УДК 44.29.29(31); 44.29.37

Ю.М.БОРОДЯНСКИЙ
Санкт-Петербургский государственный горный институт им. Г.В.Плеханова (технический университет)

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ ОБОРУДОВАНИЯ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ С ПОКРЫТЫМИ ИЗОЛЯЦИЕЙ ПРОВОДАМИ

Представлена методика выбора ограничителей перенапряжения (ОПН) с учетом особенностей линий электропередач. Данная методика позволяет достичь необходимого уровня электромагнитной совместимости элементов оборудования воздушных линий с изолированными проводами. Выбор ОПН производится по нескольким параметрам, в том числе координируется по грозовым и коммутационным перенапряжениям. В трехфазных сетях особое внимание должно быть уделено кратковременным перенапряжениям. Правильность выбора ОПН по этому критерию обусловлена достоверностью оценки резонансных перенапряжений или вероятностью появления дуговых перенапряжений. Данная методика позволяет достичь необходимого уровня электромагнитной совместимости элементов оборудования линий электропередач.

The technique of a choosing of overvoltage terminators in view of features of electric mains is submitted. The given technique allows to reach a necessary level electromagnetic compatibility of elements of the equipment of air-lines with isolated wires. Choice is made on several parameters, including coordinated on storm and switching overvoltage. In three-phase networks the special attention should be given to short-term overvoltage. Correctness of choice by this criterion is caused by reliability of an estimation resonant overvoltage or probability of occurrence arc overvoltage. The given technique allows to reach a necessary level electromagnetic compatibility of elements of the electric mains equipment.

Электромагнитная совместимость (ЭМС) – способность технических средств функционировать с заданным качеством в определенной электромагнитной обстановке, не создавая при этом недопустимых электромагнитных помех другим техническим средствам и недопустимых электромагнитных воздействий на биологические объекты.

В данный момент в России, как и в Европе, действует своя система стандартов и сертификаций. С введением новых стандартов практически вся электротехническая продукция подпадает под обязательную сертификацию по ЭМС.

Воздушные линии (ВЛ) напряжением 6(10) кВ являются одним из основных элементов систем электроснабжения, при этом надежность их работы относительно сетей более высоких классов напряжений низка. Как показывает практика, 30-50 % отключений вызвано механическими причинами (падение опор, обрыв проводов под действием ветра и гололеда, вандализм) и около 50-70 % – электрическими. Последние часто

являются следствием грозовых атмосферных явлений.

Очевидна актуальность проблемы электромагнитной совместимости уровня изоляции и параметров устройств защиты (в том числе релейной) и сетевой автоматики на линиях электропередач (ЛЭП). Увеличение электрической прочности изоляции воздушных линий путем замены проводов на изолированные и их защита от коммутационных и грозовых перенапряжений с применением ограничителей перенапряжений существенно повышает надежность и уровень электромагнитной совместимости электрооборудования электрических сетей.

Грозовые перенапряжения, обусловленные ударами молнии в фазные провода, приводят к появлению в воздушной линии волн напряжения, распространяющихся по линии и достигающих подстанции. Амплитуда волн напряжения ограничена значением пробивного напряжения линейной изоляции ЛЭП. Грозовые волны, достигая подстанции, воздействуют на установленное там оборудование. Уровень внешней и внутренней изоляции оборудования станций и подстанций ниже уровня изоляции воздушных линий электропередач. Первоначально роль защитного аппарата выполнял простой искровой промежуток с пробивным напряжением ниже, чем уровень изоляции защищаемого оборудования, но его пробой требовал отключения короткого замыкания.

Следующим защитным аппаратом стал вентильный разрядник. В нем многократный искровой промежуток включается последовательно с нелинейным сопротивлением, обычно на основе карбида кремния. Остающееся напряжение на этом сопротивлении при номинальном разрядном токе 5-10 кА, 8/20 мкс принималось равным импульсному пробивному напряжению искрового промежутка. После ликвидации импульсного перенапряжения при наибольшем допустимом напряжении промышленной частоты, благодаря нелинейности сопротивления, протекающий через вентильный разрядник сопровождающий ток снижается до 100 А и гасится искровым промежутком при первом же прохождении через нулевое значение. Это обеспечивает защиту от импульсных перенапряжений.

Ограничители представляют собой разрядники без искровых промежутков, в которых активная часть состоит из металлооксидных нелинейных резисторов, изготавливаемых из окиси цинка (ZnO) с малыми добавками оксидов других металлов (рис.1).

Нелинейные ОПН с полимерной внешней изоляцией предназначены для защиты от коммутационных и атмосферных перенапряжений изоляции электрооборудования подстанций и сетей переменного тока. Ограничители перенапряжений устанавливаются в сетях переменного тока частотой 50 Гц с изолированной нейтралью и подключаются через искровой промежуток параллельно (желательно каждому) изолятору. Конструктивно ограничители перенапряжений выполнены в виде заключенного в полимерную покрышку блока последовательно соединенных оксидно-цинковых резисторов.

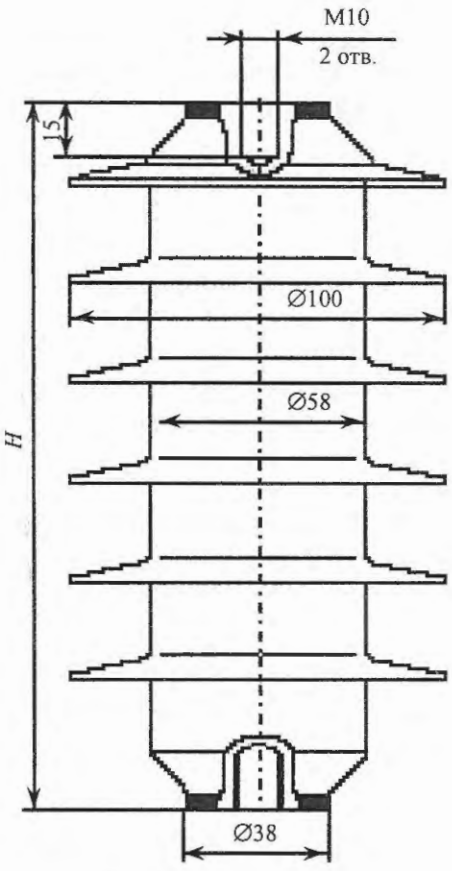


Рис.1. Габаритный чертеж ОПН

Для того, чтобы ограничитель отвечал потребностям электрической сети, надежно защищал оборудование и не разрушался в процессе эксплуатации, необходимо выполнение следующих условий:

1. Наибольшее допустимое напряжение ОПН $U_{нд}$ должно быть больше наибольшего рабочего напряжения сети $U_{нр}$ или оборудования:

$$U_{нд} > U_{нр}.$$

2. Уровень временных перенапряжений должен быть меньше максимального значения напряжения промышленной частоты, выдерживаемого ОПН в течение времени t,

$$TU_{нд} > U_{пер},$$

где $U_{пер}$ – уровень квазистационарных перенапряжений (феррорезонансные перенапряжения, резонансное смещение нейтрали).

3. Поглощаемая ограничителем энергия не должна превосходить энергоемкость ОПН:

$$W_{уд}U_{нд} > W_{с}.$$

4. Ограничитель должен обеспечить необходимый защитный координационный интервал по грозовым воздействиям $A_{гр}$:

$$A_{гр} = (U_{исп} - U_{ост})/U_{исп} > (0{,}2 \div 0{,}25),$$

где $U_{исп}$ – значение грозового испытательного импульса; $U_{ост}$ – остающееся напряжение на ОПН при номинальном разрядном токе; (0,2÷0,25) – координационный интервал.

5. Ограничитель должен обеспечить защитный координационный интервал по внутренним перенапряжениям $A_{вн}$:

$$A_{вн} = (U_{доп} - U_{ост})/U_{доп} > (0{,}15 \div 0{,}25),$$

где $U_{доп}$ – допустимый уровень внутренних перенапряжений; $U_{ост}$ – остающееся напряжение на ОПН при коммутационном импульсе.

6. Ток короткого замыкания сети должен быть меньше тока взрывобезопасности ОПН:

$$I_{кз} < I_{вз.без}.$$

Наибольшее допустимое напряжение ограничителя должно быть большим, чем рабочее напряжение промышленной частоты на выводах ограничителя. При размещении ограничителей в трехфазных сетях местоположение ОПН играет решающую роль: между фазой и землей, между нейтралью трансформатора и землей, между фазами. В зависимости от способа включения ОПН определяется наибольшее напряжение, воздействующее на ОПН. В сетях с эффективно заземленной нейтралью за наибольшее рабочее напряжение принимается максимальное фазное рабочее напряжение сети. Если оно не известно, то необходимо использовать наибольшее рабочее напряжение сети или наибольшее напряжение оборудования. В сетях с изолированной нейтралью или с компенсацией емкостных токов за наибольшее значение напряжения принимается линейное напряжение сети.

В трехфазных сетях особое внимание должно быть уделено кратковременным перенапряжениям. Они наиболее часто происходят в несимметричных и неполнофазных режимах. Значения перенапряжений зависят от большого числа различных факторов (схема сети, вид установленного оборудования и коммутационной аппаратуры, режим работы). Продолжительность временных перенапряжений зависит от вида и времени работы релейной защиты по отключению режима повышенных напряжений (защита от повышения напряжений, защита от замыканий на землю). Правильность выбора ОПН по этому критерию обусловлена достоверностью оценки резонансных перенапряжений или вероятностью появления дуговых перенапряжений (рис.2). Характеристика $T(t)$ показывает максимальный промежуток времени, в течение которого к ОПН может быть приложено напряжение промышленной частоты, превышающее $U_{нр}$.

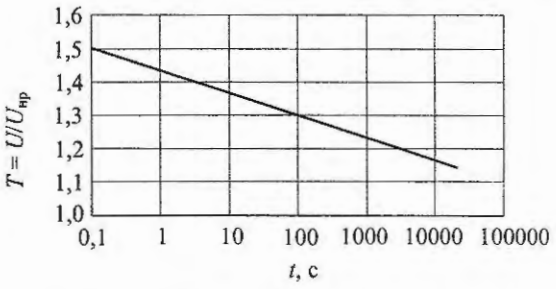


Рис.2. Характеристика «напряжение – время»



Рис.3. Зависимость уровня дуговых перенапряжений от вероятности их появления

Зависимость уровня дуговых перенапряжений от вероятности их появления (рис.3) говорит о том, что кратность перенапряжений $3{,}0U_{\text{ф}}$ возникает с вероятностью не большей 0,05. Время существования наибольших перенапряжений, на основании экспериментальных исследований, составляет 2-3 с. Таким образом, с вероятностью 0,05 в сети возможно повышение напряжения до $3{,}0U_{\text{ф}}$ или $1{,}73U_{\text{ф}}$. Эти значения необходимо сравнить со значением T по кривой рис.2 при $t = 2 \div 3$ с.

Предлагаемая методика выбора ОПН разработана для защиты электрооборудования электрических и промышленных сетей 6-35 кВ, обеспечивает их надежную и безопасную эксплуатацию. В настоящее время применяется в сетях нефтедобывающих предприятий.

Научный руководитель д.т.н. проф. *Б.Н.Абрамович*