точностью.

*Поступила в редколлегию 11.05.08*

**УДК 621.039.05**

**Н.Н. ЧЕРНЫШОВ**, канд.техн.наук

**В.М. БЕРЕСНЕВ**, д-р.техн.наук

**В.С. ЛУПИКОВ**, д-р.техн.наук

**А.М. БОВДА**, канд.физ.-мат.наук

**Ю.В. ЧЕРВОНЫЙ**

**ЛЮ ЧАН**

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОГРАММ ДЛЯ НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКОГО РАСЧЕТА РЕАКТОРОВ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

У роботі дана характеристика комп'ютерних програм для нейтронно-фізичного розрахунку реакторів атомних електростанцій. Показано, що розрахунок полів нейтронів рахується за допомогою багатогруппових програм, які становлять недифузійність переносу нейтронів. Ці програми мають можливість оцінки похибки розрахункового функціоналу. Розглянуті питання організації програм та розрахункові моделі активних зон реакторів. Зроблено висновок, що комп'ютерні моделі для розрахунку реакторів створюються з метою забезпечення можливості розглядання історії цілої технологічної одиниці.

В работе дана характеристика компьютерных программ для нейтронно-физического расчета реакторов атомных электростанций. Показано, что расчет полей нейтронов производится с помощью многогрупповых программ, учитывающих недиффузионность переноса нейтронов. Эти программы содержат возможность оценки погрешности расчетного функционала. Рассмотрены вопросы организации программ и расчетные модели активных зон реакторов. Сделано заключение, что компьютерные модели для расчета реакторов делаются с целью обеспечения возможности отслеживания истории целостной технологической единицы.

**Введение.** В настоящее время вклад ядерной энергетики в мировой топливно-энергетический баланс достаточно велик. Отсутствие альтернативных источников электроэнергии во всем мире делает ядерную энергетику перспективной, несмотря на имевшие место аварии, получившие широкий общественный резонанс на Three-Mile-Island в США и Чернобыльской АЭС. Спектр ядерных реакторов в мировой энергетике весьма широк: от использующих необогащенное топливо реакторов типа CANDU до реакторов на быстрых нейтронах (БН) с натриевым теплоносителем. Для обоснования безопасной работы АЭС используются эксплуатационные и расчетные компьютерные программы. К их числу относятся программы, работающие в режимах: "off-line", "on-line" и тренажерные программы. Необходимость использования эксплуатационных программ отражена в правилах ядерной безопасности реакторных установок. В связи с ростом требований к высокой точности расчета, корректному учету нелинейных связей при определении характеристик реак-