

При испытании трехкаскадной схемы защиты с разрядником РВНШ-250, выравнителем ВОЦШ-220, дросселями в обоих проводах на 200 мкГн и защитными диодами супрессорами 1,5 КЕ 400 А, показанной на рисунке 4, максимальное наблюдаемое напряжение на выходе схемы защиты (амплитудное значение) составило 480 В, против 750 В при испытании стандартной схемы защиты.

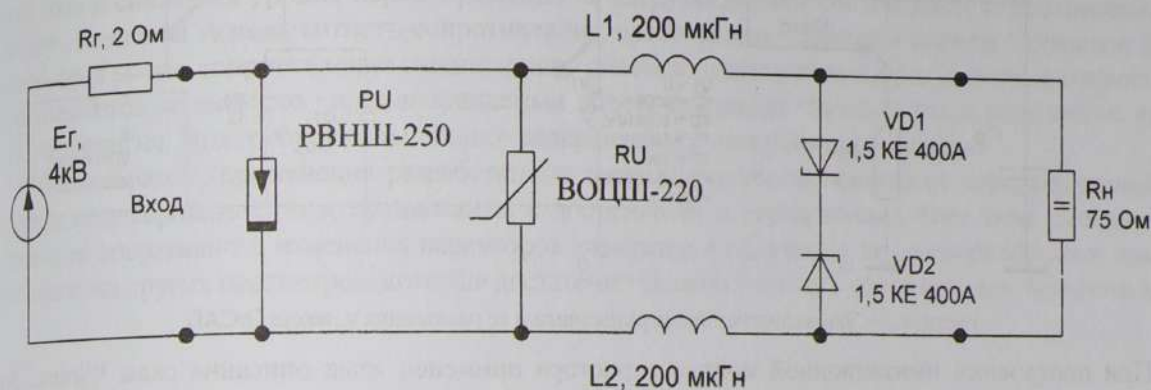


Рисунок 4 – Схема испытаний модернизированной схемы грозозащиты

Таким образом, модернизированная схема защиты (см. рисунок 4) является наиболее приемлемой по характеристикам защиты от перенапряжений.

УДК 656.25

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СХЕМ ЗАЩИТЫ ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

*К. А. БОЧКОВ, Ю. Ф. БЕРЕЗНЯЦКИЙ, С. И. ХОМЕНКО*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Испытание устройств и схем защиты от перенапряжений устройств автоматики и телемеханики связано с рядом существенных проблем. Так, с повышением степени жесткости испытаний возможен выход из строя как элементов схемы защиты, так и самого защищаемого объекта. Кроме того, электрические параметры элементов защиты под действием больших приложенных перенапряжений изменяются, что приводит к большому разбросу получаемых результатов измерений. При этом проведение измерений значительно затруднено как высокой скоростью протекания процессов, так и значительными уровнями энергии перенапряжений. Преодолеть вышеуказанные трудности позволяет моделирование элементов систем грозозащиты с помощью специальных программ. Для проведения моделирования необходимо разработать имитационные модели устройств защиты от перенапряжений, которые в большинстве пакетов схемотехнического моделирования отсутствуют.

При разработке имитационных моделей для программ схемотехнического моделирования, например OrCAD, может быть использована возможность построения модели устройства защиты на основе набора существующих схемных примитивов и посредством описания модели с помощью языка описания PSpice.

При построении модели разрядника в соответствии с рекомендациями IEEE применена эквивалентная схема разрядника, приведенная на рисунке 1.

На схеме указаны элементы:  $L_p$  ( $L1$ ) – индуктивность соединительных проводников разрядника,  $C_p$  ( $C1$ ) – емкость разрядника,  $R_v$  ( $R3$ ) – сопротивление во включенном состоянии,  $U_{вкл}$  (ключ  $S1$ ) – определяет напряжение срабатывания разрядника. Источник напряжения  $V1$  и сопротивления  $R1$ ,  $R2$  моделируют импульс перенапряжения с параметрами согласно стандарту МЭК 61000-405 (СТБ ЕН 61000-4-5). В ходе моделирования установлено, что разработанная модель адекватно отражает процессы, протекающие при прохождении импульса перенапряжения через ступень защиты, содержащей разрядник.

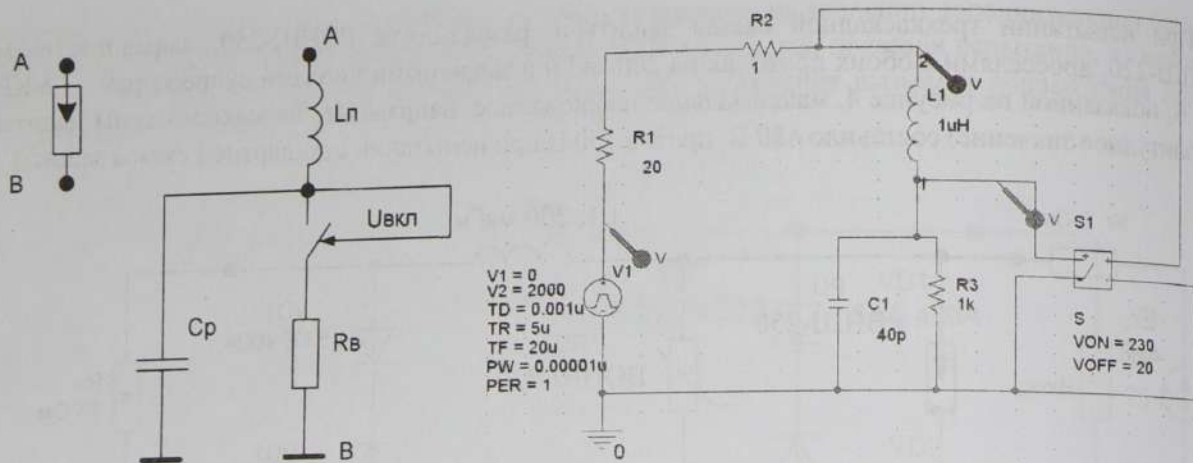


Рисунок 1 – Эквивалентная схема разрядника и ее реализация в пакете OrCAD

При построении имитационной модели варистора применен язык описания схем PSpice. Эта модель позволяет описать как элементы схемы замещения, реализуемой в соответствии с требованиями IEEE, так и достаточно простыми методами представить нелинейный элемент с соответствующими характеристиками. Вариант реализации PSpice модели варистора приведен на рисунке 2.

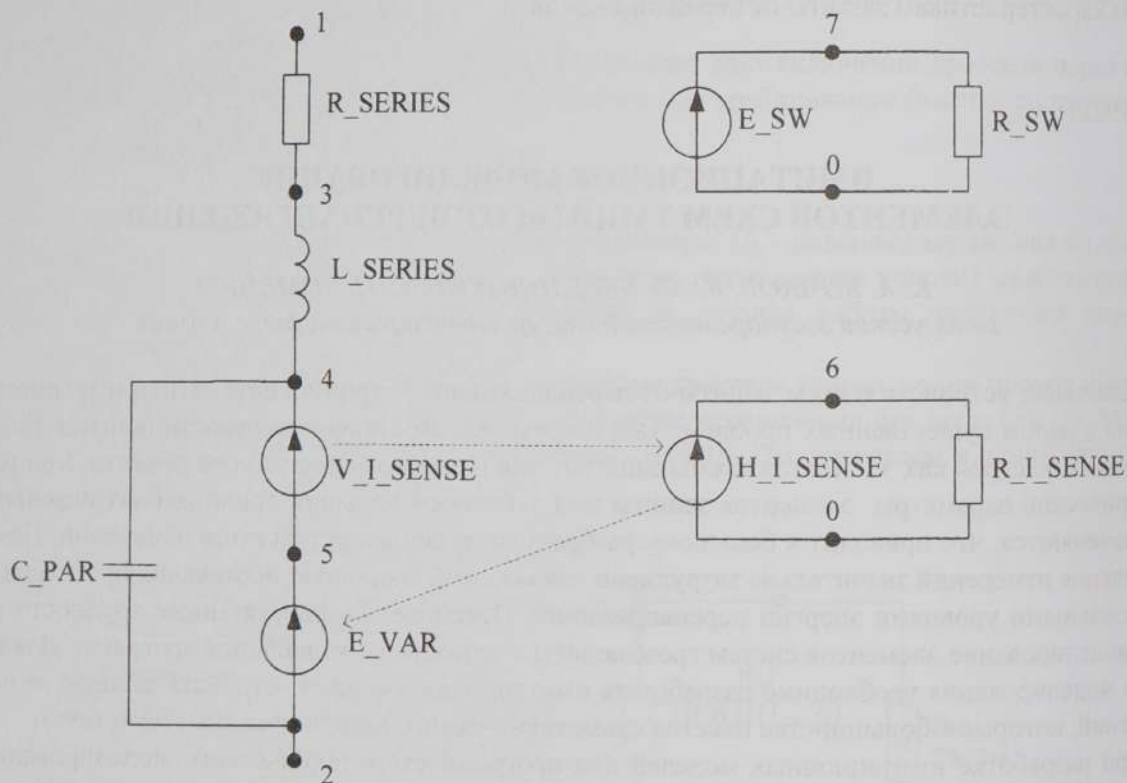


Рисунок 2 – Модель варистора для пакета OrCad, созданная с помощью языка моделирования аппаратуры PSpice

Модель содержит в своем составе элементы  $R\_SERIES$  и  $L\_SERIES$ , представляющие собой эквивалентные сопротивление и индуктивность выводов варистора.  $C\_PAR$  является эквивалентной емкостью варистора. С помощью зависимых источников напряжения  $V\_I\_SENSE$ ,  $E\_SW$ ,  $E\_VAR$  реализуется требуемая вольт-амперная характеристика (ВАХ) нелинейного элемента варистора, описываемая уравнением

$$\log(U) = b1 + b2 \log(I) + b3 e^{-\log(I)} + b4 e^{\log(I)},$$

где  $U$  – напряжение на ограничивающем элементе;  $b1$ – $b4$  – коэффициенты, определяющие нелинейность ВАХ;  $I$  – ток через ограничивающий элемент.

Посредством изменения коэффициентов  $b_1$ – $b_4$  имеется возможность получения ВАХ, соответствующей реальному варистору, и ее оперативного изменения для моделирования процессов изменения характеристики нелинейного элемента вследствие старения и т.д.

Результат моделирования существующих двухступенчатых схем грозозащиты показал, что они не позволяют снизить перенапряжение до приемлемого уровня. При этом установлено, что основную роль в снижении уровня перенапряжения на нагрузке играют соотношения сопротивления источника помехи и эквивалентного сопротивления, сработавших элементов защиты и сопротивления нагрузки. Так как сопротивление защищаемого объекта сопоставимо, а иногда и ниже сопротивления элементов защиты, то через защищаемый объект протекает большой ток и выделяется значительная энергия. Это требует дальнейшего совершенствования схем грозозащиты.

Таким образом, применение разработанных моделей элементов защиты от перенапряжений позволяет моделировать схемы грозозащиты с достаточной достоверностью. При этом имеются возможности оперативного изменения параметров элементов и получения значений результатов измерений величин других параметров, которые достаточно сложно получить при реальных испытаниях.

УДК 656.25

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИСПЫТАНИЙ УСТРОЙСТВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ НА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ

*К. А. БОЧКОВ,*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*Д. В. КОМНАТНЫЙ*

*Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого*

В лаборатории «Безопасность и ЭМС» НИИЖТа при Белорусском государственном университете транспорта накоплен обширный материал по результатам испытаний различного оборудования СЖАТ на электромагнитную совместимость. При проведении испытаний неоднократно отмечалось, что аппаратура СЖАТ выдерживала все испытательные воздействия, предусмотренные РД РБ БЧ 19.055-99, кроме испытания на устойчивость к электростатическому разряду (ЭСР). Из обсуждений на различных форумах специалистов по ЭМС известно, что такие же случаи наблюдались и в других исследовательских организациях. Но, несмотря на это, данному обстоятельству не уделено достаточного внимания в капитальных работах по ЭМС Э. Хабигера, А. И. Шваба, Л. Н. Кечиева и Е. Д. Пожидаева, Т. Уильямса и др. Поэтому в настоящем докладе выполнен сравнительный анализ испытаний на воздействие электромагнитных помех, предусмотренных стандартами РБ, ПМГ, МЭК и EN. Проведенные исследования показали следующее.

Стандартами предусмотрено значительное число испытаний на устойчивость к кондуктивным помехам, к которым относятся: пачки наносекундных импульсов, микросекундные импульсы, динамические изменения напряжения питания, коммутационные помехи, паразитные гармоники, нелинейные искажения и перекрестная модуляция, колебания частоты сети, помехи от источников постоянного напряжения и др.

Среди некондуктивных помех широко проводятся испытания на устойчивость к магнитным полям промышленной частоты и радиопомехам. Магнитные поля промышленной частоты содержат гармоники сравнительно низких частот, пропорциональных промышленной частоте 50 Гц. Кроме того, исследования С. М. Аполлонского показывают, что высшие гармоники магнитного поля промышленных источников резко убывают в пространстве по закону  $\sim 1/r^{n+1}$ . Радиопомехи имеют широкий спектр, но сравнительно малую мощность, что делает их опасными, главным образом, для радиоканалов железнодорожной автоматики и связи.

Испытания на устойчивость к ЭСР занимают, как показывает анализ, особое место. По ГОСТ Р 513 17.4.2-2001 импульсы испытательного генератора производятся в места неоднородностей на корпусе. Эти неоднородности являются паразитными излучающими антеннами, которые создают внутри корпуса помеховые поля различной природы: электрические, магнитные и электромагнит-