

МЕТОД КОНТРОЛЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

THE INSULATION RESISTANCE CONTROL METHOD OF ELECTRICAL EQUIPMENT

Аннотация. Обоснован метод контроля сопротивления изоляции электрооборудования. Метод состоит в том, что сопротивление изоляции преобразуется в серию треугольных импульсов, длительность которых пропорциональна контролируемому сопротивлению. Метод позволяет повысить качество контроля состояния изоляции.

Summary. The insulation resistance control method of electrical equipment is proved. At the given method the insulation resistance is transformed into a series of triangular pulses. The pulse duration is proportion to controlled insulation resistance. The method allows to increase the control quality of insulation state.

На предприятиях электро- и почтовой связи в эксплуатации находится различное электрооборудование: двигатели, генераторы, трансформаторы и т.д. Для поддержания бесперебойного технологического процесса необходим постоянный контроль параметров этого оборудования. Качественный контроль параметров электрооборудования, находящегося в работе и в резерве, является актуальной проблемой, так как от этого зависит безаварийная работа предприятия. Одним из основных параметров указанных устройств является сопротивление изоляции. Если этот параметр не в норме, то включение такого оборудование не допускается.

Существующие системы управления [1] позволяют вести непрерывный контроль сопротивления изоляции электрооборудования и не допускать их включения при заниженной величине изоляции. Однако, качество контроля существующих систем не всегда позволяет избежать аварийных ситуаций.

Целью данной работы является обоснование предложенного метода, повышающего качество контроля параметров электрооборудования.

Схемы, реализующие методы контроля сопротивления изоляции в современных системах управления, содержат в канале передачи информации следующую последовательность преобразователей [1]:

- аналоговый преобразователь сопротивления изоляции в постоянное напряжение;
- коммутатор аналоговых сигналов, позволяющий передавать информацию на один контроллер от нескольких электродвигателей;
- аналогово-цифровой преобразователь (АЦП).

Все три указанных преобразователя влияют на точность измерения и передачи информации.

Суть предлагаемого метода состоит в том, что сопротивление изоляции контролируемого агрегата преобразуется в длительность импульсов и через коммутатор непосредственно передается на вход контроллера. Следует заметить, что коммутатор в этом случае не влияет на длительность импульсов. Таким образом, исключив влияние коммутатора и АЦП, мы можем повысить точность измерения сопротивления изоляции электрооборудования [2].

1. Обоснование метода. Для преобразования сопротивления изоляции агрегата в длительность импульсов используется процесс периодического заряда-разряда прецизионной емкости через сопротивление изоляции контролируемого агрегата.

На рис.1 приведена эквивалентная схема замещения, демонстрирующая метод.

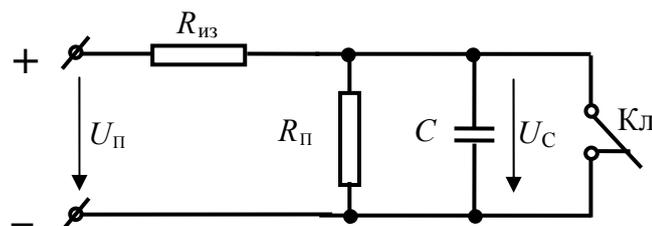


Рисунок 1 – Эквивалентная схема замещения устройства

На рис. 1 обозначены:

$R_{из}$ – сопротивление изоляции агрегата; Кл – ключ; C – прецизионная емкость; $R_{п}$ – эквивалент сопротивлений потерь емкости C и ключа Кл в разомкнутом состоянии; $U_{п}$ – постоянное напряжение питания схемы равно 500 В; $U_{с}$ – напряжение емкости C .

При размыкании ключа Кл емкость начнет заряжаться, на рис. 2 изображен процесс заряда.

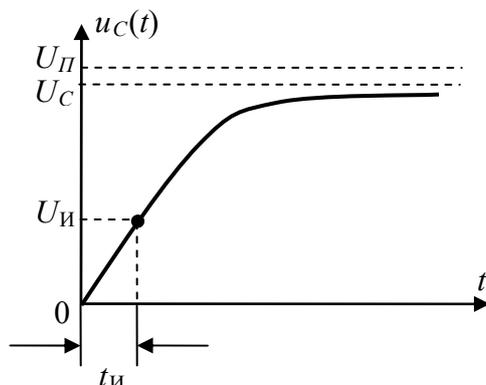


Рисунок 2 – Временная диаграмма напряжения заряда

Согласно [3] переходный процесс можно описать выражением:

$$u_c(t) = U_{п} \frac{R_{п}}{R_{п} + R_{из}} (1 - e^{-t/\tau}), \quad (1)$$

где $\tau = \frac{R_{п} R_{из} C}{R_{п} + R_{из}}$ – постоянная времени цепи рис. 1 при заряде емкости;

$U_{с}$ – напряжение заряженной емкости.

При $t = t_{и}$ выражение (1) примет вид:

$$U_{и} = U_{п} \frac{R_{п}}{R_{п} + R_{из}} (1 - e^{-t_{и}/\tau}) = U_{с} (1 - e^{-t_{и}/\tau}),$$

из которого после несложных преобразований можно определить:

$$t_{и} = -\frac{R_{из} C}{1 + \frac{R_{из}}{R_{п}}} \ln \left[1 - \frac{U_{и}}{U_{п}} \left(1 + \frac{R_{из}}{R_{п}} \right) \right]. \quad (2)$$

В выражении (2) $R_{п} \gg R_{из}$, поэтому $t_{и} > 0$.

Для работы схемы рис. 1 она дополнена электронной схемой, управляющей процессом автоматического заряда-разряда емкости C . При достижении напряжения емкости величины $U_{и}$ (рис. 2) ключ Кл замыкается.

2. Реализация метода. На рис. 3 приведена упрощенная схема реализации описываемого метода. В этой схеме для получения процесса преобразования сопротивления изоляции в длительность импульсов используется мультивибратор на RS триггере.

Работа схемы рис. 3 происходит следующим образом: при подаче напряжения $U_{п}$ емкость C начнет заряжаться через сопротивление $R_{из}$. Когда напряжение на ней достигнет величины напряжения срабатывания (для 561 серии это около 10 В) $U_{и}$, триггер установится в единицу и замкнет ключ Кл. Емкость C начнет разряжаться. Кроме того, напряжение с выхода RS триггера начнет заряжать емкость C_1 , через сопротивление R_1 . Когда напряжение на R-входе достигнет единицы, триггер установится в нулевое состояние. При этом ключ разомкнется и начнется процесс заряда емкости C и разряда емкости C_1 . Здесь следует заметить, что для того чтобы получить нужную длительность импульса $t_{и}$ в виде единицы, на выходе триггера необходимо включить инвертирующий каскад на транзисторе V_1 .

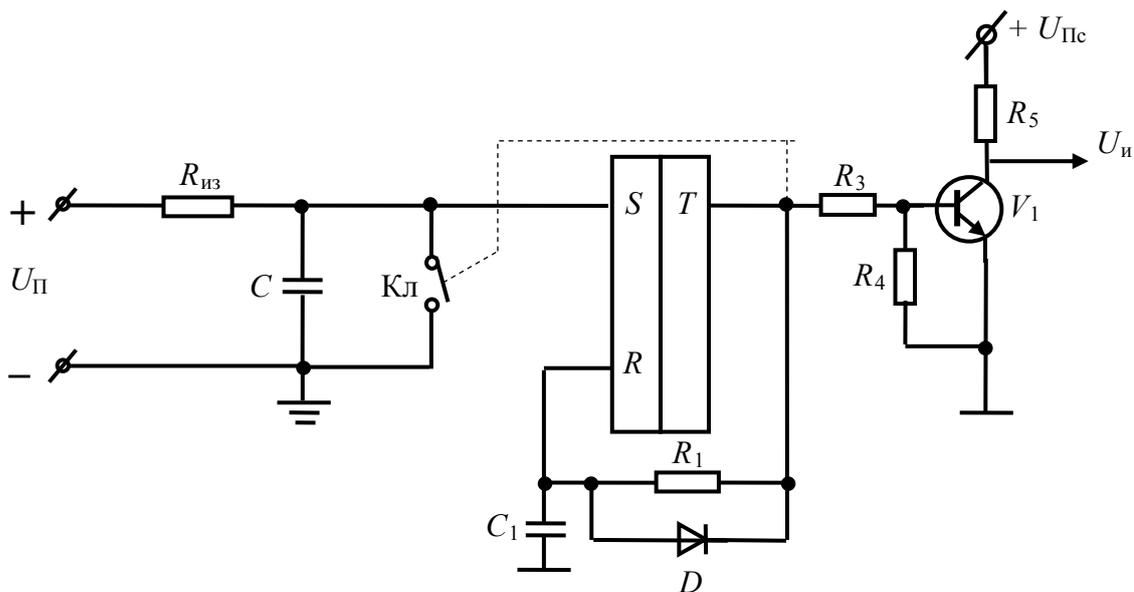


Рисунок 3 – Упрощенная схема реализации описываемого метода

Рассмотрим условия, которые следует соблюдать при построении рабочей принципиальной схемы преобразователя.

2.1. Из (2) видно, что для получения линейной зависимости преобразования необходимо выбирать элементы принципиальной схемы такими, чтобы $R_{\Pi} \gg R_{из}$.

2.2. Влияние нестабильности срабатывания RS триггера спрятано в выражении (2). Видно, что чем меньше отношение $\frac{U_{и}}{U_{\Pi}}$, тем меньше влияние дрейфа напряжения срабатывания триггера на величину $t_{и}$.

2.3. В схеме рис. 3 напряжение U_{Π} и напряжение питания RS триггера должны поступать от разных источников. Если не предусмотреть блокировку, то в случае, когда $U_{\Pi} \neq 0$, а напряжение питания RS триггера равно нулю, на его вход может попасть напряжение 500 В, что выведет преобразователь из строя.

2.4. Так как вход преобразователя соединен с корпусом электроагрегата, а корпус подключен к контуру защитного заземления, то на вход преобразователя может попасть продольная помеха, которую нельзя передавать на контроллер. Поэтому на выходе преобразователя необходим каскад гальванического разделения.

На рис. 4 приведена рабочая принципиальная схема преобразователя сопротивления изоляции электроагрегата, в которой учтены условия п. 2.1., 2.2., 2.3 и 2.4.

В схеме рис. 4 условия выполнены следующим образом:

Условие 2.1:

- выбрана емкость C типа К78-2 (конденсатор пленочный полипропиленовый металлизированный), сопротивление изоляции этой емкости составляет более 70 000 МОм [4];
- выбран операционный усилитель К140УД8 с входным сопротивлением более 7 000 МОм [5];
- сопротивление изоляции между разомкнутыми контактами герметичного реле типа N4100BS5DC12 более $35 \cdot 10^9$ Ом.

Таким образом, сопротивление R_{Π} составляет около $5,5 \cdot 10^9$ Ом.

Условие 2.2 оптимизировано выбором коэффициента усиления операционного усилителя.

При существующих элементах схемы рис. 4: $U_{\Pi} = 458$ В; $U_{и} = 1,91$ В; $\frac{U_{и}}{U_{\Pi}} = 0,0004$.

Условие 2.3 реализовано при помощи реле P_1 , его контакты отключают напряжение 500 В при отсутствии напряжения 15 В.

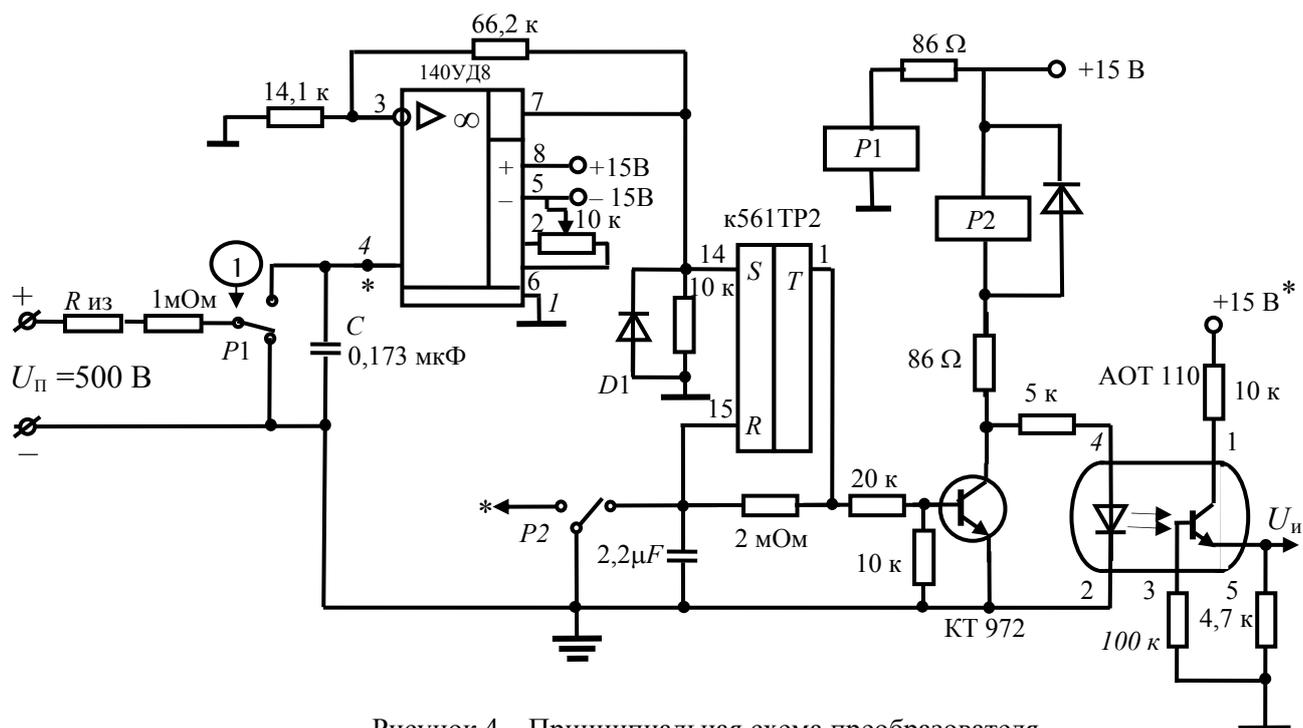


Рисунок 4 – Принципиальная схема преобразователя сопротивления изоляции электрооборудования

Условие 2.4 реализовано при помощи каскада гальванической развязки на оптроне АОТ-110.

Кроме выполнения условий 2.1...2.4 в схеме преобразователя рис. 4 применены улучшающие ее решения:

1. На входе преобразователя включено сопротивление величиной 1 МОм. Это сопротивление защищает преобразователь при $R_{из} = 0$ или коротком замыкании в отходящих цепях. При обработке результата измерения в программе контроллера предусмотрено вычитание величины этого сопротивления из результата измерения.

2. Для исключения влияния поверхностного сопротивления печатной платы, точка (1) рис. 4 смонтирована навесным монтажом на фторопластовой подложке.

Следует еще заметить, что при настройке преобразователя необходимо установить с помощью потенциометра $R_{ПО}$ напряжение на выходе операционного усилителя равно нулю, при нулевом напряжении на ножке 4.

В предлагаемом методе измерения сопротивления изоляции электроагрегата ($R_{из}$) коммутатор не влияет на точность измерения, так как переходное сопротивление коммутатора, через которое передаются импульсы, влияет на амплитуду, а не на длительность импульсов

На графике рис. 5 приведены расчетная (сплошная линия) и экспериментальная (штриховая линия) зависимости длительности импульсов от величины сопротивления изоляции электроагрегата.

В диапазоне измерений сопротивления изоляции от 0 до $0,4 \cdot 10^9$ Ом погрешность преобразования не превышает 1 %.

С выхода преобразователя импульсы амплитудой 5 В и длительностью пропорциональной $R_{из}$ поступают на вход контроллера.

3. Обработка результата преобразования с помощью контроллера. Обработка результата преобразования сопротивления изоляции электроагрегата в длительность импульсов осуществляется при помощи микроконтроллера фирмы Atmel: Mega 8.

Блок-схема алгоритма работы программы приведена на рис. 6.

Расшифруем операции в каждом блоке:

1. *Инициализация* – начальная установка режимов работы, распределение ресурсов и подготовка к работе.

2. *Запрос* – ожидание разрешения от ведущего устройства на запуск рабочего цикла.

3. *Передача данных* – передача данных, полученных на предыдущем шаге опроса.

4. *Разрешение* – контроль выполнения условий измерения.

5. *Измерение* – преобразование длительности импульсов в сопротивление изоляции, первичная математическая обработка, запись в память контроллера полученных результатов, переход к блоку «Запрос».

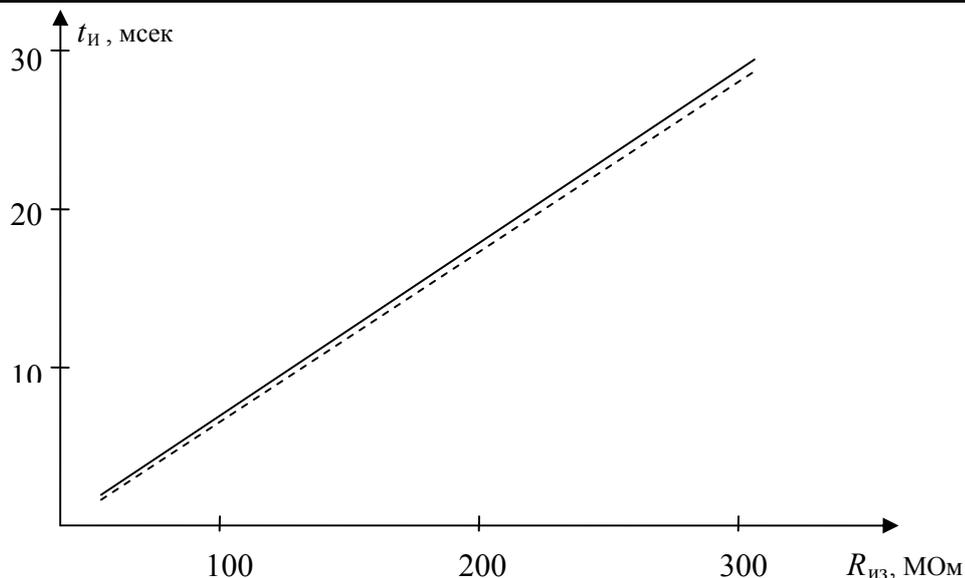


Рисунок 5 – Диаграмма зависимости сопротивления изоляции от $t_{и}$

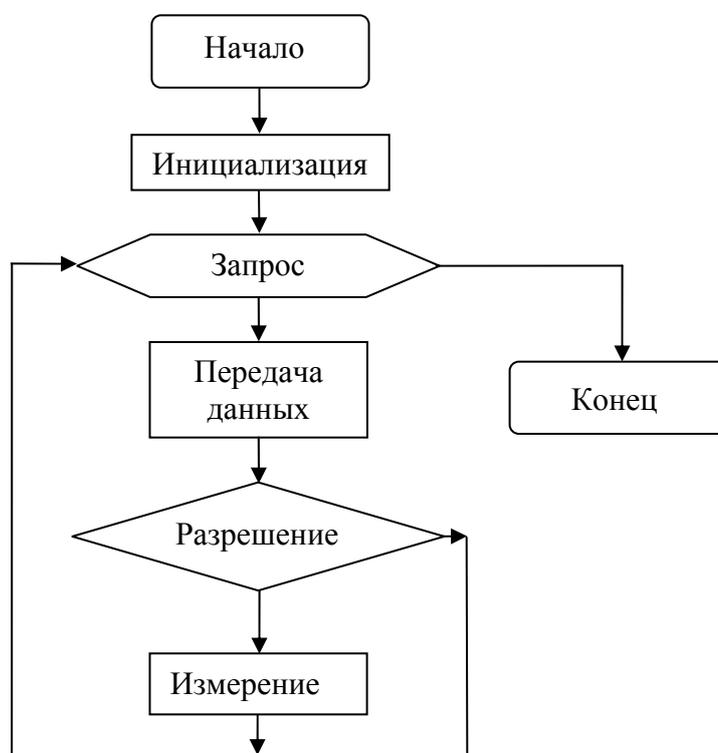


Рисунок 6 – Блок схема программы контроллера

В заключении следует отметить, что исключив из технологического цикла коммутатор аналоговых сигналов и аналого-цифровой преобразователь и применив преобразователь сопротивления в длительность импульсов, повысилось качество контроля сопротивления изоляции.

Следует также отметить, что предлагаемая схема преобразования внедрена на Одесском припортовом заводе (ОПЗ) и показала надежную работу в течении трех последних лет.

Литература

1. Кузнецов Н.Л. Надежность электрических машин: Учебное пособие для вузов. – М.: Изд. дом МЭИ, 2006.
2. Пат. 59855. Україна, МКИ G 01 R 31 Пристрій контролю ізоляції. Барбинягера М.П. (Укр.) Заявл. 26.12.2002; Опубл. 15.07.2005. Бюл. № 2.
3. Бакалов В.П., Воробийченко П.П., Крук Б.И. Теория электрических цепей: Учебник для ВУЗов. – М.: Радио и связь, 1998. – 444 с.
4. Аксенов А.И., Нефедов А.В. Элементы схем. Конденсаторы. – М.: Радио и связь, 1995.
5. Барбинягера М.П. Система диагностики состояния электродвигателей // Міжвідомчий науково-технічний збірник ОНПУ. Електромашинобудування та електрообладнання. – К.: Техніка. – Вип. 62, 2004, 137-140 с.