



Рисунок 3 – Экспериментальные данные  $n$  измерений модуля упругости образца из однонаправленного УУКМ

1. Шканов, Г.А. Технология лазерной широгрaфии / Г.А. Шканов // Megatech. Новые технологии в промышленной диагностике и безопасности. – 2010. – №5. – С. 14 – 17.
2. Popov, V.L. Kontaktmechanik und Reibung. Ein Lehr- und Anwendungsbuch von der Nanotribologie bis zur numerischen Simulation / V.L. Popov – Berlin: Springer, 2009. – 328 z.
3. Oliver, W.C. Measurement of hardness and elastic modulus by instrumented indentation: Advances in understanding and refinements to methodology / W.C. Oliver, G.M. Pharr // J. Mater. Res. – 2004. – Vol. 19, № 1. – P. 3 – 20.

УДК 621.317.63

### ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА СРЕДСТВАМИ СРЕДЫ MICRO-CAP

Размыслович Г.И., Брановицкий И.И.

Институт прикладной физики НАН Беларуси  
Минск, Республика Беларусь

Безопасная эксплуатация электротехнического оборудования требует непрерывного контроля качества его изоляции в режиме реального времени. Такой контроль позволяет установить связь ряда параметров изоляции контролируемого объекта с величиной тока измерительной схемы. Для определения конкретных параметров, характеризующих состояние изоляции, следует дополнить экспериментальные данные аналитическими зависимостями для каждого из параметров в отдельности, полученными при моделировании конкретной измерительной схемы.

Существующие способы измерения сопротивления изоляции обладают малой точностью и сложностью в реализации. Например, метод определения сопротивления изоляции электрических жгутов и кабелей предусматривает проведение двух последовательных замеров тока с промежуток времени, определяемым быстродействием устройства, затем по известной системе уравнений определяют сопротивление изоляции по методу сравнения измеряемого сопротивления с известным с помощью делителя [1,2]. Недостатком способа является малая точность, малое быстродействие, а также влияние на контролируемую сеть. Способ измерения установившегося значения сопротивления изоляции, описанный в [3], заключается в измерении величины сопротивления, его первой и второй производной по времени, а за установившееся значение сопротивления изоляции принимают удвоенное значение сопротивления в тот момент времени, когда первая производная имеет максимум, а вторая производная равна нулю. Недо-

статком данного способа является малая точность и сложность его реализации.

В ИПФ НАН Беларуси были получены аналитические зависимости, моделирующие переходные процессы, возникающие в сетях постоянного тока при однократном поочередном шунтировании ее полюсов активным сопротивлением  $r$  с учетом реактивных составляющих  $C_1$  и  $C_2$  [4]. Для непрерывного контроля полученные зависимости необходимо дополнить начальными условиями, которые определяются предыдущим переходным процессом. В результате получим выражения для переходных процессов, моделирующих непрерывный (периодический) контроль состояния изоляции сети постоянного тока в виде:

$$\begin{cases} u_r^-(t) = -U \frac{r}{R_1} \frac{R_3}{R_3 + r} - U e^{-p_2 t} + \frac{Ur}{R_3 + r} e^{-p_2 t} \\ u_r^+(t) = U \frac{r}{R_2} \frac{R_3}{R_3 + r} + U e^{-p_2 t} - \frac{Ur}{R_3 + r} e^{-p_2 t} \end{cases} \quad (1)$$

где  $R_3 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$  – эквивалентное сопротивление сети постоянного тока,  $R_1$  и  $R_2$  – сопротивления каждого из полюсов,  $U > 0$  – напряжение контролируемой сети,  $\frac{1}{p_2} = \frac{r R_3 (C_1 + C_2)}{r + R_3}$  –  $\tau$  переходного процесса.

Из выражения (1), вычитая переходные процессы  $u_r^+(t)$  и  $u_r^-(t)$ , получим переходной процесс  $u(t)$ :

$$u(t) = u_r^+(t) - u_r^-(t) = \frac{Ur}{R_3 + r} + 2Ue^{-p_1 t} - \frac{2Ur}{R_3 + r} e^{-p_2 t}, \quad (2)$$

который в момент времени  $t=0$  представляет собой выражение, зависящее только от  $R_3$ , т.е.

$$u(0) = u_r^-(0) + u_r^+(0) = \frac{Ur}{R_3 + r} + 2U - \frac{2Ur}{R_3 + r}, \quad (3)$$

Решая выражение (3) относительно  $R_3$  получим:

$$R_3 = \frac{r(U - u(0))}{(u(0) - 2U)}, \quad (4)$$

Для проверки выражения (4) и получения переходных процессов, близких к экспериментальным зависимостям, использовалась среда схемотехнического моделирования Micro-Cap в ознакомительной версии (Evaluation Micro-Cap). В качестве сети постоянного тока использовался источник напряжения с  $U = 24В$ ; шунтирующее сопротивление  $r = 500 Ом$  подключается поочередно к положительному и отрицательному полюсам через равные интервалы времени  $\Delta t = 400 \mu s$ ; в течении указанного интервала времени разряжаются поочередно конденсаторы  $C_1 = 33 nF$  и  $C_2 = 63 nF$ , моделирующие реактивную составляющую сопротивления изоляции,  $R_1 = 60 kОм$  и  $R_2 = 5 kОм$  моделируют активную составляющую сопротивления изоляции положительного и отрицательного полюсов соответственно. Ключи управляются импульсными источниками напряжения (рис.1).

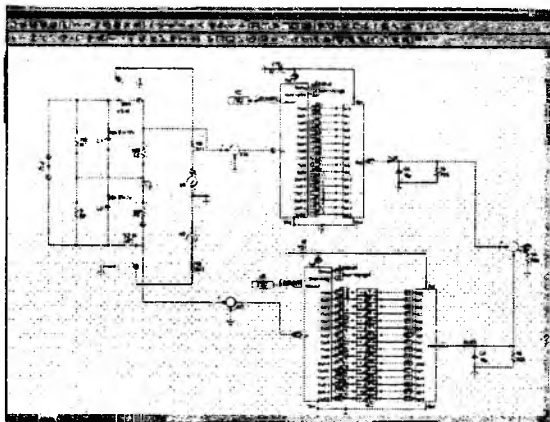


Рисунок 1 - Схема, моделирующая переходные процессы в сети постоянного тока при резистивном шунтировании ее полюсов

Для приведения уровней переходных процессов к динамическому диапазону работы 16-ти разрядного АЦП с однополярным источником питания используются

масштабирующие усилители, в качестве которых выступают вычитающие устройства с весовыми коэффициентами. Для вычитания переходных процессов, разнесенных во времени на интервал  $\Delta t = 400 \mu s$ , используется цифровая линия задержки по каждому из разрядов АЦП на указанный интервал времени. В результате работы схемы получены временные эпюры упомянутых выше переходных процессов (рис.2).

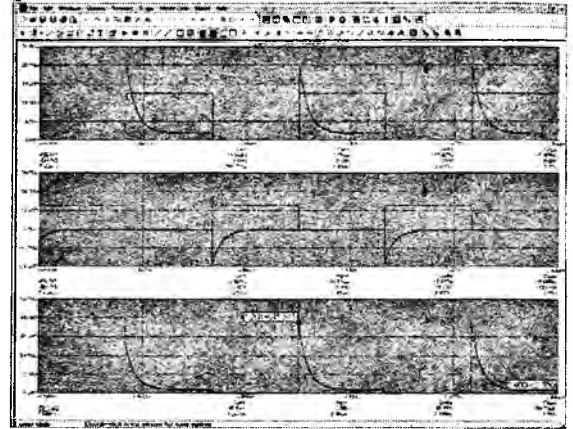


Рисунок 2 - а) Переходные процессы  $u_r^+(t)$  при шунтировании положительного полюса сети постоянного тока; б) переходные процессы  $u_r^-(t)$  при шунтировании отрицательного полюса сети постоянного тока; в) переходной процесс  $u(t) = u_r^+(t) - u_r^-(t)$

Подставляя полученное из модели измерительной схемы значение  $u(0) = 45,541В$  в формулу (4), находим  $R_3 = 4380 Ом$ . Истинное значение  $R_3$  для  $R_1 = 60 kОм$  и  $R_2 = 5 kОм$

$$R_3 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 4615 Ом. \quad \text{Таким образом,}$$

погрешность определения  $R_3$  из промоделированных экспериментальных данных составляет порядка 5%.

Следует также отметить, что на повышение токов утечки в отрицательном полюсе ( $R_2 \ll R_1$ ) реагирует эпюра положительного переходного процесса  $u_r^+(t)$ . Постоянная составляющая процесса  $u_r^+(t)$  значительно превосходит постоянную составляющую процесса  $u_r^-(t)$ . И наоборот. Это соответствует аналитическим выражениям, приведенным в (1).

Таким образом, используя средства схемотехнического моделирования среды Micro-Cap можно провести сравнительный анализ аналитических моделей и, тем самым, рассчитать и разработать устройство непрерывного

контроля качества изоляции, учитывающее форму тока, проходящего по измерительной цепи, емкость контролируемой сети, а также фиксировать равномерное снижение сопротивления изоляции всех проводов.

1. Заявка №92014756, МПК G01R 27/18. Способ измерения сопротивления изоляции в электрических жгутах и кабелях./ А.М.Лебедев, А.П. Сиротинин. Заявлено 28.12.1992; Оpubл. 30.04.1995.
2. Патент РФ №2010247, МПК G01R 27/02. Способ определения сопротивления путей утечек тока на землю в электрических системах./ А.В.Седов,

В.И.Лачин, А.К.Малина. Заявлено 02.12.1991; Оpubл. 30.03.1994.

3. Заявка №96105043, МПК G01R 27/02. Способ измерения установившегося значения сопротивления изоляции./ А.С.Серебряков. Заявлено 12.03.1996; Оpubл. 20.05.1998.
4. Брановицкий, И.И. Определение сопротивления изоляции сети постоянного тока с учетом реактивной составляющей / И.И. Брановицкий, Г.И. Размыслович // 5-я Международная научно-техническая конференция "Приборостроение 2012", г. Минск, 21 – 23 ноября 2012 г., с. 134-136.

УДК 389.1

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЦВЕТОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК САМОСВЕТАЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОЙ РЕГИСТРАЦИИ С ВЫСОКИМ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ

Савкова Е.Н., Гиль Н.Н., Адамович А.Р.

*Белорусский национальный технический университет,  
Минск, Республика Беларусь*

В связи с тем, что в последнее время все большее распространение получают средства отображения информации коллективного пользования (СОИКП) – видеотерминалы и табло с диагональю более 10 м, работающие плазменных (газоразрядных) и светодиодных панелях в сложных погодных и климатических условиях, возникает необходимость мониторинга их эргономических параметров – яркостных и цветовых характеристик. С учетом рекомендаций ISO/TK 452 «Безопасность аудио-, видео-, электронной аппаратуры, оборудования информационных технологий и телекоммуникационного оборудования» ГОСТ Р 52870-2007 устанавливает технические требования и способы измерения параметров к СОИКП по оптике, фотометрии и передаче цвета. Согласно стандарту измеряемыми параметрами, характеризующими качество цвета изображения, являются яркость, координаты цвета и цветности, чистота цвета и цветовой тон. Однако трудоемкость стандартных методов, предусматривающих последовательные измерения в каждой контрольной точке объекта, не позволяет их применять с должной регулярностью. Поэтому с целью повышения эффективности и информативности измерений предложен способ, основанный на применении технологий цифровой регистрации с высоким пространственным разрешением и обработки цифровых изображений. Способ заключается в том, что с помощью цифровой камеры осуществляют регистрацию всей поверхности (или частей) самосветящегося протяженного объекта, обрабатывают полученные цифровые изображения и определяют значения искомых параметров. Особенностью пред-

ложенного способа является то, что регистрацию необходимо осуществлять с различными значениями времени экспозиции. Метрологическая прослеживаемость результатов измерений обеспечивается путем ссылки на исходные образцы – первичные равнояркие излучатели, имеющие сходный спектральный состав, но различающиеся по яркости. В качестве таких исходных образцов предложено использовать неточечные источники света, например OLED-светодиоды, которые могут быть встроены в кластерные структуры светодиодных видеотерминалов для одновременной цифровой регистрации.

При компьютерной обработке цифрового изображения определяют интенсивности  $N$  в каждом цветовом канале  $R, G, B$ , а затем находят координаты цвета по формулам:

$$\begin{aligned} X &= a_{11}R + a_{12}G + a_{13}B \\ Y &= a_{21}R + a_{22}G + a_{23}B \\ Z &= a_{31}R + a_{32}G + a_{33}B, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $X, Y, Z$  – координаты цвета пространства  $XYZ$ ;  $a_{nm}$  – стандартизованные удельные весовые коэффициенты интенсивностей  $R, G, B$ .

Для исследования возможностей метода применительно к самосветящимся объектам на базе аккредитованной испытательной лаборатории ОАО «Руденск» был проведен эксперимент, основанный на цифровой регистрации с высоким разрешением самосветящихся поверхностей объектов с заданными параметрами. В качестве таких объектов были выбраны мониторы видеотерминалов (нетбуков, планшетов и смартфонов), на каждом из которых были созданы однородные цветовые поля (файловые данные) (см. рисунок 1.