

## Новые технологии в организации электропитания микропроцессорных реле защиты

Владимир Гуревич, канд. техн. наук

Как известно, на подстанциях используется оперативное напряжение и постоянного и переменного тока. Использование оперативного напряжения постоянного тока позволяет существенно повысить надежность работы релейной защиты за счет использования мощной батареи аккумуляторов, способной поддерживать напряжение на ответственных элементах подстанции при аварийных отключениях сети переменного тока. Однако, это повышение надежности обеспечивалось за счет существенного удорожания и подстанции и затрат на ее обслуживание. С другой стороны, электромеханические реле всех типов не требовали для работы наличия внешнего источника питания, так как их срабатывание происходило под действием только входных сигналов (тока, напряжения). Некоторую проблему доставляла лишь необходимость обеспечения энергией отключающей катушки высоковольтного выключателя в момент пропадания переменного оперативного напряжения. Но эта проблема была решена давно и достаточно просто: за счет использования накопительного конденсатора, постоянно подзаряжаемого в нормальном режиме работы от переменного оперативного напряжения (через выпрямительный диод) и обеспечивающего однократный импульс тока разряда через отключающую катушку выключателя при срабатывании реле защиты. Современные устройства такого типа содержат помимо конденсатора еще и несколько никель-кадмиевых батареек и маломощный полупроводниковый инвертор с выходным напряжением 250 В, через который конденсатор постоянно подзаряжается от батарейки пока отсутствует оперативное напряжение. Выходная мощность инвертора составляет милливатты и расходуется она только на компенсацию саморазряда конденсатора. Такие компактные устройства, рис. 1, выпускаются многими фирмами и позволяют сохранить заряд конденсатора в течение нескольких суток. Понятно, что в таких условиях, обеспечивается достаточная надежность релейной защиты даже на оперативном переменном токе. По этой причине, оперативный переменный ток применялся очень широко.



Рис. 1. Одно из современных устройств, обеспечивающих накопление и длительное сохранение энергии для питания отключающих катушек выключателей при отсутствии оперативного напряжения.

Ситуация начала изменяться в связи с массовой заменой электромеханических реле защиты - микропроцессорными. К большому количеству проблем, обусловленных таким переходом [1], добавилась еще одна проблема. Как известно, подавляющее большинство микропроцессорных устройств релейной защиты (МУРЗ) имеют внутренние импульсные источники питания, допускающие использование в качестве оперативного напряжения и переменного и постоянного тока. Поэтому, на первый взгляд, нет никаких причин препятствующих использованию оперативного переменного напряжения на подстанциях с МУРЗ. Проблема заключается в том, что для нормальной работы подавляющего большинства МУРЗ не достаточно только наличия соответствующих входных сигналов, как для электромеханических реле, а требуется еще и питание от цепи оперативного тока.

Как будет вести себя МУРЗ при пропадании этого питания в момент аварии, когда требуется интенсивная работа микропроцессора и других внутренних элементов? Как будет работать защита, содержащая несколько МУРЗ, объединенных в общую систему посредством соответствующих каналов связи, также требующих внешнего питания? Как будет вести себя МУРЗ при кратковременных провалах напряжения, связанных с переходными процессами во время аварии? Попробуем разобраться в этих вопросах.

Внутренний источник питания МУРЗ содержит, как правило, сглаживающие конденсаторы довольно большой емкости, способные некоторое время поддерживать функционирование реле. По данным исследований, проведенных в General Electric [2], для различных типов отдельно взятых МУРЗ это время составляет 30 – 100 мс. С учетом того, что время реакции МУРЗ на аварийные режимы лежит в том же самом интервале и зависит от типа аварийного режима, нельзя с определенностью сказать, успеет ли сработать защита. Во всяком случае, не возможно гарантировать ее надежную работу. И можно только гадать, что произойдет с дифференциальной защитой, содержащей два удаленных комплекта реле, при потере питания одного из них.

Что касается кратковременных провалов напряжения, то здесь ситуация еще более неопределенна. Такие провалы могут быть вызваны многими причинами, среди которых наиболее часты броски токов намагничивания при включения силовых трансформаторов. Особенно опасны несколько следующих подряд с малыми интервалами времени спады и подъемы напряжения, возникающие иногда при авариях и в переходных режимах. Величина и длительность провалов напряжения зависят от очень большого количества внешних факторов, таких, как мощность трансформатора, импеданс питающей сети, удаленность реле защиты от трансформатора собственных нужд, сечение кабеля, которым выполнены цепи питания и др. Да и сами МУРЗ имеют большой разброс характеристик по допустимым снижениям напряжения. По данным [3], различные типы МУРЗ сохраняют работоспособность при снижении напряжения питания до минимальной величины от 70 до 180 В. При этом МУРЗ с номинальным напряжением питания 240 В допускают большее (в процентном отношении) снижение напряжения, чем устройства с номинальным напряжением питания 120 В. Известно также, что любое микропроцессорное устройство требует для своей активации и выхода в нормальный режим, достаточно длительного времени с момента включения питания. Для современных МУРЗ с их системой самопроверки это время может достигать до 30 с. Это означает, что даже после кратковременного провала напряжения и последующего его возврата, релейная защита еще долго не будет функционировать.

Что же предлагается в качестве решения проблемы специалистом [2] из General Electric? Справедливо отмечая, что существующие устройства с накопительным конденсатором для питания отключающей катушки выключателей явно не приемлемы для питания МУРЗ, так как запасаемой в них энергии достаточно только для создания короткого импульса тока и совершенно не достаточно для поддержания питания МУРЗ, автор приходит в выводу о необходимости использования устройств бесперебойного питания (УБП) для организации питания МУРЗ в аварийном режиме. Вторая рекомендация автора – ввести дополнительную блокировку, запрещающую включение высоковольтного выключателя до того, как МУРЗ полностью активизируется. Что же, обе рекомендации вполне легитимны. Вот только использование УБП со встроенными аккумуляторами – давно известный способ поддержания питания ответственных потребителей в аварийном режиме, который имеет свои очевидные недостатки и ограничения (и экономические и технические). Использование блокировки на включение выключателя – действительно очень полезная вещь, которая несомненно должна быть использована, однако она не всегда может решить проблему, так как далеко не всегда провалы напряжения питания связаны с отключениями выключателя.

На наш взгляд, более простым и надежным решением проблемы является использование специального конденсатора большой емкости, подключенного параллельно

цепи питания каждого МУРЗ. Высококачественные конденсаторы большой емкости на напряжение 450 – 500 В выпускаются сегодня многими компаниями по цене, примерно, €150 - 200 и не являются дефицитом, см. табл.:

Емкость конденсатора, мкФ	Рабочее напряжение, постоянного тока, В	Размеры корпуса, мм (диаметр, длина)	Компания производитель и обозначение конденсатора
6000	450	75 x 220	EVOX-RIFA PEN200YX460BQ
10.000	450	90 x 220	EVOX-RIFA PEN200YZ510TM
4000	500	76.2 x 142	Mallory DuraCap Int. 002-3052
4000	450	76.2 x 142	CST-ARWIN HES402G450X5L
6900	500	76.2 x 220	CST-ARWIN CGH692T500X8L

Простейший расчет показывает, что один заряженный до напряжения 250 В конденсатор емкостью 5000 мкФ способен поддерживать в нагрузке с током 0.2 А (мощность 50 ВА) напряжение, снижающееся до минимального уровня 180 В в течение 1.5 сек, что вполне достаточно для срабатывания реле защиты в аварийном режиме. Для использования такого конденсатора в цепях с оперативным переменным напряжением потребуются, естественно выпрямитель и еще несколько вспомогательных элементов, рис. 2.

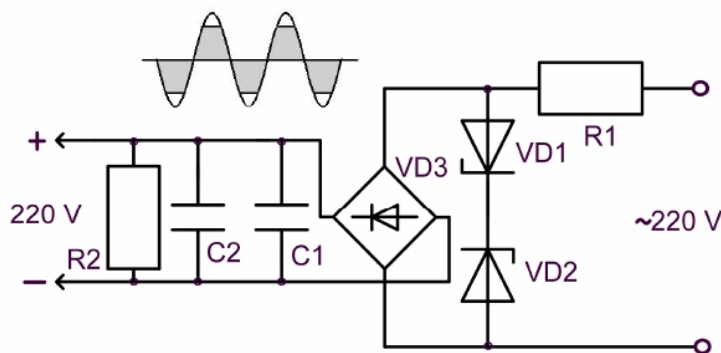


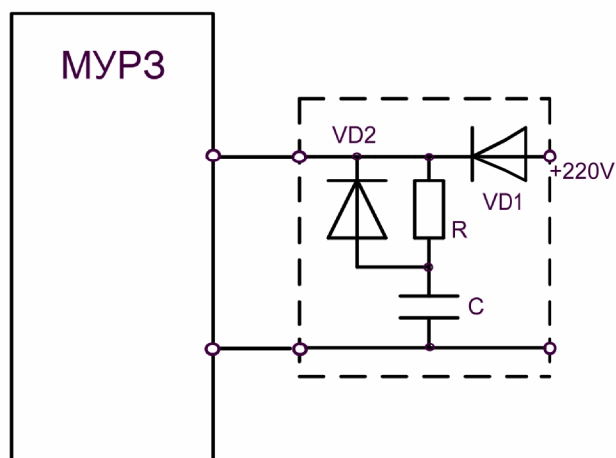
Рис. 2. Устройство резервного питания МУРЗ в аварийных режимах при использовании переменного оперативного напряжения

В этой схеме конденсатор большой емкости обозначен, как C2. Вспомогательный неэлектролитический конденсатор C1 емкостью в несколько микрофард служит для сглаживания пульсаций на электролитическом конденсаторе C2. Можно также включить параллельно конденсатору C1 еще один керамический конденсатор емкостью в несколько тысяч пикофард для защиты конденсатора C2 от высокочастотных гармоник, содержащихся в сетевом напряжении. Резистор R1 сопротивлением около 200 – 250 Ом

ограничивает ток, протекающий через устройство на уровне около 1А во время включения питания с незаряженным конденсатором С2. Этот же резистор ограничивает и импульсные токи протекающие через встречно включенные стабилитроны VD1 и VD2. Резистор R2 – высокоомный и служит для ускоренного разряда конденсатора до безопасного напряжения при отключении устройства. Стабилитроны предназначены для ограничения максимального значения напряжения на конденсаторе С2 на уровне 220 В. Без такого ограничения, за счет разницы между действующим и амплитудным значениями напряжения, на выходе устройства напряжение достигало бы значения более 300 В, что нежелательно и для МУРЗ и для конденсатора С2. Стабилитроны, включенные встречно, срезают ту часть синусоиды, амплитуда которой превышает 220 - 230 В, формируя напряжение трапециидальной формы. Поскольку мощные стабилитроны на напряжение выше 200 В не выпускаются, придется использовать по два последовательно включенных стабилитрона мощностью не менее 10 Вт на напряжение 110 – 120 В в качестве каждого из стабилитронов (VD1, DD2), например типов 1N1809, 1N3007В, NTE 5222А и др.

При дальнейшем исследовании ситуации оказалось, что проблема обеспечения надежного питания МУРЗ актуальна не только для подстанций с переменным оперативным напряжением, но также и для подстанций с постоянным оперативным напряжением. Известно много ситуаций, когда батарея аккумуляторов оказывается отключенной от шин постоянного тока. В этом случае ничего страшного не происходит, так как напряжение на шинах поддерживается за счет зарядного устройства. Однако, если в этот момент возникает аварийный режим в сети высокого напряжения, ситуация оказывается ничем не лучше, чем при использовании переменного оперативного напряжения, так как зарядное устройство питается от той же сети переменного тока. Обычно, на выходе зарядного устройства включен электролитический конденсатор емкостью в несколько сотен микрофард для сглаживания пульсаций выпрямленного напряжения. С учетом того, что к шинам постоянного тока подключены не только МУРЗ, но и множество других потребителей, совершенно очевидно, что эта емкость не способна поддержать необходимое напряжение на шинах в течение требуемого для работы МУРЗ времени. Для обеспечения работоспособности МУРЗ в этих условиях можно использовать то же самое техническое решение с индивидуальными накопительными конденсаторами, подключенными к каждому МУРЗ. Только теперь конструкция устройства будет намного проще за счет исключения из схемы стабилитронов и выпрямительного моста, рис. 3. Резистор R сопротивлением 50 – 100 Ом необходим для ограничения тока заряда конденсатора при включении устройства с незаряженным конденсатором. Диод VD1 должен быть рассчитан на ток не менее 5А.

Рис. 3. Устройство резервного питания МУРЗ в аварийных режимах при использовании постоянного оперативного напряжения.



Еще одним вариантом решением проблемы для подстанций с постоянным оперативным напряжением является использование не индивидуальных для каждого реле

конденсаторов, а некоего суперконденсатора, способного в течение нескольких секунд поддерживать питание всего комплекта релейной защиты вместе с сопряженной электронной аппаратурой. Оказывается, что такие конденсаторы уже давно существуют и они так и называются: «суперконденсаторы» (в русскоязычной технической литературе эти элементы называют еще «ионисторами»). Ионисторы, больше известные на Западе как конденсаторы с двойным электрическим слоем (double-layer capacitors), суперконденсаторы (super-capacitors) или ультра конденсаторы (ultracapacitors) - электрохимические компоненты, предназначенные для хранения электрической энергии. По удельной мощности и скорости доступа к запасенной энергии они занимают промежуточное положение между обычными электролитическими конденсаторами большой емкости и аккумуляторами, отличаясь и от одних и от других принципом действия, основанном на перераспределении зарядов в электролите и их концентрации на границе между электродом и электролитом. Сегодня суперконденсаторы выпускаются очень многими Западными компаниями, среди которых можно выделить Maxwell Technologies, NessCap, Cooper Bussmann, Epcos и др., а также некоторыми Российскими предприятиями (ЭСМА, Троицк; ЭЛИТ, Курск, и др). Емкость современных суперконденсаторов достигает сотен и даже тысяч Фарад, однако напряжение одного элемента не превышает, как правило, 2,3 – 2,7 В. Поэтому для получения более высоких напряжений отдельные элементы соединяют между собой последовательно-параллельно в блоки, рис. 4.



Рис. 4. Устройство высоковольтного (десятки вольт) суперконденсатора, собранного из большого количества низковольтных элементов.

К сожалению, суперконденсаторы не так просто соединяются между собой, как обычные конденсаторы и требуют выравнивающих резисторов при последовательном соединении и специальных электронных схем для выравнивания токов при параллельном соединении. В результате, такие блоки получаются довольно «увесистыми», дорогими и не очень надежными (достаточно повреждения одного из внутренних вспомогательных элементов для выхода из строя всей батареи). Например, такой комбинированный суперконденсатор фирмы NessCap емкостью 51 Ф, на напряжение 340 В весит 384 кг! Единственной известной нам компанией, производящей единичные модули (то есть не содержащие внутри большого количества низковольтных элементов) на высокие напряжения, рис. 5, является Канадская фирма Tavgima. Ее суперконденсатор типа ESCap 90/300, табл. 2, вполне подходит для наших целей.



Рабочее напряжение постоянного тока, В	300
Емкость, Ф	2.0
Максимальная мощность, кВт	75
Максимальная энергия, джоулей	90.000
Внутреннее сопротивление, Ом	0.3
Размеры, мм (диаметр, длина)	230 x 560
Вес, кг	35
Интервал рабочих температур, °С	-40 +55

Рис. 5. Высоковольтные суперконденсаторы в виде единичных модулей.

При использовании суперконденсатора SC цепи питания всех реле защиты РЗ должны быть выделены в отдельную линию, подключенную к общим шинам постоянного тока через диод D, рис. 6.

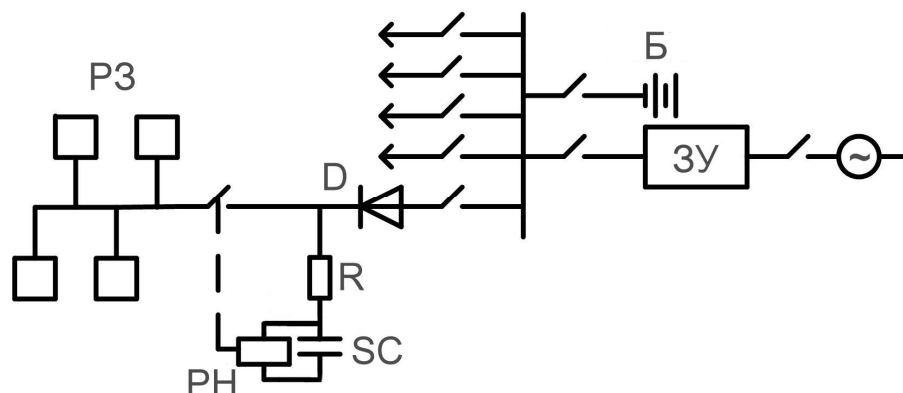


Рис. 6. Пример использования суперконденсатора в качестве группового резервного источника питания МУРЗ в аварийных режимах на подстанциях с постоянным оперативным напряжением

РЗ – релейная защита, включающая МУРЗ и сопряженные с ними электронные системы;  
 Б – стационарная батарея аккумуляторов; ЗУ – зарядное устройство; РН – реле напряжения; SC – суперконденсатор.

Благодаря большой емкости суперконденсатора снижение напряжения на клеммах питания МУРЗ при аварийном режиме с потерей внешнего питания будет происходить очень медленно даже после прохождения нижнего допустимого предела напряжения питания. Из личной практики, автору известны случаи ложной работы микропроцессорных систем при медленном снижении напряжения питания ниже допустимого уровня. Это можно объяснить тем, что разные электронные компоненты высокой степени интеграции, обслуживающие микропроцессор, имеют разные допустимые уровни снижения напряжения питания и могут прекращать свою работу при снижении напряжения питания поочередно, нарушая внутреннюю логику работы МУРЗ. Если такое свойство обнаруживается у МУРЗ, используемых на данной подстанции, то параллельно суперконденсатору следует включить простейшее реле напряжения РН, отключающее суперконденсатор при снижении напряжения ниже нижнего допустимого для МУРЗ уровня, например, ниже 180 В.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Гуревич В. Микропроцессорные реле защиты: альтернативный взгляд. – Мир техники и технологий, 2006, No. 2(51), с. 8 – 11.
2. Gary H. Fox. Applying Microprocessor-Based Protective Relays in Switchgear with AC Control Power. IEEE Transaction on Industry Applications, vol. 41, No. 6, 2005, pp. 1436 – 1443.