

# Провалы напряжения в сетях собственных нужд подстанций и защита от них



В. И. Гуревич, канд. техн. наук

Как известно, основными причинами провалов напряжения в сетях 0.4 кВ собственных нужд подстанций являются короткие замыкания во внешних сетях высокого напряжения. На промышленных предприятиях такие провалы напряжения часто связаны также с режимом работы мощного силового электрооборудования, например, пуском мощных электродвигателей.

Провалы напряжения являются одним из показателей качества электроэнергии, нормируемых в ГОСТ 13109-97, а также в международном стандарте IEC 61000-4. ГОСТ 13109-97 дает следующее определение термину «провал напряжения»: «провал напряжения –

внезапное понижение напряжения в точке электрической сети ниже  $0,9U_{ном}$ , за которым следует восстановление напряжения до первоначального или близкого к нему уровня через промежуток времени от десяти миллисекунд до нескольких десятков секунд».



Рис. 1. Пример из стандарта IEC 61000-4-11. Провал напряжения до 70 % номинального уровня, длительностью 25 циклов (0.5 сек).

Близкое к этому определение термину: “dip” - аналогу русского термина «провал напряжения» - дает и стандарт IEC 61000-4: по напряжению это уровни ниже  $0,8U_{ном}$  номинального значения (вплоть

до нуля), и по длительности от 10 миллисекунд до 15 секунд, рис. 1. Для компенсации провалов напряжения в цепях переменного оперативного тока, нашли широкое применение конденсаторные блоки питания, рис. 2.

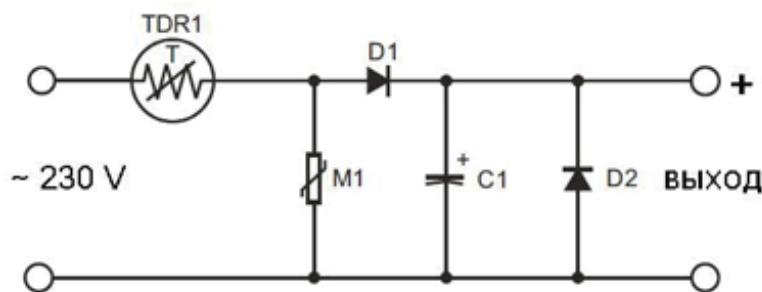


Рис. 2. Типичная схема конденсаторного блока, предназначенного для питания отключающей катушки выключателя во время провалов напряжения в сети оперативного питания.

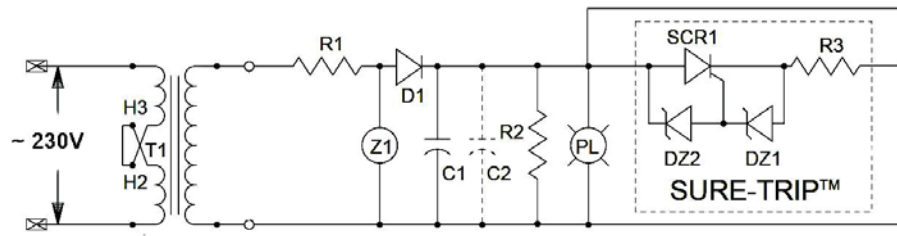


Рис. 3. Усложненная схема конденсаторного блока питания типа Sure-Trip (Square D) с дополнительным пороговым элементом на тиристоре SCR1, светодиоде PL, стабилитроном Z1.

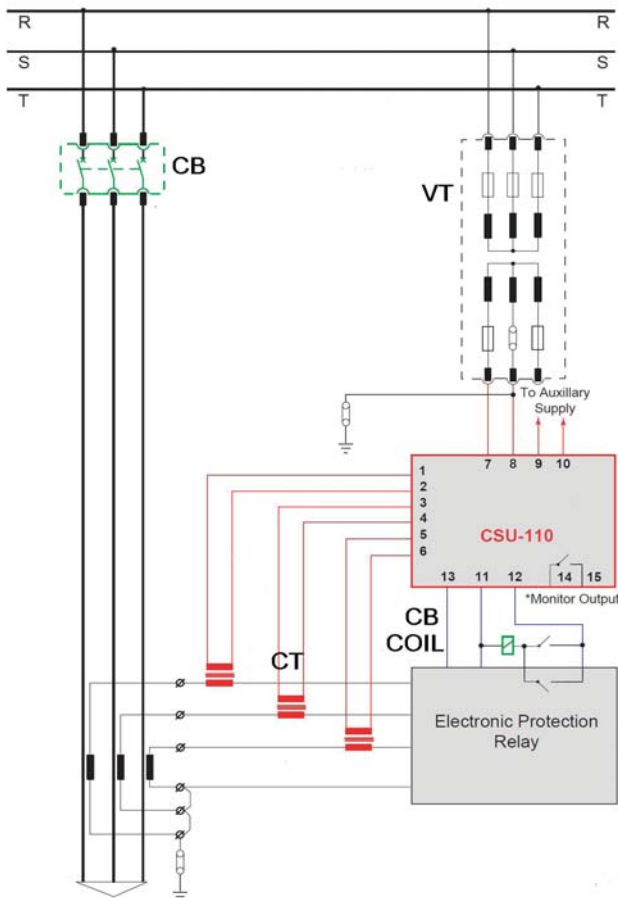


Рис. 4. Схема включения конденсаторного блока типа CSU-110 производства компании Switching Systems Electronic Engineers с комбинированным питанием от трансформаторов тока (CT), трансформаторов напряжения (VT) и от сети.

В эпоху простых электромеханических реле защиты, не требовавших внешнего питания, проблема ограничивалась лишь необходимостью обеспечения питанием отключающей катушки выключателя во время провалов напряжения. Эта проблема была успешно решена лет 50 тому назад за счет использования специальных блоков с накопительными конденсаторами, обеспечивающими необходимый импульс разрядного тока в цепи отключающей катушки выключателя. Конденсатор в таком блоке получает постоянный подзаряд от сети переменного тока через диод D1, рис. 2. Для ограничения импульса зарядного тока конденсатора, протекающего через диод D1 во время подключения незаряженного конденсатора к источнику питания, применяется позистор TDR1, а для защиты конденсатора от импульсных перенапряжений используется варистор M1. Некоторые производители (например, Square D) добавляют к такой схеме индикаторы напряжения на светодиодах, пороговые элементы на тиристорах, обеспечивающие полный заряд конденсатора до того, как он будет разряжен на нагрузку, и использование его при многократных циклах разряда, рис. 3.

Для более сложных электромеханических защит, содержащих во внутренних цепях многочисленные вспомогательные промежуточные реле, уже потребовалось обеспечение питания во время провалов напряжения. Описанные выше импульсные накопители энергии на основе конденсатора не в состоянии обеспечить питание таких реле в течение времени, необходимого для их срабатывания, особенно, при наличии выдержки времени.

В связи с этим появились комбинированные блоки питания, обеспечивающие реле напряжением питания одновременно и от трансформатора тока, и от трансформатора напряжения, а также от конденсатора, рис. 4. В СССР первые комбинированные источники для питания реле защиты были разработаны во ВНИИЭ примерно в то же время, что и блоки с накопительными конденсаторами. Сегодня такие устройства выпускаются многими компаниями, производящими реле защиты, в том числе, ЧЭАЗ, НТЦ «Механотроника» и др., рис. 5.



Рис. 5. Комбинированные блоки питания, выпускаемые ЧЭАЗ

Для более эффективного использования емкости конденсатора, он заряжался до напряжения, превышающего номинальное напряжение отключающей катушки. Так, например, в блоках питания серии БПЗ-400 с блоком накопительных конденсаторов БК-400, конденсатор заряжается до напряжения 400 В. Такие блоки питания, рис. 6, выпускаются Чебоксарским электроаппаратным заводом. Аналогичные устройства выпускаются десятками зарубежных компаний, включая ведущие электротехнические концерны, такие как General Electric, Siemens, ABB, Alstom и др., рис. 7.



Рис. 6. Блок питания серии БПЗ-400 производства ЧЭАЗ, работающий в комплекте с блоком накопительных конденсаторов БК-400.



Рис. 7. Комбинированные блоки питания зарубежных фирм

Внутренний саморазряд электролитических конденсаторов большой емкости, используемых в конденсаторных блоках питания, ограничивает время, в течение которого конденсатор сохраняет энергию, достаточную для надежного отключения выключателя. Поэтому, в самых современных моделях конденсаторных блоков используется подзаряд конденсатора от встроенных никель-кадмиевых батареек после исчезновения всех внешних источников питания. Эти батарейки в нормальном режиме находятся на постоянном подзаряде, а при исчезновении внешнего напряжения питают встроенный мало-мощный преобразователь напряжения, преобразующий низкое напряжение батареи в высокое напряжение, необходимое для подзаряда конденсатора.

Энергии батареек в таких устройствах, рис. 8, хватает на поддержание конденсатора в полностью заряженном состоянии в течение не менее чем 72 часов при полном отсутствии внешнего питания.

Для групповых потребителей в сетях собственных нужд и оперативного питания переменного тока предназначены так называемые

компенсаторы провалов напряжения (Voltage Dip Compensators).

Существует несколько принципов построения компенсаторов провалов напряжения (КПН), рис. 9. Один из них (рис. 9а) очень напоминает принцип построения источников бесперебойного питания (ИБП) и содержит батарею, инвертор и быстродействующий переключатель, переключающий нагрузку на инвертор при провалах напряжения. Такое устройство позволяет компенсировать глубокие (вплоть до нуля) и длительные провалы напряжения, но требует наличия батареи аккумуляторов.

Значительно более простой и дешевый вариант – устройство на основе трансформатора с отводами и быстродействующими полупроводниковыми ключами, рис. 9б, но это устройство имеет ограниченный диапазон компенсации провалов напряжения.

Промежуточное положение по качеству компенсации между описанными выше вариантами занимает устройство с вольтодобавочным трансформатором, накопительным конденсатором, инвертором и быстродействующим ключом, рис. 9в.



Рис. 8. Конденсаторные блоки питания с никель-кадмиевыми батареями, поддерживающими заряд конденсатора в течение 72 часов

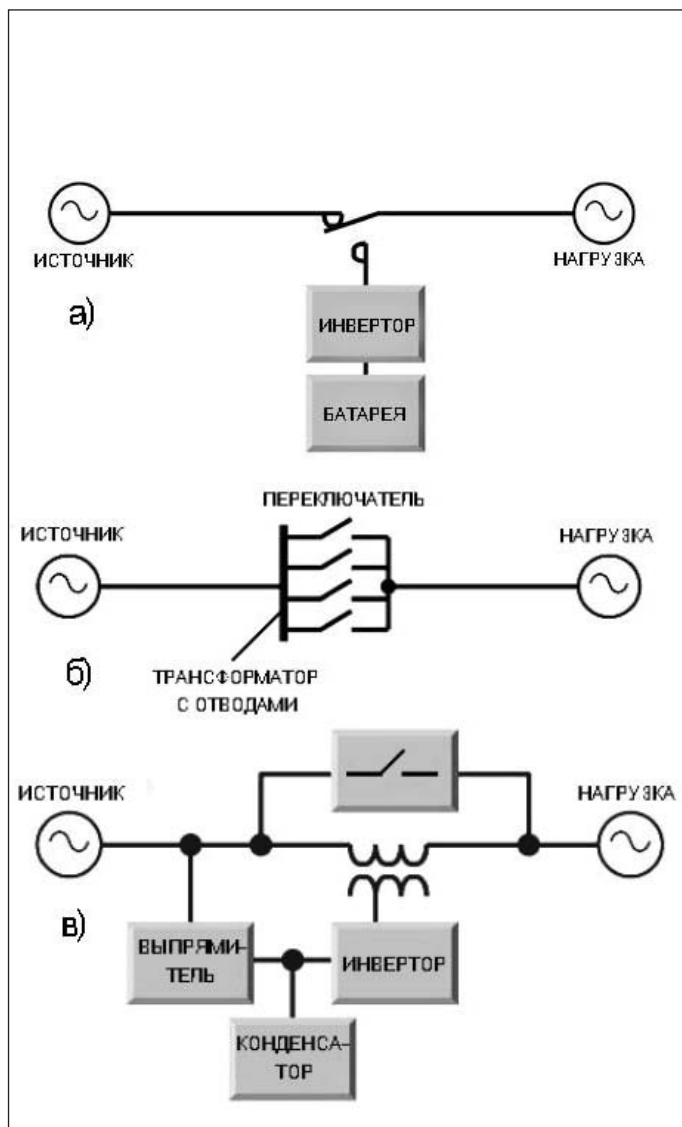


Рис. 9. Принципы построения компенсаторов провалов напряжения



Рис. 10. Компенсаторы провалов напряжения малой мощности (до нескольких киловатт)

Сегодня на рынке присутствуют десятки компаний-производителей с огромным количеством моделей специальных компенсаторов провалов напряжения, как говорится, на любой вкус: от небольших маломощных, рис. 10, до шкафов, мощностью в сотни киловатт, рис. 11.



Рис. 11. Трехфазные компенсаторы провалов напряжения большой мощности (сотни киловатт)