

ISSN 1811-1858

# ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛ



С. ТҰРАЙҒЫРОВ АТЫНДАҒЫ  
ПАВЛОДАР ЖЕМӘКЕТТІК  
УНИВЕРСИТЕТІ

## ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ СЕРИЯ



1'2011

ПМУ ХАБАРШЫСЫ  
ВЕСТНИК ПГУ

## **ОСОБЕННОСТИ БЕЗОПАСНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ**

**А.К. Садыков**

*Департамент по чрезвычайным ситуациям по Павлодарской  
области, г. Павлодар*

**Б.К. Шапкенов**

*Инновационный Евразийский университет, г. Павлодар*

**В.П. Марковский**

*Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова*

**А.Б. Кайдар**

*Инновационный Евразийский университет, г. Павлодар*

Электроустановки являются мощными источниками электромагнитных излучений, буквально пронизывающих все прилегающее к ним пространство. Но зачастую электроустановки и сами подвергаются воздействию мощных внешних электромагнитных излучений. Одной из актуальных является проблема экранирования контрольных кабелей от наведенных напряжений, ухудшающих функционирование микропроцессорных устройств защиты [1].

Основным средством защиты контрольных кабелей от наведенных напряжений является их экранирование, а также выбор правильного способа прокладки с учетом максимально возможного удаления от молниеотводов и силовых кабелей, использование специальных кабельных лотков. Существует несколько типов таких лотков: пластмассовые со вставками из алюминия, пластмассовые с напылением металла, алюминиевые.

В общем случае эффективность металлического экрана (то есть степень ослабления электромагнитного поля) обусловлена двумя его свойствами: поглощением энергии при прохождении электромагнитной волны через проводящую среду и отражением волны на границе раздела двух сред. Оба эти явления зависят как от частоты электромагнитной волны, так и от материала экрана. Лучшее поглощение электромагнитной энергии обеспечивают ферромагнитные материалы, а лучшее отражение электромагнитной волны обеспечивается диамагнитными материалами (медь, алюминий). Эффективность экранирующих свойств ферромагнитных материалов снижается с увеличением напряженности поля из-за насыщения, а эффективность диамагнитных экранов снижается с ростом частоты из-за роста сопротивления. По ряду причин технического и экономического

порядка наибольшее распространение получили экраны в виде медной сетки (оплетки) и различных профилей из алюминия, например, на нефтегазовом месторождении Тенгиз при строительстве «Завода второго поколения» [2].

Поскольку глубина проникновения электромагнитной волны в металл зависит обратно пропорционально от частоты этой волны, то очевидно, что чем толще экранирующая металлическая оболочка, тем для более широкого частотного диапазона она будет эффективно ослаблять электромагнитное поле. Например, если для эффективного экранирования на частоте 500 кГц достаточной является толщина медного экрана около 0,6 мм, то для промышленной частоты 50 Гц необходим медный экран с толщиной стенок уже около 6 см (для ферромагнитного экрана достаточна стенка в 5 мм).

Исходя из изложенного, ясно, что наименьшим экранирующим эффектом обладают пластмассовые лотки с металлическим напылением, широко используемые для прокладки контрольных кабелей. Такая конструкция начинает работать эффективно лишь на частотах 600 МГц и выше. На частотах ниже 200 МГц она вообще не работает. Наводки на контрольные кабели на подстанциях имеют обычно значительно более низкую частоту, чем указанные 200 МГц, поэтому применение пластмассовых лотков с напылением вообще бессмысленно. Вместе с тем алюминиевые лотки и медная оплетка на кабелях все еще способны ослабить наводимые напряжения в десятки раз, и поэтому они нашли широкое применение. Ранее для ослабления наводок в широком диапазоне частот применяли прокладку контрольных кабелей в стальных водопроводных трубах.

В настоящее время в качестве контрольных кабелей используют кабели из спитого полиэтилена с медными жилами, медной экранирующей сеткой и с проволочной броней, которые обеспечивают заземление и помехоустойчивость. Для высококатегорийных объектов для цепей автоматики и телемеханики используют оптоволоконные кабели [3].

Для успешного функционирования экранных оболочек необходимо обеспечить стекание наведенного на них заряда в «землю». В идеальном случае потенциал по всей длине экрана должен быть равным потенциалу «земли», поэтому иногда в особо чувствительных высокочастотных электронных цепях применяют многократное заземление экрана кабеля через каждые  $0,2\lambda$  ( $\lambda$  — длина волны электромагнитного поля). При прокладке экранированных кабелей на подстанциях можно использовать также дополнительное решение, как прокладка параллельно трассе кабелей медной шины выравнивания потенциалов, заземленной с двух сторон. Однако чаще используется простое заземление экрана с одной или с двух сторон (рис. 1).

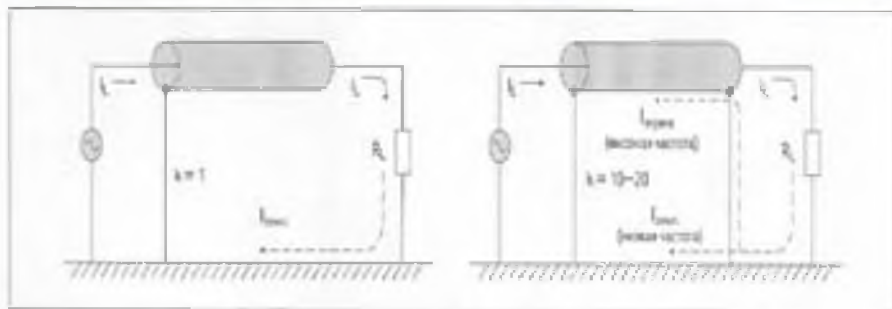


Рисунок 1 - Работа экрана, заземленного с одной и с двух сторон

Заземление экрана контрольного кабеля с одной стороны является эффективным лишь против емкостных наводок (так называемая электростатическая защита) и совершенно неэффективной мерой (коэффициент ослабления помехи  $k = 1$ ) для индуктированных наводок, поскольку этот экран не обеспечивает цепи для замыкания тока помехи (рис.2).

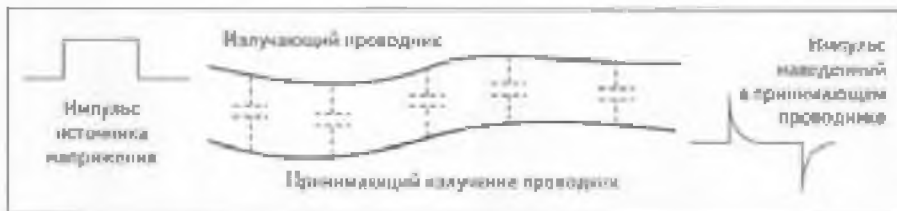


Рисунок 2 - Импульсная наводка через емкостную связь между проводниками

При заземлении экрана с двух сторон появляется дополнительная цепь (экран), обладающая значительно меньшим импедансом для высокочастотного сигнала, чем «земля». В результате рабочий сигнал делится на две части, одна из которых (низкочастотная) по-прежнему возвращается через «землю», а вторая (высокочастотная) — через экран кабеля. Таким образом, для высокочастотной составляющей ток в экране равен току в центральной жиле, направленному встречно, и компенсируется благодаря электромагнитной связи между экраном и центральной жилой. Так обеспечивается защита от высокочастотного излучения с центральной жилы во внешнее пространство (то есть на соседние кабели) с коэффициентом ослабления помехи  $k = 3-20$ . Эта система работает так же эффективно и при внешнем электромагнитном воздействии на экран, при котором наведенный в экране высокочастотный сигнал замыкается через «землю». При выполнении присоединения экрана к

земляной шине следует иметь в виду, что никакие «накрутки» соединительного провода на экран недопустимы, как недопустимо и свертывание в кольца длинного соединительного провода между экраном и земляной шиной. Каждый дополнительный виток этого провода увеличивает импеданс системы заземления на высоких частотах и резко снижает ее эффективность.

Мощным источником помех на подстанциях иногда выступают источники, совершенно не явные и не очевидные. Например, на одной из казахстанских подстанций были зафиксированы случаи ложных отключений одного из высоковольтных выключателей при подаче команды на отключающую катушку другого выключателя. Контрольные кабели, идущие к отключающим катушкам обоих выключателей, были не экранированы и проходили в общем лотке на протяжении примерно 25 м. Эксперименты с осциллографированием напряжений, выполненные на этой подстанции, показали, что на катушке ложно сработавшего выключателя могут наводиться импульсы с амплитудой 500–728 В при подаче управляющего напряжения 220 В на катушку второго выключателя (рис. 3).

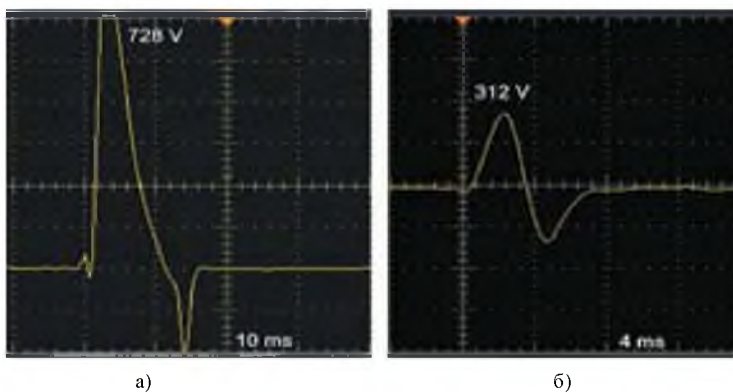


Рисунок 3 - Индуцированные наводки одного контрольного кабеля на другой

Длительность этого наведенного импульса иногда бывает такой, что приводит к ложному срабатыванию выключателя (рис. 3а). Возникновение столь мощной импульсной помехи в цепях управления вызывает у специалистов некоторое недоумение и даже замешательство. Все становится понятным, если вспомнить, что катушка отключения выключателя снабжена ферромагнитным сердечником и имеет довольно значительную индуктивность, а выключатель снабжен блок-контактом, разрывающим ток в этой катушке при срабатывании выключателя. Как известно, энергия, выделяемая при разрыве цепи тока с индуктивностью, может быть весьма значительной. После заземления с двух сторон экрана контрольного кабеля одного из выключателей мощность индуцированного импульса помехи

на втором кабеле значительно уменьшилась (рис. 3б), и случаи ложных срабатываний второго выключателя полностью прекратились.

Проблема с двусторонним заземлением экрана может возникнуть лишь при постоянном протекании через центральный проводник значительных по величине переменных токов (обычно токов промышленной частоты), вызывающих в экране значительные индуктированные токи, приводящие к его сильному нагреву. В результате приходится применять провода большего сечения (чтобы уменьшить нагрев изоляции проводов) или заземлять один из концов экрана через конденсатор. Конденсатор обладает большим сопротивлением для токов промышленной частоты и очень малым сопротивлением для высокочастотной помехи. В некоторых случаях может возникнуть ситуация, когда через заземленный с двух сторон экран протекает значительный импульсный ток помехи, вызывающий наводку в центральной жиле. Также может произойти, например, под действием значительного тока молнии, протекающего в близко расположенных от контрольных кабелей элементах системы заземления или под действием тока близкого короткого замыкания (рис. 4).

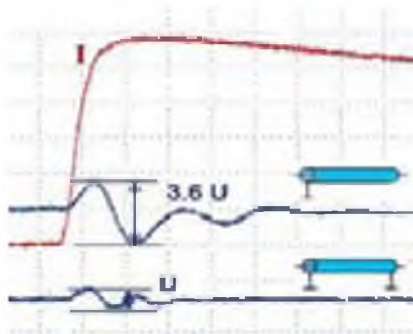


Рисунок 4 - Наводки напряжения на контрольные кабели с односторонним и двусторонним заземлением экрана при протекании импульса тока молнии через заземлитель

При токе молнии в заземлителе 100 кА, даже при заземлении экрана кабеля с двух сторон, пиковое значение напряжения помехи на центральной жиле кабеля может достигать до 8,2 кВ, что значительно превосходит уровень устойчивости микропроцессорных устройств защиты.

В этих случаях необходимо либо изменить трассу пролегания контрольных кабелей (удалить их от силовых коммутационных аппаратов, молниеводов, разрядников), либо уменьшить разность потенциалов между заземленными концами экрана кабеля при воздействии на него мощной импульсной

помехи. Последнее решается путем прокладки вдоль кабелей медной шины, заземленной с двух сторон, которая так и называется — «шина уравнивания потенциалов». Ее действие обусловлено тем, что импеданс медной шины на высоких частотах значительно меньше импеданса «земли» (и даже импеданса экрана), и поэтому основная часть высокочастотного тока импульсной помехи будет протекать через эту шину, а не через экран. Применение этих мер совместно с широким использованием варисторов, рассмотренных выше, позволит надежно защитить микропроцессорные устройства защиты. Эти меры будут наиболее эффективными, если их принимать уже на стадии проектирования и строительства новых объектов электроэнергетики.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов М.Б., Кунгуров Д.А., Матвеев М.В., Тарасов В.Н.. Проблемы защиты входных цепей аппаратуры РЗА от мощных импульсных перенапряжений. Москва-Чебоксары, 1997 г. – 139 с.

2. Шапкенов Б.К., Марковский В.П., Кайдар А.Б. Инновационные методы электрообогрева в промышленности. Материалы международной научно-практической конференции «УП чтения Машхур-Жусипа», Павлодар, 2010, 2 т., С. 214-219.

3. Шапкенов Б.К., Марковский В.П., Кайдар А.Б. Повышение эффективности системы транспортирования нефти. Проблемы и достижения в промышленной энергетике: Сборник докладов IX Международной научно-практической конференции в рамках выставки «Энергетика и электротехника – 2010» (24 – 26 ноября 2010 г.). – Екатеринбург: ЗАО «Уральские выставки», 2010. С. 63-67.

### *Түйіндеме*

*Мақалада релелік қорғаныстың микропроцессорлық құрылғыларының жұмыс істеуін нашарлататын келтірілген кернеулерден келетін бақылау кабельдерін экрандау мәселелері жазылған. Электрэнергетика нысандарын пайдалану кезіндегі сенімділікті көтеруге арналған шаралар анықталды.*

### *Resume*

*The article describes the problems of shielding control cables from induced voltage, worsening functioning of microprocessor devices of relay protection. Measures for reliability in the operation of power facilities are determined.*