

Д. А. СЕМЕНОВ

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА САМОРАЗРЯДА И ИЗМЕРЕНИЯ ВОЗВРАТНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ГЛАВНОЙ ИЗОЛЯЦИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ В ПРИЛОЖЕНИИ SIMPOWERSYSTEMS (SPS)

**Ключевые слова:** возвратное напряжение, диагностика высоковольтной изоляции, заряд абсорбции, напряжение саморазряда, постоянные времени саморазряда, схема замещения корпусной изоляции трансформатора, ток абсорбции, SPS-модель.

**Аннотация.** Предложена SPS-модель, позволяющая имитировать процессы в реальной установке для измерения параметров трехслойной изоляции при заряде, саморазряде и при измерении возвратного напряжения. С помощью интегрированного пакета MATLAB (SimPowerSystems) исследованы процессы в неоднородной трехслойной изоляции при изменении параметров диагностического устройства.

Библиотека блоков SimPowerSystems является одной из дополнительных библиотек Simulink, созданных для имитационного моделирования конкретных электротехнических устройств. В состав библиотеки входят модели активных и пассивных электротехнических элементов. Достоинством SimPowerSystems является то, что сложные электротехнические системы можно моделировать, сочетая методы имитационного и структурного моделирования. Это достигается тем, что блоки SimPowerSystems легко сопрягаются с обычными блоками Simulink и другими блоками и функциями системы MATLAB. Это позволяет упростить модель, повысить ее устойчивость и скорость работы [1, с. 43].

Для исследования процесса заряда и разряда изоляции в SimPowerSystems построим модель трехслойной изоляции, которая представлена на рис. 1, а на рис. 2 показаны параметры установленных значений.

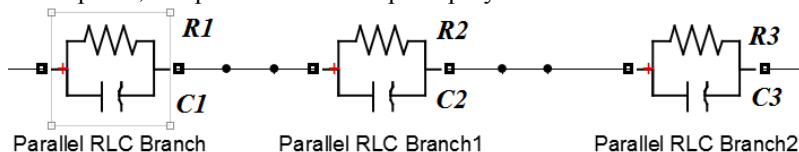
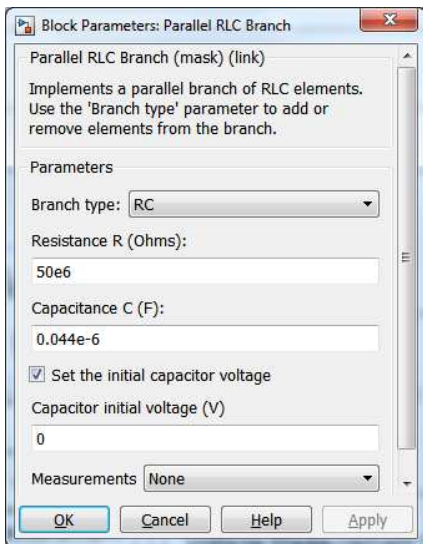
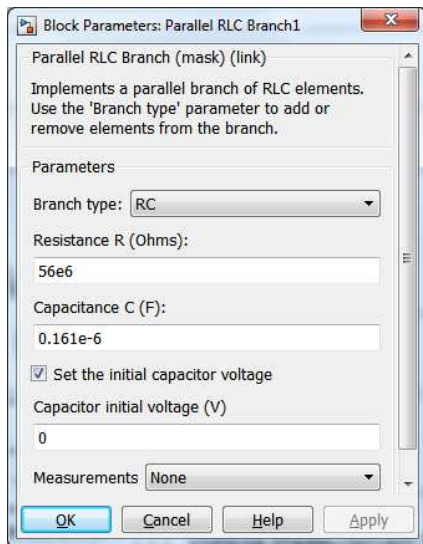


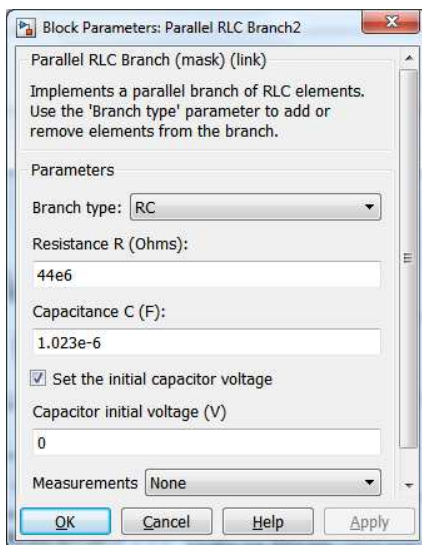
Рисунок 1 – Модель трехслойной изоляции, построенная в SPS



a)



б)



в)

Рисунок 2 – Параметры установленных значений модели изоляции:  
 а) – параметры 1-го слоя; б) – 2-го слоя; в) – 3-го слоя

Для измерения напряжения и тока воспользуемся измерителем напряжения и тока соответственно, схема соединения изображена на рис. 3.

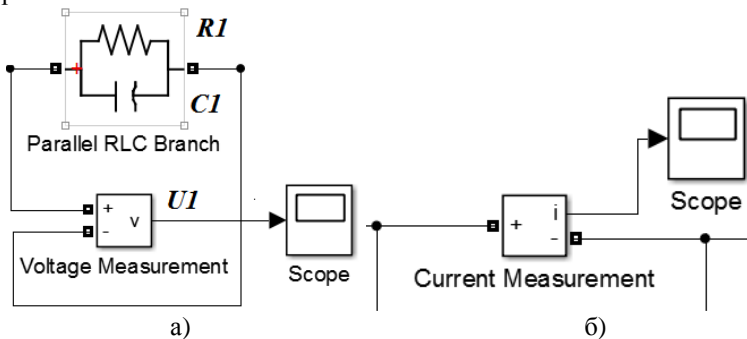


Рисунок 3 – Подключение измерителей: а) – напряжения; б) – тока

Для определения сопротивления изоляции используем блок **divide**, где делим один сигнал на другой, а именно  $U/i$ , и результат подадим на «осциллограф» (рис. 4).

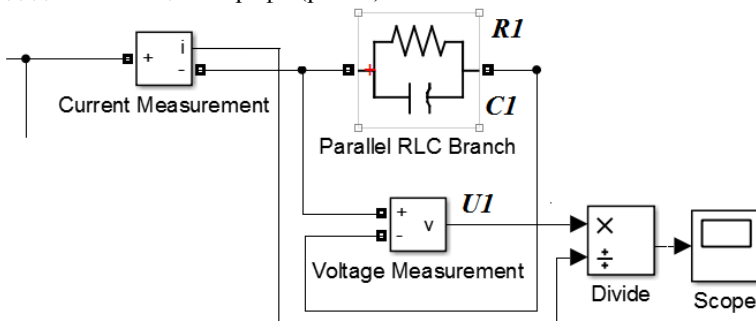


Рисунок 4 – Подключение блока математической операции – деление

На рис. 5 приведена SPS-модель заряда и разряда трехслойной изоляции в интегрированном пакете MATLAB. Заряд модели изоляции осуществляется от источника постоянного напряжения (Series RLC Branch) через идеальный ключ (IdealSwitch), который управляется с помощью таймера, где в верхней строке задается время в секундах, а в нижней имитация включения – «1» и отключения – «0», параметры таймера (Timer) приведены на рис. 6 (а). Переключатель срабатывает после 60 сек., ключ размыкается, и на осциллографе будем наблюдать сумму напряжений  $U_{C1}$  и  $U_{C2}$  и  $U_{C3}$  [3, с. 120–130].

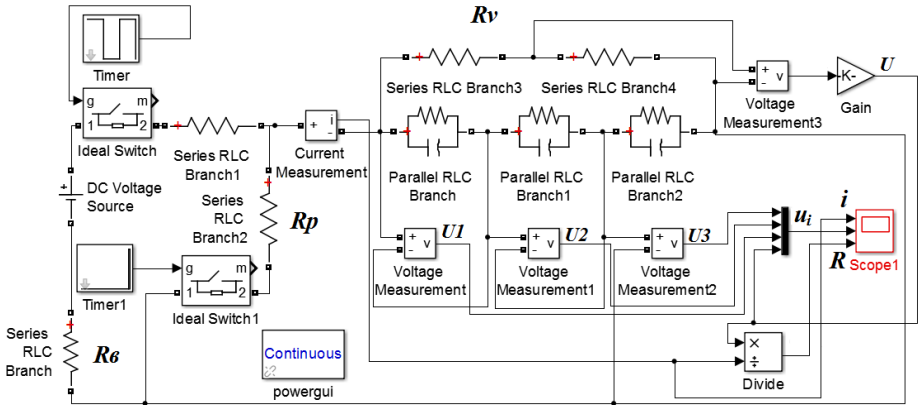
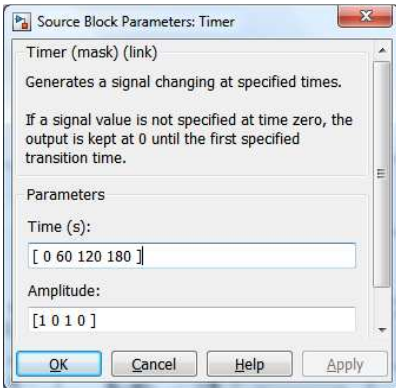
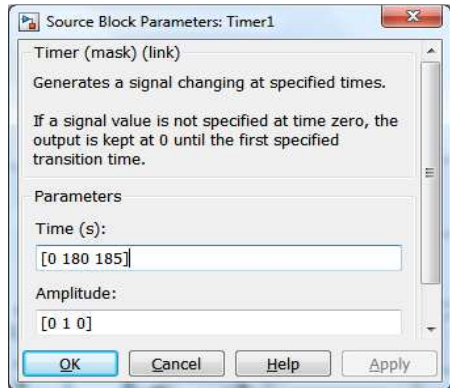


Рисунок 5 – SPS-модель заряда и разряда трехслойной изоляции

Для моделирования возвратного напряжения добавим сопротивление  $R_p$ , через которое изоляция разряжается на «землю» и подсоединим его через переключатель (Ideal Switch1), который управляется таймером (Timer1), его параметры приведены на рис. 6 (б). А на рис. 7 представлены результаты этого моделирования.



а)



б)

Рисунок 6 – Настройка таймеров

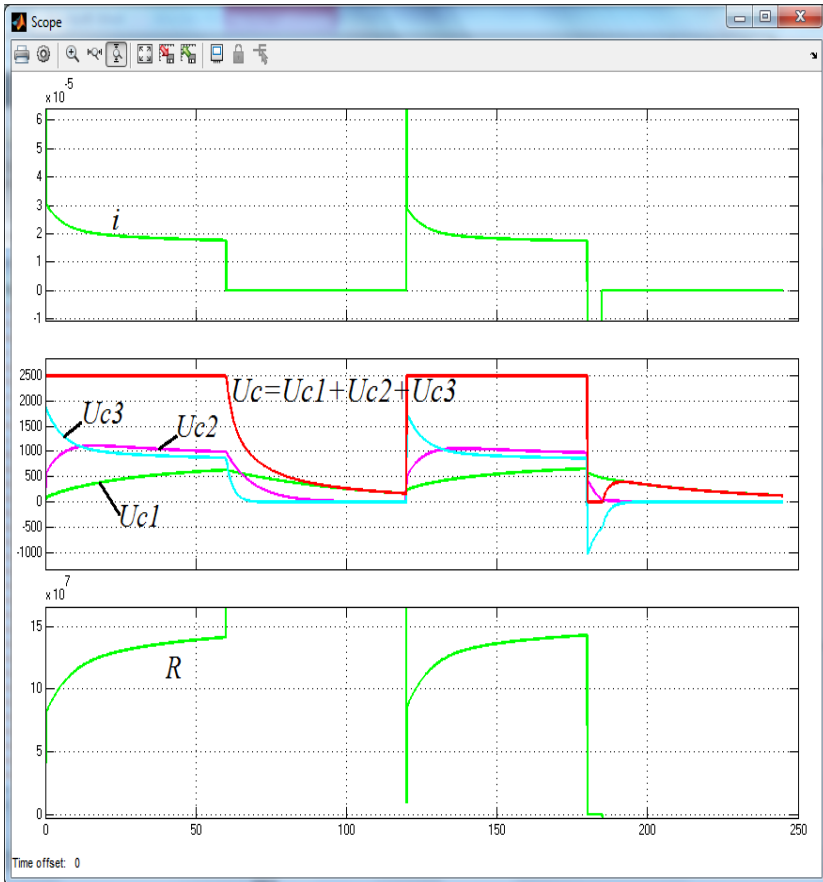


Рисунок 7 – График изменения параметров заряда трехслойной изоляции от времени

Проведем анализ влияния сопротивления вольтметра на кривую заряда и разряда изоляции. Возьмем 5 значений  $R_v$ : 100 МОм, 1 ГОм, 10 ГОм, 50 ГОм и без  $R_v$ . Результаты анализа приведены на рис. 8.

Из рис. 8 видно, что при значениях  $R_v > 10$  ГОм кривые совпадают, и процесс заряда идет так же, как и при отсутствии сопротивления  $R_v$  [2, с. 1–3].

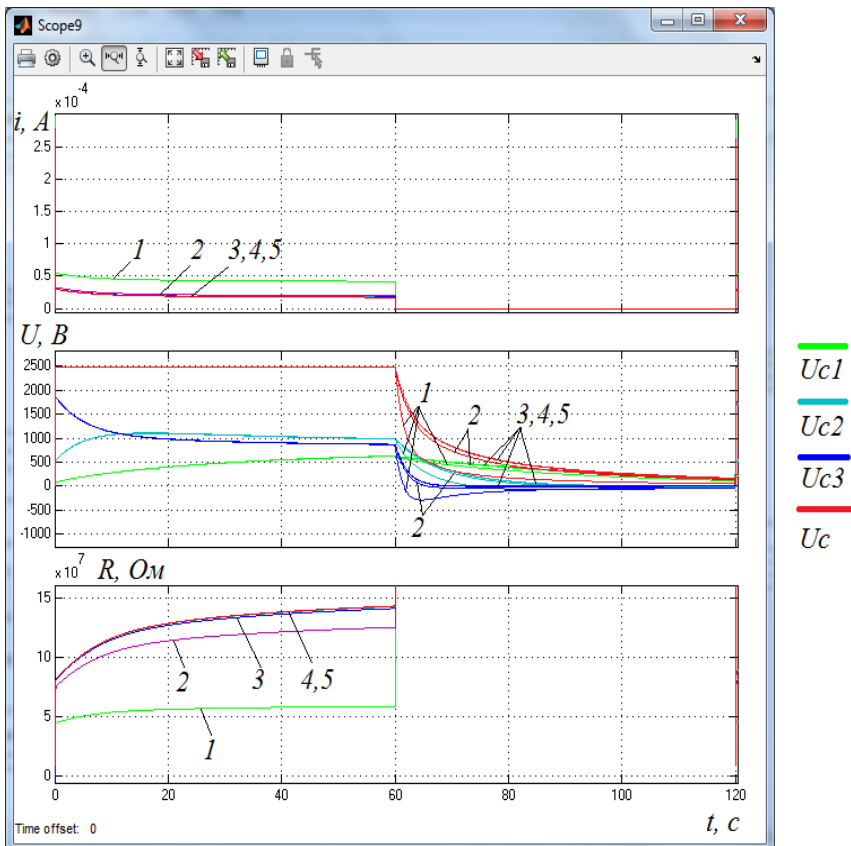


Рисунок 8 – Влияние сопротивления вольтметра: 1 – 100 МОм; 2 – 1 ГОм; 3 – 10 ГОм; 4 – 50 ГОм; 5 – без учета  $R_v$

Чтобы проанализировать влияние сопротивления разрядного резистора  $R_p$ , установим следующие значения: 10 МОм, 5 МОм, 1 МОм, 10 кОм и 1 кОм. На рис. 9 приведены графики, отражающие зависимость 5 секундного разряда и возвратного напряжения от значения сопротивления разряда. Видно, что при  $R_p = 1$  МОм кривая возвратного напряжения проходит очень близко от кривой 1, которая соответствует 1 кОм.

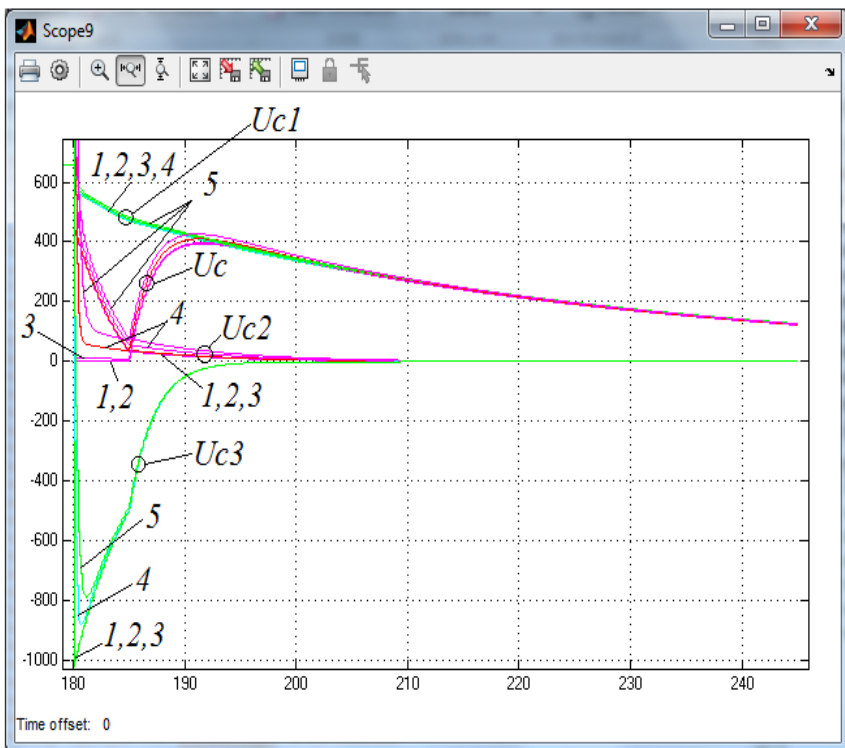


Рисунок 9 – Зависимости 5-секундного разряда и возвратного напряжения от времени при различных значениях разрядного сопротивления: 1 – 1 кОм; 2 – 10 кОм; 3 – 1 МОм; 4–5 МОм; 5–10 Мом

Как видно из рис. 10 при разряде изоляции на «землю» через резистор с сопротивлением  $R_p = 1\text{МОм}$  через 0,5 секунды напряжения на конденсаторах  $C_1$ ,  $C_2$  и  $C_3$  становятся такими же, как и при  $R_p = 0$ . При разряде через сопротивление  $R_p = 10\text{кОм}$  влияние сопротивления разрядного резистора перестает сказываться уже менее чем через 0,2 секунды.

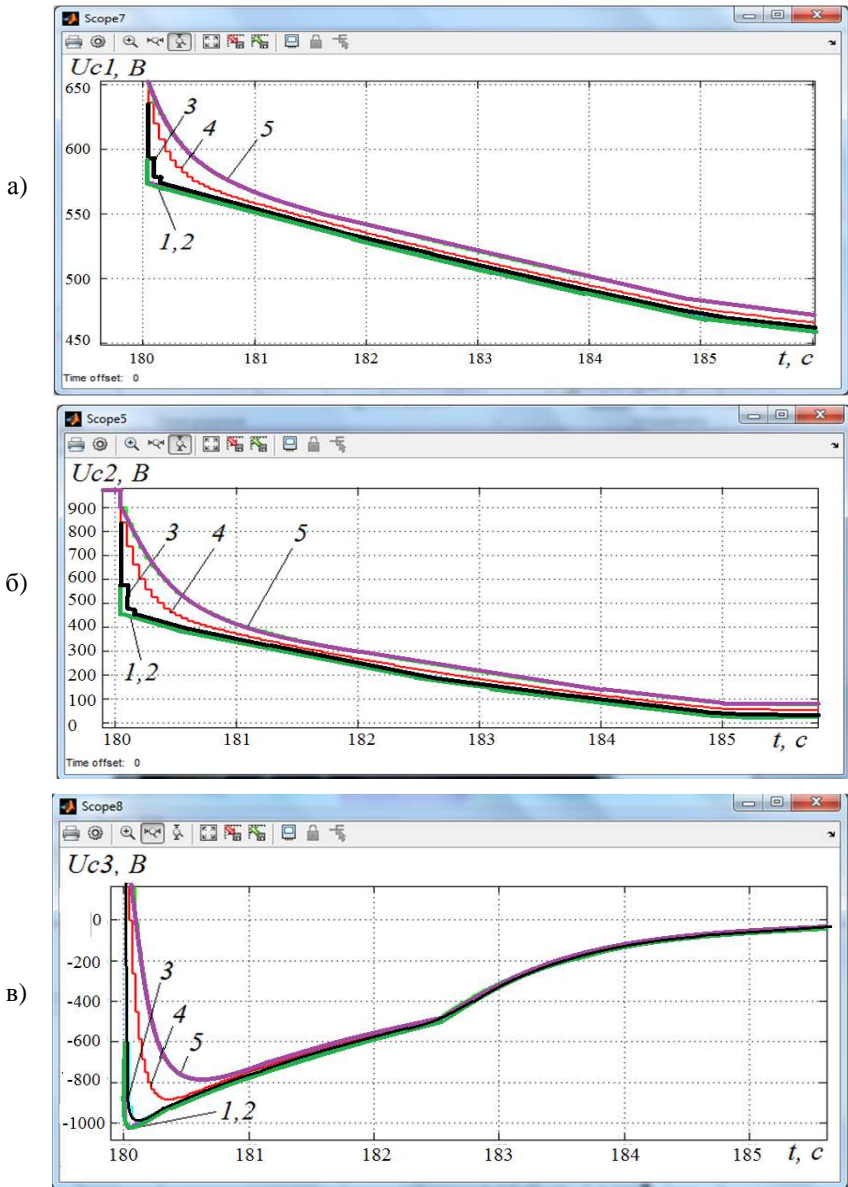


Рисунок 10 – Зависимости от времени напряжений на конденсаторах первого (а), второго (б) и третьего (в) слоев трехслойной изоляции



## Выводы

1. С помощью интегрированного пакета MATLAB (SimPower System) исследованы процессы в неоднородной трехслойной изоляции при изменении следующих параметров диагностического устройства: внутреннего сопротивления источника питания, сопротивления измерителя напряжения и сопротивления разрядного резистора. Определены предельно допустимые по метрологическим характеристикам устройства значения этих параметров.

2. Установлено, что в процессе заряда изоляции напряжение на конденсаторах отдельных слоев трехслойной изоляции может возрастать (слой с наибольшей емкостью) или убывать (слой с наименьшей емкостью) по экспоненциальному закону, а также изменяться по аperiodическому закону (слой со средней емкостью).

3. Показано, что в процессе саморазряда трехслойной изоляции напряжение на слое с минимальной электрической емкостью при малом значении сопротивления измерителя напряжения может изменить свой знак и изменяться по аperiodическому закону.

4. SPS-модель позволяет имитировать процессы в реальной установке для измерения параметров трехслойной изоляции при заряде, саморазряде и при измерении возвратного напряжения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Демирчян, К. С., Бутырин П. А. Моделирование и машинный расчет электрических цепей: Учеб.пособие для электр. и электроэнерг. спец. Вузов. / М.: Высш. шк., 1988. 335 с.

2. Пат. РФ № 119125. Устройство для контроля качества электрической изоляции/Серебряков А. С., Семенов Д. А., Степанов Б. С., Игнаткин Д. Н. Оpubл. 10.08.2012, Бюл. № 22. С. 1–3.

3. Серебряков, А. С. Анализ процессов при заряде неоднородной изоляции от источника постоянного напряжения. Актуальные проблемы электроэнергетики. / А. С. Серебряков, Д. А. Семенов. Материалы XXX научно-технической конференции. Н. Новгород, 2011. С. 120–130.

**MODELING OF SELF-DISCHARGE PROCESS  
AND MEASUREMENT OF REFLEXIVE VOLTAGE  
OF THE MAIN ISOLATION OF DISTRIBUTING TRANSFORM-  
ERS IN SIMPOWERSYSTEMS (SPS) APPLICATION**

***Keywords:** diagnosis of high voltage insulation , charge of absorption, absorption current , voltage of self-discharge , recurrent voltage, time constants of self-discharge, equivalent circuit of transformer isolation , SPS-model.*

***Annotation.** The article describes an SPS- model allowing imitate the processes of a real setup for measuring of the three -layer insulation at a charge , and self-discharge when measuring reflexive voltage. With the help of an integrated package MATLAB (SimPowerSystems) authors investigated processes in an inhomogeneous three-layer insulation and the parameters of the diagnostic device . It shows as SPS- model to simulate processes in a real setting for measuring the three-layer insulation.*

---

**СЕМЕНОВ ДМИТРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ** – старший преподаватель кафедры «Электрификация и автоматизация», Россия, Княгинино, (xxxmy@mail.ru).

**SEMENOV DMITRY ALEKSANDROVICH** – senior lecturer of the chair «Electrification and Automation», Nizhniy Novgorod state engineering and economic institute, Russia, Knyaginino, (xxxmy@mail.ru).

---