

4. Klimov V.S., Klimov A.S., Kudinov, A.A. Stabilizatsiia toka kontaktnoi svarki v usloviakh iznosa elektrodov [Stabilization of current of resistance welding in electrodes wearing conditions]. *Evrasiiskii Soiuz Uchenykh (ESU). Tekhnicheskie nauki – Eurasian Union of Scientists (ESU). Technical science*, 2015, vol. 10, no. 19, pp. 72-74. (Rus.)
5. Klimov A.S., Komirenko A.V., Klimov V.S., Antsiborov A.N. *Sposob stabilizatsii teplovydeleniia pri kontaktnoi tochechnoi svarke* [The method of heat stabilizing at resistance spot welding]. Patent USSR, no. 2424097, 2011. (Rus.)
6. Vasil'yev A.S., Komarov A.I., Strel'nikov V.P., Belakhov O.V. *Sposob regulirovaniia protsessa elektronagreva pri tochechnoi i shovnoi svarke* [A method for controlling electrical heating process in spot and seam welding]. Patent USSR, no. 662297, 1979. (Rus.)
7. Pomukhin N.P., Kuz'min G.M., Chernyavskiy Y.M. *Sposob regulirovaniia protsessa elektronagreva* [A method for controlling electrical heating process]. Patent USSR, no. 285737, 1973. (Rus.)
8. Klimov A.S., Komirenko A.V., Klimov V.S., Antsiborov A.N. *Sposob izmereniia soprotivleniia svarochnogo kontakta* [Method of measurement of contact resistance welding]. Patent RU, no. 2457497, 2011. (Rus.)
9. Burlaka V.V., Podnebennaya S.K., Gulakov S.V. *K voprosu razrabotki sredstv kontrolya pokazatelei kachestva elektroenergii i registratsii avariinykh rezhimov. Anotatsii dopovidei Mezhn. nauk.-tekhn. konf. «Universitetskaya nauka-2016»* [Issue of development tools monitoring power quality and recording of emergency modes. Abstracts of International scientific-technical conference «University Science-2016»]. Mariupol, 2016, vol. 1, p. 206. (Rus.)

Рецензент: В.Н. Матвиенко
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 05.10.2016

УДК 622.83

© Добровольская Л.А.¹, Черевко Е.А.²

АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ПРИ МОНИТОРИНГЕ НИЗКОВОЛЬТНОЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

В статье рассмотрена возможность использования предложенной функциональной схемы контроля состояния изоляции с помощью дополнительного высокочастотного сигнала, вводимого в силовую сеть. Для контроля состояния изоляции принято решение контролировать токи утечки. Для этого разработан специализированный вариант устройства контроля токов на основе селективного усилителя синусоидальных токов утечки.

Ключевые слова: изоляция, устройство контроля токов, селективный усилитель, пробный сигнал, токи утечки.

Добровольська Л.О., Черевко О.О. Автоматичний контроль стану ізоляції при моніторингу низьковольтної розподільчої мережі. У статті розглянута можливість використання запропонованої функціональної схеми контролю стану ізоляції за допомогою додаткового високочастотного сигналу, що вводиться в силову мережу. Для контролю стану ізоляції прийнято рішення контролювати струми витoku. Для цього розроблено спеціалізований варіант пристрою контролю струмів на основі селективного підсилювача синусоїдальних струмів витoku.

Ключові слова: ізоляція, пристрій контролю струмів, селективний підсилювач, пробний сигнал, струми витoku.

¹ канд. техн. наук, доцент ГВУЗ «Приазовський державний технічний університет», г. Маріуполь

² канд. техн. наук, ст. преподаватель, ГВУЗ «Приазовський державний технічний університет», г. Маріуполь, ludmila_dobrovolskaya@mail.ru

L.O. Dobrovolskaya, O.O.Cherevko. Automatic monitoring of isolation state in low-voltage distribution network. The article discusses the possibility of using the proposed functional isolation monitoring circuit with an additional high-frequency signal of 3500 Hz, introduced into the power network, which allows real-time detection of isolation leakage current not exceeding 8,5 mA. To check the isolation state it was decided to control leakage currents. To do this it is proposed to use the current control device developed by the authors that provides measurement of the currents in the lines and used by consumers. The device makes it possible to determine the magnitude and locations of the unauthorized taking away the power and to transmit the data to the control station wirelessly. It is proposed to extend the functionality of the device by automatically measuring leakage currents when monitoring the isolation state if current exceeds the permissible limits. This can be achieved by introducing a current control device of frequency-dependent selective amplifier of sinusoidal leakage currents that solves the problem of frequency separation and allows the isolation state control without disconnecting users from the network. Early detection and removal of defects of isolation before they become interfacial short circuits and dead ground short circuits will prevent the occurrence of dangerous situations, increase the reliability and service life of electrical networks and ensure uninterrupted power supply of consumers with electricity.

Keywords: *isolation, device of currents control, selective strengthener, trial signal, leakage currents.*

Постановка проблеми. Надежность и безопасность эксплуатации распределительных электрических сетей во многом определяются состоянием изоляции этих сетей. Одним из способов поддержания изоляции на должном уровне является ее непрерывный контроль, обеспечивающий предотвращение внештатных ситуаций путем исключения появления напряжения на металлических нетоковедущих частях.

Анализ аварийных ситуаций показывает, что около 60% всех отключений и связанных с этим перерывов в электроснабжении вызывается снижением уровня сопротивления изоляции, приводящим, в конечном счете, к ее пробою. В связи с этим контроль состояния изоляции в распределительных сетях всегда был и остается весьма актуальным.

В настоящее время перспективным является замена неизолированных проводов (ВЛ) изолированными проводами (ВЛИ), выполненными с применением самонесущих изолированных проводов (СИП). Надежность работы ВЛИ по сравнению с ВЛ повышается за счет отсутствия последствий климатических воздействий: исключены схлестывания проводов; практически исключены обрывы проводов благодаря применению изолированных проводов повышенной механической прочности; отсутствуют отключения из-за набросов различных предметов на провода.

Определение поврежденных жил производится путем испытания изоляции каждой токоведущей жилы относительно нулевого провода и между токоведущими жилами. Испытания проводятся мегомметром на 2,5 кВ после отсоединения (отключения) от линии всех потребителей. Для определения зоны повреждения применяют импульсный метод, а места повреждения – индукционный и акустический методы. После проведения испытаний СИП все провода должны кратковременно заземляться для снятия зарядного тока.

Для низковольтных сетей функции контроля состояния изоляции отсутствуют. На практике находят применение самостоятельные системы мониторинга состояния изоляции в высоковольтных сетях.

Анализ последних исследований и публикаций. Теоретические и практические аспекты контроля состояния изоляции в системах управления распределительных сетей нашли отражение во многих трудах отечественных и зарубежных ученых. Весомый вклад в развитие теории управления и создание на их основе компьютеризированных измерительных систем, методов повышения достоверности, быстродействия и точности измерений внесли С.Е. Шанон, В.А. Котельников, В.М. Глушков, С.А. Лебедев и др. В настоящее время нашла широкое применение микропроцессорная система контроля изоляции типа ОМЗАЛ [2], основной задачей которой является информационное обеспечение диспетчера сети и оперативного персонала в части состояния изоляции сети относительно земли. Система мониторинга марки «СДМ-30»

(Cables Diagnostics Monitor, 30 Channels) [3] предназначена для постоянного контроля технического состояния изоляции до 30 кабельных линий 6 – 10 кВ под рабочим напряжением. Все контролируемые кабельные линии должны быть подключены (через выключатели) на одном КРУ.

Также рекомендуют осуществлять контроль изоляции с помощью пробного сигнала. Способ заключается в том, что сигнал непромышленной частоты подаётся в сеть через дополнительный трансформатор, вторичные обмотки которого подключены к фазам контролируемой сети, а их нулевая точка заземлена через дополнительное сопротивление. В первичную обмотку трансформатора подключают генератор сигнала.

Цель статьи – на основе существующих теоретических и практических материалов разработать систему контроля состояния изоляции распределительной сети до 1000 кВ на основе разработанного устройства контроля токов (УКТ).

Изложение основного материала. Поскольку применяемые в настоящее АСКУЭ не содержат функции контроля состояния изоляции системы, а рассмотренные микропроцессорные системы не позволяют осуществлять мониторинг состояния изоляции распределительных электрических сетей, то для решения данной проблемы авторы предлагают использовать разработанное устройство для контроля токов [4].

Испытание проводов ВЛ повышенным напряжением необходимо для контроля токов утечки изоляции при разных режимах работы (весной, летом, осенью, зимой). Рекомендуется предпринять дополнительное действие по более тщательной проверке изоляции линий с изолированными проводами, с целью определения слабых мест, испытания осуществить либо с помощью мегомметра, либо повышенным напряжением 1000 вольт в течение 1 минуты. За пороговые допустимые значения токов утечки приняты максимальные значения этих токов, полученные во время испытаний, не вызвавшие повреждения изоляции линии.

Предложено в начале проверки утечки токов воспользоваться тем, что при включении сети становится известна топология сети, и с учетом этой топологии можно измерить токи утечки на всех участках линии, контролируемых УКТ. При этом УКТ должны иметь диапазон для измерения малых токов (до 1 мА по оценкам их показаний на головных участках).

Устройства контроля токов в качестве опорного сигнала используют частоту 3500 Гц, которая вводится в каждую фазу в отдельности с учетом угла фазы (рис. 1). В качестве общего провода для опорного сигнала используется заземленная через сопротивление Z нулевая точка вторичных обмоток. Пробный сигнал вводится в провод каждой фазы с помощью изолированных друг от друга обмоток трансформаторов T1, T2, T3, первичные обмотки которых получают питание от генератора G. При этом учитываются фазы соответствующих обмоток трансформаторов.

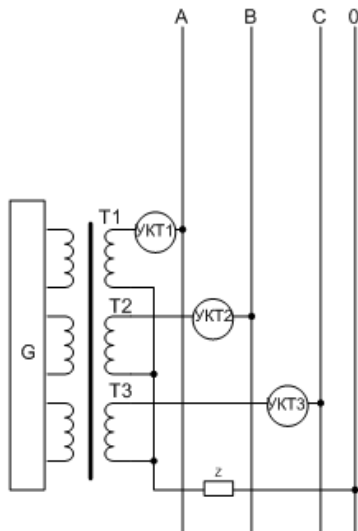


Рис. 1 – Схема ввода высокочастотного сигнала для контроля изоляции

Выбрана частота 3500 Гц. В рассматриваемом случае использовано то обстоятельство, что активное сопротивление в цепи не зависит от частоты, но использование частоты облегчает разделение активной и реактивной составляющей. Введение повышенной частоты при наличии селективного усилителя в схеме устройства позволяет использовать для контроля изоляции только активные составляющие всех параметров схемы. За допустимое значение тока утечки принят тот ток утечки, который возникает во время испытаний, проводимых с помощью мегомметра; при этом допускается сопротивление изоляции не меньше 300 МОм при напряжении 2500 В. При использовании селективных усилителей на преобразующую часть УКТ поступает только сигнал частотой 3500 Гц. Для иллюстрации способа был использован фрагмент схемы РЭС. Участок содержит 15 опор, на изоляторах которых и происходит утечка. Расчет для выбранного участка проведен при напряжении 220 В и допустимом токе утечки на одной опоре 8,333 мкА. Расчет проведен без

учета общего усиления, причем полученный результат позволяет дать оценку состояния изоляции, в частности ток утечки с опоры получился равным 0,733 мкА, т. е. меньше допустимого. При расчетах мнимые части не учитывались. Кроме того, при моделировании способа определения состояния изоляции искусственное увеличение тока утечки четко фиксировалось.

Чувствительность устройств получена в пределах 0,0001 мА. Такой чувствительности удалось достичь, применив двухкаскадный селективный усилитель.

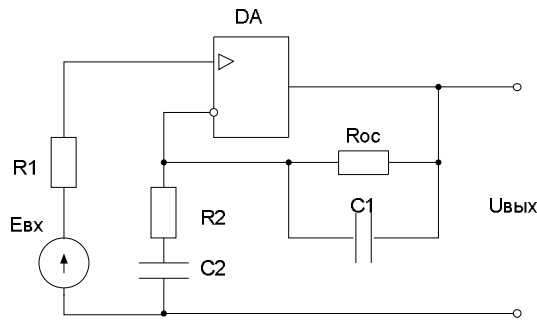


Рис. 2 – Схема усилителя переменного тока с частотно-зависимой обратной связью

потребления в статическом режиме, что делает их подходящими для применения в портативных устройствах с батарейным питанием, таких как медицинские приборы, портативные меди-аплееры и детекторы дыма. Сочетание чрезвычайно низкого входного тока смещения с низким уровнем шумов тока и напряжения на входе ОУ позволяет использовать их для сопряжения с такими высокоомными источниками сигнала, как фотодиоды и пьезоэлектрические датчики. Указанные ОУ также прекрасно подходят для различных задач обработки сигналов, таких как фильтрация и усиление в самых разнообразных портативных устройствах с батарейным питанием.

Микросхемы работают в диапазоне напряжений питания +2,1...+5,5 В при токе потребления в статическом режиме 36 мкА. Для дополнительной экономии энергии МАХ9636 и МАХ9638 могут переходить в спящий режим, в котором потребление снижается до 1 мкА, а выходы устанавливаются в высокоимпедансное состояние. Для определения параметров этой схемы использовалась методика, приведенная в [5].

Рассмотрена схема выпрямителя, собранного по схеме умножителя напряжения на 4 (рис. 3).

При значениях параметров $K_{Uoc}=100$, $f_6=3500$, $f_n=3200$, $R_{oc}=R_l=1000$ Ом, $R_2=R_{oc}(K_{oc}-1)$, $C_1=1/2\pi f R_{oc}$, $C_2=1/2\pi f R_2$ уточним реальную полосу пропускания и усиление усилителя. Первичный расчет даёт следующие значения параметров: $R_2=9900$ Ом; $C_1=4.5473e-008$ Ф; $C_2=5.0238e-10$ Ф. Приняв их значения равными $R_2=9900$ Ом, $C_1=0.45$ мкФ, $C_2=0.5$ мкФ получим окончательные значения f_6 и f_n , равные $f_6=3540 \approx 3500$ Гц и $f_n=3215 \approx 3200$ Гц. Подходят конденсаторы малогабаритные полипропиленовые типа К78-19.

В этом случае аналоговый информационный сигнал, величина которого измеряется в десятичной форме, для удобства дальнейших преобразований представлен в двоичной форме, причем выбрана байтовая система для представления всех дробных и целых чисел.

Определённый интерес представляют помехи, возникающие при преобразовании аналогового сигнала в цифровой код.

Использование авторами способа двойного преобразования аналоговых чисел в десятич-

Настройка измерительной схемы выпрямления УКТ для контроля состояния изоляции. При анализе работы узла выпрямителя с низкоомным входом при обработке сигнала низкого уровня (1-20 мВ) были проанализированы способы подачи выходного сигнала с измерительной обмотки на вход выпрямителя.

Для повышения уровня сигнала предлагается использовать усилитель переменного тока на микросхеме операционного усилителя (ОУ) МАХ9636 с обратной положительной RC-связью. На рис. 2 показана принципиальная схема такого усилителя.

Микросхемы МАХ9636, МАХ9637, МАХ9638 являются широкополосными КМОП ОУ с однополярным питанием и низким током

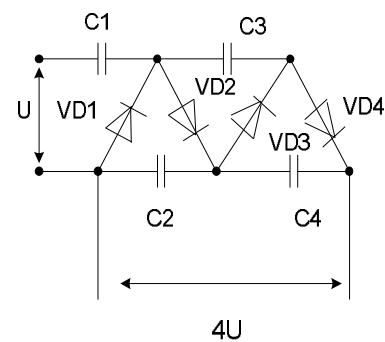


Рис. 3 – Выпрямитель по схеме умножителя напряжения на 4: U – амплитуда входного напряжения, снимаемого с измерительной обмотки

ной форме с дробной частью в двоичную форму, передача сформированной общей информационной строки в двоичной форме и восстановление её вновь в десятичную форму, позволяет избежать потерь информации при её передаче по радиоканалу.

Разработан вариант применения УКТ для контроля состояния изоляции. На рис. 4 показана схема измерительного тракта УКТ для текущего контроля изоляции на основе селективного усилителя синусоидальных токов утечки. Схема работает следующим образом. В сеть 220 В подаётся сигнал частотой 3500 Гц. Этот сигнал вызывает срабатывание усилителя СУ и включенного на его выходе электронного ключа SPRT5. Контакт 5 размыкает цепь сигнала 50 Гц, а сигнал частотой 3500 Гц поступает на вход выпрямителя. Коэффициент усиления селективного усилителя СУ ($K_u=101$), четырёхкратное амплитудное напряжение на выходе выпрямителя, уровень сигнала высокой частоты и подбор числа витков обмотки w_2 позволяют обеспечить нужный режим контроля утечки. Отключение сигнала высокой частоты возвращает схему в режим измерения токов в сети 220 В.

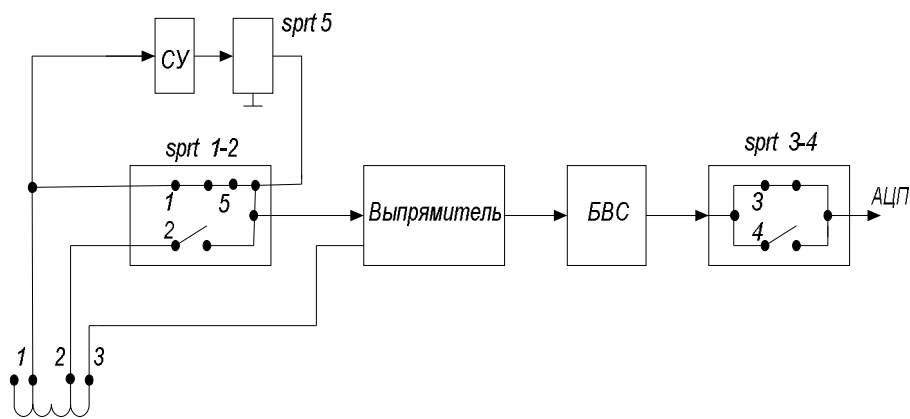


Рис. 4 – Схема для текущего контроля изоляции

Другой подход использован авторами при получении информации о состоянии изоляции системы, выполненной с использованием самонесущих изолированных проводов (СИП). Рассматривается этот вопрос в связи с тем, что применение СИП в распределительных сетях в будущем будет выполнено в рамках их модернизации. Для этой цели необходимо использовать усовершенствованное УКТ с измерительной обмоткой w_2 , содержащей большее количество витков, что вызывает конструктивные трудности при её намотке проводом увеличенного сечения с целью уменьшения потерь информации. Поэтому предлагается использовать для предварительного усиления информационного сигнала 2-х каскадный полосовой усилитель, полоса которого пропускает сигналы частотой 3200 – 3500 Гц на базе описанного выше, либо использовать микросхемы серии К123. Серия К123 объединяет три модификации микросхемы К123УН1. Полоса пропускания усилителей НЧ, выполненных на основе этой микросхемы, составляет 0,02-100 кГц. На частоте 1 кГц при выходном напряжении 0,5 В микросхемы модификаций А, Б, В имеют соответственно коэффициент усиления 300-500, 100-350 и 30-500. При этом коэффициент нелинейных искажений у микросхем К123УН1А и К123УН1Б не более 2%, а у микросхемы К123УН1В не более 5%. Входное сопротивление 10 кОм, выходное сопротивление 200 Ом, напряжение питания 5 В. Использование селективного полосового фильтра решает задачу разделения частот и позволяет осуществлять контроль изоляции без отключения потребителей от сети.

Выводы

Предлагается расширить функциональные возможности разработанного ранее устройства контроля токов за счет автоматического измерения токов утечки при контроле состояния изоляции, что обеспечит автоматический контроль состояния изоляции при превышении током допустимых пределов. Этого можно достичь путем введения в схему устройства контроля токов селективного усилителя, что решит задачу разделения частот и позволит осуществить кон-

троль ізоляції без відключення потребителів від мережі шляхом введення в енергетичну мережу додаткового високочастотного сигналу 3500 Гц, що дасть можливість в реальному часі виявити токи утечки ізоляції, не перевищуючі 8,333 мкА.

Список использованных источников:

1. Микропроцессорная система контроля изоляции типа ОМЗАЛ [Электронный ресурс]. – (<http://spb.propartner.ru/offers/mikroprotsessornaya-sistema-kontrolya-izolyatsii-i1095085.html>).
2. Система мониторинга марки «СDM-30» (Cables Diagnostics Monitor, 30 Channels) [Электронный ресурс]. – (http://www.terra-kip.ru/monitoring-system/monitoring-chastichnyh-razryadov/smd_30).
3. Пат. 102026 Україна, МПК Н 02 J 13/00. Пристрій для автоматичного контролю режимів розподілу струмів в низьковольтних електричних мережах / В.С. Зайцев, О.О. Черевко, Л.О. Добровольська; ДВНЗ «ПДТУ». – № а201201184; заявл. 06.02.12; опубл. 27.05.13, Бюл. № 10.
4. Опадчий Ю.Ф. Аналоговая и цифровая электроника (полный курс) : учебник для ВУЗов / Ю.Ф. Опадчий, О.П. Глудкин, А.И. Гуров. – М. : Горячая линия-Телеком, 2003. – 768 с.

References:

1. *Mikroprotsessornaia sistema kontroliia izoliatsii tipa OMZAL* (Microprocessor isolation control system of the type OMZAL) Available at: <http://spb.propartner.ru/offers/mikroprotsessornaya-sistema-kontrolya-izolyatsii-i1095085.html> (accessed 22 February 2015).
2. *Sistema monitoringa marki «СDM-30» (Cables Diagnostics Monitor, 30 Channels)* (The monitoring system of the brand «СDM-30» (Cables Diagnostics Monitor, 30 Channels)) Available at: www.terra-kip.ru/monitoring-system/monitoring-chastichnyh-razryadov/smd_30 (accessed 10 July 2016).
3. Zaycev V.S., Cherevko E.A., Dobrovolskaya L.A. *Prystrij dlja avtomatichnogo kontrolju rezhymiv rozpodilu strumiv v nyz'kovol'tnyh elektrychnyh merezhah* [The device for automatic monitoring of modes of distribution of currents on low-voltage electrical networks]. Patent UA, no. 102026, 2013. (Ukr.)
4. Opadchii Iu.F., Gludkin O.P., Gurov A. I. *Analogovaia i tsifrovaia elektronika (polnyi kurs)* [Analog and digital electronics (full course)]. Moscow, Goriachaia liniia – Telekom Publ., 2003. 768 p. (Rus.)

Рецензент: В.П. Гранкин
д-р ф.-м. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 14.10.2016