

# О ПРЕДОТВРАЩЕНИИ НАРУШЕНИЙ В РАБОТЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПРИ ПРОВАЛАХ НАПРЯЖЕНИЯ ПИТАНИЯ В СЕТИ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ПОДСТАНЦИЙ

Гуревич В.И., канд. техн. наук

Рассмотрены вопросы предотвращения нарушений режимов работы электронного и электрического оборудования подстанций, питающегося от сети собственных нужд, при кратковременных провалах напряжения во время аварийных режимов в сетях высокого напряжения. Предложено решение проблемы, основанное на мгновенном отключении питания с последующим его восстановлением с выдержкой времени.

Ключевые слова: электрооборудование; режимы работы; сети собственных нужд; провалы напряжения; предотвращение нарушений

Известно, что основными причинами провалов напряжения в сетях 0,4 кВ собственных нужд подстанций являются короткие замыкания во внешних сетях высокого напряжения. Провалы напряжения являются одним из показателей качества электроэнергии, нормируемых в ГОСТ 13109-97 [1], а также в международном стандарте IEC 61000-4 [2, 3]. Провал напряжения согласно стандарту IEC 61000-4: — это снижение напряжения ниже  $0,8U_{ном}$  (вплоть до нуля) и по длительности от 10 мс до 15 с (рис. 1).



Рис. 1. Пример из стандарта IEC 61000-4-11. Провал напряжения до 70 % номинального уровня длительностью 25 циклов (0,5 с)

## Влияние провалов напряжения на электрооборудование

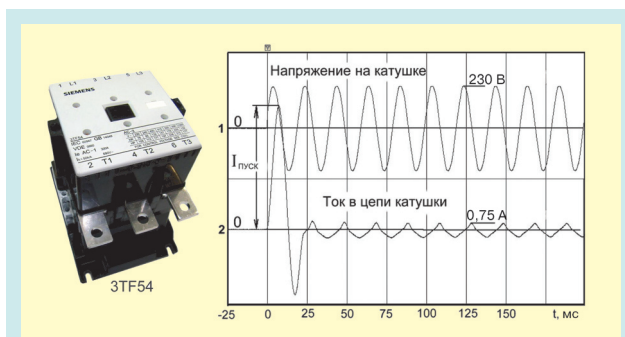
Провалы напряжения в сети 0,4 кВ на промышленных предприятиях могут быть связаны с серьезными нарушениями производственного цикла, а также с массовым выключением (из-за отпадания магнитных пускателей) и последующим самозапуском большого количества

электродвигателей, что само по себе вызывает значительное снижение напряжения в сети, усугубляющее проблему. Как показано в [4], за время отсутствия напряжения на электродвигателе в течение 0,25-0,30 с векторы остаточной ЭДС электродвигателей окажутся в противофазе с вектором напряжения сети. В результате в момент восстановления питания электродвигателей возникнет большой импульс тока, который может вызвать срабатывание электромагнитных расцепителей защитных автоматов и окончательное отключение электродвигателей. По этим причинам меры борьбы с провалами напряжения в системах электроснабжения промышленных предприятий обычно включают в себя различные технические решения, направленные на предотвращение (задержку) отключения контакторов пускателей в цепи главного питания сети 0,4 кВ, применение специальных динамических регуляторов напряжения, способных поддержать напряжение в сети в пределах допустимых норм, агрегатов бесперебойного питания и т.п. Необходимо отметить, что применение контакторов и пускателей с механической защелкой, во-первых, далеко не всегда возможно, а, во-вторых, не спасает в большинстве случаев, так как даже через замкнутые контакты контакторов провалы напряжения весьма отрицательно воздействуют на электрооборудование. Применение же специальных быстродействующих силовых электронных агрегатов для компенсации провалов напряжения часто бывает невозможным из-за их высокой стоимости.

Особенностью низковольтных сетей собственных нужд подстанций является то, что они не содержат технологического оборудования, не допускающего перерывов питания, а все наиболее ответственные потребители электроэнергии (релейная защита, регистраторы аварийных режимов, системы связи, сигнализации и телеуправления) запитаны обычно от мощной аккумуляторной батареи. Вместе с тем, от цепей собственных нужд подстанций получают питание мощные силовые полупроводниковые устройства, снабженные микропроцессорами, такие как инверторы, зарядные устройства батарей, источники питания. Практический опыт эксплуатации таких устройств показывает, что они очень не «любят»

кратковременные (50-200 мс) провалы и отключения напряжения питания с последующим его восстановлением. Иногда такие устройства успевают «зависнуть» даже во время автоматического быстродействующего переключения с основного на резервный источник питания. Еще одной «болезнью» мощных зарядных устройств, содержащих мощные силовые трансформаторы питания на входе, являются очень большие пусковые токи, возникающие при внезапном пропадании и последующем возврате питания, что вызывает отключение такого устройства электромагнитным расцепителем вводного автомата. Положение дел в цепях собственных нужд подстанций значительно усугубляется в некоторых случаях, когда даже одиночные зарегистрированные провалы напряжения длительностью 100-200 мс вызывают многократные срабатывания и отпускания мощных электромагнитных контакторов в цепи переключения с основного на резервный источник питания.

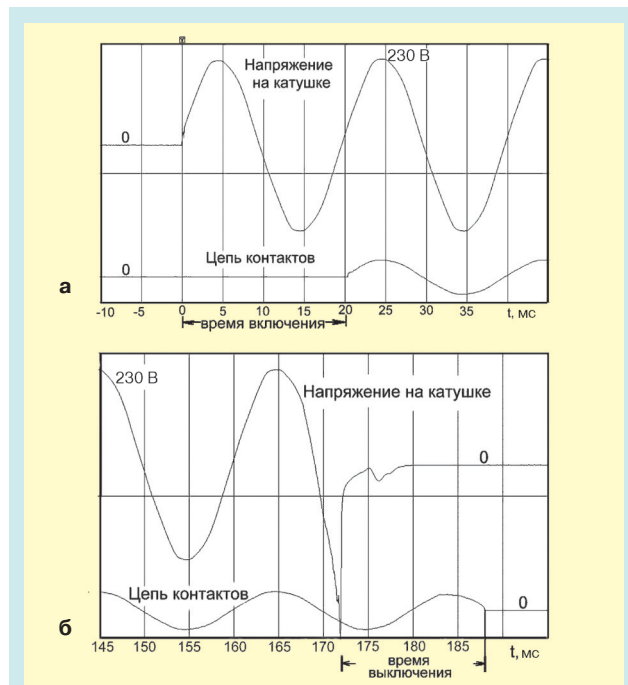
Для повышения надежности электроснабжения сети 0,4 кВ собственных нужд на подстанциях обычно используются два трансформатора собственных нужд, питающихся от разных линий. Один из них включен постоянно, а другой автоматически включается при пропадании напряжения на первом. Подключение и отключение цепей собственных нужд к этим двум трансформаторам осуществляется обычно с помощью мощных электромагнитных контакторов на токи 300-500 А с катушками управления переменного тока. Эти контакторы являются важнейшими элементами системы питания собственных нужд, от свойств которых во многом зависит надежная работа всей подстанции. В качестве объекта исследования был взят электромагнитный контактор переменного тока типа ЗТФ54 фирмы Siemens с коммутируемым током 300 А, рис. 2, применяемый для переключения цепей питания системы собственных нужд на подстанциях.



**Рис. 2. Электромагнитный контактор переменного тока типа ЗТФ54 фирмы Siemens и осциллограммы изменения тока и напряжения в его катушке в момент включения**

В процессе исследования были получены осциллограммы процессов включения и отключения контактора при питании его катушки от сети переменного тока, рис. 2 и 3. Осциллограмма, представленная на рис. 2, показывает наличие весьма значительного пускового тока, обусловленного малым индуктивным сопротивлением катушки управления контактора до момента замыкания его магнитной цепи. Необходимо

учитывать наличие столь большого пускового тока при выборе промежуточного реле, включающего контактор в схемах автоматики. Осциллограммы, представленные на рис. 3, позволяют определить время срабатывания и отпускания контактора, то есть время его реакции на провалы напряжения питания.



**Рис. 3. Осциллограммы включения (а) и выключения (б) контактора**

Анализ полученных осциллограмм показывает, что полное время включения контактора (то есть, время от момента подачи напряжения на катушку до момента замыкания его главных контактов) составляет около 20 мс, а время полного выключения (то есть, время от момента выключения напряжения на катушке до момента разрыва главных контактов) составляет около 15-18 мс. Такие небольшие для такого крупного и тяжелого аппарата времена срабатывания и отпускания свидетельствуют о том, что при типичных по времени провалах напряжения, а также при перемежающихся провалах и восстановлении напряжения контактор будет успевать отключать и повторно включать главные цепи питания.

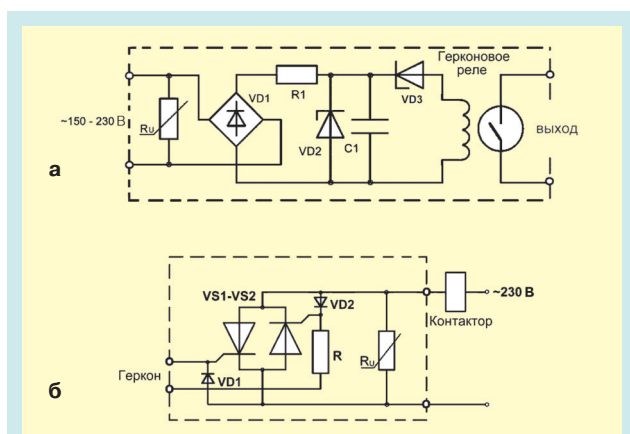
Анализ поведения контактора при снижении и увеличении напряжения питания его катушки управления позволил выявить важную особенность этого аппарата. Оказалось, что при снижении напряжения на катушке контактора от номинального значения до 150-135 В его магнитная система начинает сильно вибрировать, амплитуда этих вибраций такова, что главные контакты контактора замыкаются и размыкаются. Такой же режим работы возникает при увеличении напряжения на катушке от нуля до 160-185 В.

Возможность работы контактора в таком режиме совместно с его высоким быстродействием означает, что даже при однократном устойчивом в течение 100-200 мс провале напряжения до величины 135-150 В

контактор превращается в мощный генератор глубоких многократных провалов напряжения в цепях собственных нужд подстанции, вызывая сильные отрицательные воздействия на силовую электронную аппаратуру. К такому же результату может привести попытка включения контактора при напряжении 150 - 170 В.

С учетом характера нагрузки, питающейся от цепей собственных нужд подстанций, решением проблемы могло бы быть очень быстрое (в течение 10-15 мс) отключение катушки управления включенного контактора при снижении напряжения в сети ниже 150 В и включение второго контактора (подключающего сеть ко второму, резервному источнику) с выдержкой времени в несколько секунд.

Перерыв в несколько секунд в цепях питания потребителей, питающихся от сети собственных нужд переменного тока подстанций, не вызывает сколько-нибудь серьезных нарушений работы подстанции, имеющей мощную аккумуляторную батарею. Вместе с тем, такой алгоритм работы контакторов может предотвратить серьезные сбои в работе мощного электронного оборудования. Для обеспечения быстродействующего отключения контактора при снижении напряжения в сети стандартные электронные реле минимального напряжения, предлагаемые различными производителями, не годятся, поскольку их минимальное время реакции на снижение напряжения составляет 100 мс. За такое время контактор успеет несколько раз замкнуть и разомкнуть цепь питания. В связи с этим авторами предложено специальное устройство, содержащее быстродействующее реле напряжения на герконе с мощным полупроводниковым выходным коммутирующим элементом, предназначенным для управления контактором (рис. 4).



**Рис. 4. Принципиальные электрические схемы быстродействующего реле пониженного напряжения (а) и мощного выходного коммутирующего элемента на тиристорах (б)**

Реле пониженного напряжения представляет собой простое устройство, содержащее выпрямитель со стабилизатором напряжения на основе стабилитрона VD2 и быстродействующее реле на герконе с пороговым элементом на основе стабилитрона VD3. Стабилитрон VD2 предназначен для предотвращения перегрузки обмотки реле при изменении входного напряжения в широких пределах. Стабилитрон VD3 обеспечивает отсоединение



**Рис. 5. Осциллограмма процесса отключения контактора, управляемого быстродействующим реле пониженного напряжения с тиристорным выходным коммутирующим элементом**

фильтрующего конденсатора С1 от обмотки реле и четкое выключение реле при снижении напряжения ниже заданного уровня. Применение герконового реле обусловлено наличием четкого порога срабатывания и отпущения (в отличие от обычного электромагнитного реле) при изменении питающего напряжения, возможностью регулирования порога срабатывания путем изменения положения геркона внутри катушки управления, а также его высоким быстродействием (0,8 - 1,5 мс). В реле желательно использование высоковольтных миниатюрных герконов типов MARR-5, HSR-V100R, KSK-1A85, MRA560G. С учетом больших пусковых токов мощных контакторов переменного тока и возможности значительных перенапряжений в сети 220 В коммутирующий элемент выполнен на силовых тиристорах, имеющих большую перегрузочную способность, чем транзисторы. В устройстве должны быть использованы тиристоры на напряжение 1200 В и ток 25-30 А. Можно рекомендовать использование миниатюрных силовых тиристорных типов: 30TPS12, 40TPS12, ВТW69-1200, CS 29-12iol, а также тиристорных модулей, содержащих два тиристора типов: MSS40-1200, MSS50-120, PK25F120 и др.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

- ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электроэнергии в системах электроснабжения общего назначения (Electric energy. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Power quality limits in public electrical systems).
- IEC 61000-4-11 Ed. 2.0 b:2004. Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-11: Testing and measurement techniques - Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests.
- IEC 61000-4-34 Ed. 1.0 b:2005. Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-34: Testing and measurement techniques - Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests for equipment with input current more than 16 A per phase.
- Фишман В. Провалы напряжения в сетях промпредприятий // Новости Электротехники. 2004. № 5 (29), № 6 (30).

*Гуревич Владимир Игоревич — заместитель начальника сектора релейной защиты. Центральная лаборатория Электрической компании Израиля, г. Хайфа, эксперт комитета ТС-94 Международной Электротехнической Комиссии, (9724) 8596394 gurevich2@bezeqint.net*