

2. Кутепов, А. М. Гидродинамика и теплообмен при парообразовании / А. М. Кутепов, Л. С. Стерман, Н. Г. Стюшин. – М. : Высш. шк., 1977. – 352 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫСОКОВОЛЬТНОГО РАЗЪЕДИНИТЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА И МИКРООММЕТРА

И. Ю. Микулич, М. С. Манюкевич

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель Д. И. Зализный

*Рассмотрен лабораторный стенд, созданный на кафедре «Электроснабжение» и позволяющий выполнять измерения сопротивлений контактов и заземления высоковольтного разъединителя РЛНД-1-10П/200 с помощью микропроцессорного микроомметра, также разработанного на кафедре.*

**Ключевые слова:** лабораторный стенд, разъединитель, микроомметр, испытания, потери электроэнергии.

Измерение сопротивлений различных элементов электрических цепей является очень важным для задач энергетика. Особенно на значительных участках линий электропередач наличие даже небольшого сопротивления создает одну из крупнейших проблем передачи электроэнергии – энергетические потери, расходующиеся на нагревание проводников. Поэтому необходимо проводить контроль сопротивления на участках цепи и на различных элементах, например, таких, как высоковольтные разъединители. Для изучения студентами принципов работы и испытаний подобных элементов сети на кафедре «Электроснабжение» ГГТУ им. П. О. Сухого был создан лабораторный стенд, имеющий название «Высоковольтный разъединитель» (рис. 1).

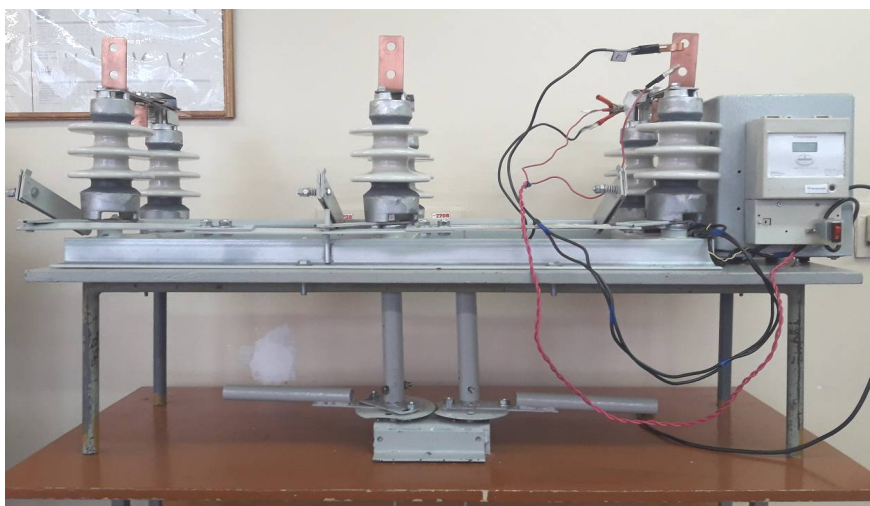


Рис. 1. Внешний вид лабораторного стенда

Основой разработанного стенда является высоковольтный разъединитель РЛНД-1-10П/200, рассчитанный на напряжение 10 кВ и номинальный ток 200 А. Поворот валов контактной системы разъединителя и его системы заземления осуществляется с помощью механического привода ПРНЗ-10.

Важным компонентом лабораторного стенда является микроомметр, разработанный на кафедре. В стенде микроомметр используется для контроля сопротивлений замкнутых контактов разъединителя. Диапазон измерений составляет от 10 до 1800 мкОм.

Внешне микроомметр состоит из источника тока и измерительного модуля. Измерения осуществляются по четырехпроводному методу Кельвина (рис. 2).



Рис. 2. Схема подключения измеряемого объекта к микроомметру

На измеряемый объект подается постоянный ток 6 А, после чего прибор измеряет падение напряжения, и затем программное обеспечение микроконтроллера по закону Ома выполняет расчет значения сопротивления. Для повышения точности микроомметр проводит 10 измерений подряд и выводит среднее значение результата на дисплей.

В процессе наладки лабораторного стенда была выполнена калибровка микроомметра на нескольких медных проводах разной длины. В результате получены значения абсолютных погрешностей в соответствии с формулой

$$\Delta R_i = R_{\text{изм}i} - R_{\text{расч}i}, \quad (1)$$

где  $i$  – номер измерения;  $R_{\text{изм}i}$  – значения сопротивлений, измеренные микроомметром;  $R_{\text{расч}i}$  – расчетные значения сопротивлений использованных медных проводов.

Полученные значения приведены в таблице.

#### Результаты градуировки микроомметра

$R_{\text{расч}i}$ , мкОм	$R_{\text{изм}i}$ , мкОм	$\delta$ , %
94,8	94,8	0
158	153,7	-2,8
259,1	248,1	-4,4
290,7	279,8	-3,9
413,3	396,5	-4,2
685	687,7	0,4

Из таблицы следует, что максимальная относительная погрешность измерения сопротивления  $\delta$  не превышает 5 %. Это значит, что класс точности разработанного прибора приблизительно равен 5.

На разработанном лабораторном стенде были проведены измерения сопротивлений главных контактов разъединителя при помощи микроомметра. В результате для полностью замкнутых контактов сопротивление первого полюса составило 138,3 мкОм,

второго – 132,1 мкОм, третьего – 117,6 мкОм. Таким образом, можно сделать вывод, что исследуемый разъединитель РЛНД-1-10П/200 не соответствует требованиям ГОСТ Р 52726–2007, по которым максимально допустимым является сопротивление замкнутых главных контактов, равное 120 мкОм.

Далее были рассчитаны потери в контактах разъединителя, которые наблюдались бы при протекании через него номинального тока  $I = 200$  А. Потери рассчитывались без учета повышения сопротивления при нагревании контактов из-за протекающего тока по формуле

$$P_{\text{потр}} = I^2(R_1 + R_2 + R_3), \quad (2)$$

где  $R_1 - R_3$  – значения сопротивлений главных контактов разъединителя.

В результате суммарные потери составили 15,5 Вт.

Тогда годовые потери электроэнергии вычисляются по формуле

$$W = P_{\text{потр}} t_{\text{г}} = 15,5 \cdot 8760 = 135,8 \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (3)$$

где  $t_{\text{г}}$  – количество часов в году, равное 8760.

В финансовом выражении это эквивалентно 32,7 бел. руб. (при стоимости – 0,2459 бел. руб. за 1 кВт·ч. Исходя из данных расчетов можно сделать вывод о том, что разъединители имеют достаточно низкие энергетические потери, но это не отменяет важности контроля их сопротивлений.

## АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТЕЙ АЛГОРИТМОВ РАСЧЕТА АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НАГРУЗКИ В ОДНОФАЗНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

**Р. Ш. Шипецкий**

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель Д. И. Зализный

*Рассмотрены два вида алгоритмов расчёта активной мощности в программном обеспечении современных измерительных приборов: с разложением в ряд Фурье и без этого разложения. Показано, что при выполнении условий теоремы Котельникова эти алгоритмы практически равноценны, однако второй тип алгоритма значительно менее требователен к вычислительным ресурсам измерительного прибора.*

**Ключевые слова:** активная мощность, алгоритм, ряд Фурье, период дискретизации, точность.

Существует два метода расчета активной мощности нагрузки электрической сети по измеренным значениям напряжения и тока:

– на основе действующих значений напряжения и тока с разложением в ряд Фурье;

– на основе мгновенных значений напряжения и тока.

В рамках первого метода расчет выполняется за один период напряжения сети  $T$  по формуле