

ПРОБЛЕМЫ ЭКРАНИРОВАНИЯ КОНТРОЛЬНЫХ КАБЕЛЕЙ

В. В. Судибор

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Беларусь

Научные руководители: Т. В. Алферова, Л. И. Евминов

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 (т. е. 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 (железо, пермендюр, пермаллой), 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.

Поскольку глубина проникновения электромагнитной волны в металл обратно пропорциональна частоте этой волны, то очевидно, что, чем толще экранирующая металлическая оболочка, тем более эффективно она будет ослаблять электромагнитное поле для более широкого диапазона частот. 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).

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. Наибольшее ослабление наводок в широком диапазоне частот может обеспечить прокладка контрольных кабелей в стальных водопроводных трубах.

Для успешного функционирования экранированных 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 $0,2\lambda$ (λ – длина волны электромагнитного поля). При прокладке экранированных кабелей на подстанциях можно использовать такое дополнительное решение, как прокладка параллельно трассе кабелей медной шины для выравнивания потенциалов, заземленной с двух сторон. Однако чаще используется простое заземление экрана с одной или с двух сторон (рис. 1).

В ряде источников [1] рассматривается целесообразность заземления экранов контрольных кабелей лишь с одной стороны.

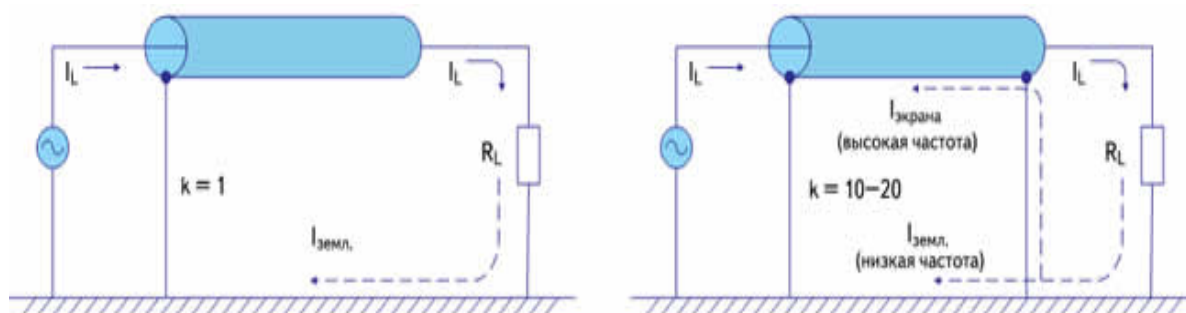


Рис. 1. Заземление экрана с одной или с двух сторон

В действительности заземление экрана контрольного кабеля с одной стороны является эффективным лишь против емкостных наводок (рис. 2) (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. При заземлении экрана с двух сторон появляется дополнительная цепь (экран), обладающая значительно меньшим импедансом для высокочастотного сигнала, чем «земля».



Рис. 2. Емкостные наводки на принимающий проводник

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 (т. е. на соседние кабели) с коэффициентом ослабления помехи $k = 3-20$. Эта система работает также 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. В некоторых случаях может возникнуть ситуация, когда через заземленный с двух сторон экран протекает значительный импульсный ток помехи, вызывающий наводку в центральной жиле. Такое может произойти, например, под действием значительного тока молнии, протекающего в близкорасположенных от контрольных кабелей элементах системы заземления или под действием тока близкого короткого замыкания [2]. Как показано в [2], 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 МУРЗ.

В этих случаях необходимо либо изменить трассу пролегания контрольных кабелей (удалить их от силовых коммутационных аппаратов, молниеотводов, 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 позволит надежно защитить микропроцессорные устройства релейной защиты. Разумеется, эти меры будут наиболее эффективными, если их принимать на стадии проектирования и строительства новой подстанции, а не при «латании дыр» на старой.

Литература

1. Matsuda, T. Experience with maintenance and improvement in reliability of microprocessor-based digital protection equipment for power transmission systems / T. Matsuda. – Report 34-104, SIGRE, session 30 aug. – 5 sept., 1992. – 40 с.
2. Гуревич, В. Микропроцессорные реле защиты. Устройство, проблемы, перспективы / В. Гуревич. – М. : Инфа-Инженерия, 2011. – 336 с.