

УДК 621.316.54

В. И. Гуревич

О режиме питания мощного контактора переменного тока при провалах напряжения в сети 0,4 кВ

В статье рассматривается вопрос о режиме питания мощного контактора переменного тока при кратковременных провалах напряжения в сетях 0,4 кВ промышленных предприятий и в сетях собственных нужд подстанций, во время аварийных режимов в сетях высокого напряжения. Предлагается два альтернативных решения, одно из которых основано на удержании контактора в замкнутом положении при кратковременных провалах напряжения, а другое – на мгновенном отключении контактора с последующим его возвратом с выдержкой времени.

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 [1], а также в международном стандарте IEC 61000-4 [2, 3].

1. Провалы напряжения в сети 0,4 кВ промышленных предприятий

Провалы напряжения в сети 0,4 кВ на промышленных предприятиях могут вызвать серьезные нарушения производственного цикла, обусловленные массовым отключением (из-за отпадания магнитных пускателей или контакторов), с последующим самозапуском большого количества электродвигателей. Это, само по себе, вызывает значительное снижение напряжения в сети, усугубляющее рассматриваемую проблему [4, 5]. Как показано в [6], за время отсутствия напряжения на электродвигателе в течение 0,3–0,5 сек, векторы остаточной ЭДС электродвигателей могут оказаться в противофазе с вектором напряжения сети. В результате этого, в момент восстановления напряжения питания электродвигателей возникнет большой импульс тока, который может вызвать срабатывание электромагнитных расцепителей защитных автоматов и окончательное отключение электродвигателей. С другой стороны, кратковременные провалы сетевого напряжения длительностью менее 300 мс (наиболее распространенные в сети) не приносят особого вреда электродвигателям. Целью данной работы является выбор алгоритмов управления контакторами и разработка на их основе конкретных технических решений по обеспечению питания мощных контакторов переменного тока в условиях провалов напряжения в сети, пригодных для прямого практического применения. Существующие меры борьбы с провалами сетевого напряжения в системах электроснабжения промышленных предприятий обычно включают в себя различные технические решения, направленные на предотвращение (задержку) отключения

контакторов в цепи главного питания сети 0,4 кВ; на применение специальных быстродействующих (динамических) регуляторов напряжения, способных компенсировать провалы напряжения; агрегатов бесперебойного питания и т. п. Поскольку указанные два метода борьбы с провалами напряжения в мощной сети весьма дороги, то разрабатываются различные электронные устройства [7, 8], обеспечивающие питание контактора переменного тока небольшой мощности от источника постоянного тока и подпитку катушки управления (удерживающей контактор во включенном состоянии) во время кратковременных провалов сетевого напряжения.

В упомянутых выше электронных устройствах используется четыре уровня постоянного напряжения питания катушки управления, обеспечивающие симулирование различных точек естественной тяговой характеристики контактора при включении его на переменном токе. Эти электронные устройства (рис. 1) с управлением на микросхемах не предназначены для питания мощных контакторов переменного тока с малым сопротивлением катушки управления, равным (10–15) Ом и большими пусковыми токами.

Например, мощность, потребляемая катушкой управления контактора ЗТФ54 в момент включения, составляет 1,6 кВА на переменном токе и 1,2 кВт на постоянном (со специальной пусковой катушкой). Если добавить к этому значительные перенапряжения, возникающие в управляющих цепях при коммутации катушки такого контактора на постоянном токе, то становится совершенно очевидным, что устройство, изображенное на рис. 1, не предназначено для управления мощными аппаратами. В связи с отсутствием устройств, практически пригодных для управления мощными контакторами переменного тока при провалах напряжения питания, нами были разработаны специальные устройства.

Одно из них показано на рис. 2. Это устройство содержит реле напряжения КУ, таймер КТ, реализующий стандартную функцию «Impulse-ON», а также простейший источник питания постоянного тока, включающий понижающий трансформатор Т, мощный выпрямительный мост VD2 и низковольтный конденсатор С1 большой емкости.

При замыкании контактов S1/1 и S1/2 внешнего управляющего реле, напряжение сети переменного

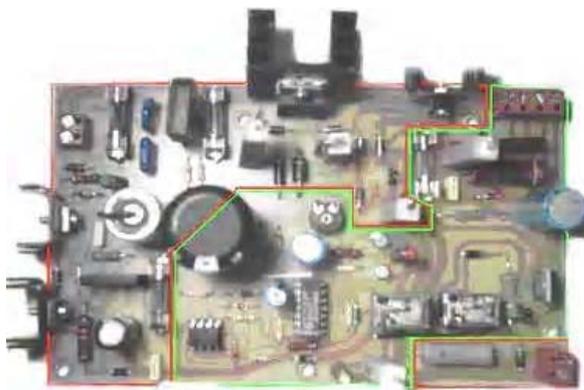


Рис. 1. Электронное устройство на микросхемах для обеспечения питания маломощных коммутационных электрических аппаратов, предложенное в [8]

тока поступает на реле напряжения КУ. Это реле срабатывает в том случае, если поданное на него напряжение превышает минимально допустимое значение (в нашем случае это напряжение составляет 180 В) и замыкает свой выходной контакт, подавая питание на таймер КТ. Таймер мгновенно срабатывает и своим замыкающимся контактом подключает катушку контактора к сети переменного тока через выпрямитель VD1 и ограничительный резистор R1. Через катушку контактора протекает постоянный ток (примерно равный 5А), эквивалентный по создаваемому им электромагнитному усилию пусковому току при обычном включении катушки контактора в сеть переменного тока. Одновременно с этим быстро заряжается конденсатор С1. Благодаря наличию диода VD3 конденсатор С1, заряжаемый от источника постоянного напряжения 12 В, оказывается отделенным от катушки контактора и от высокого напряжения, подаваемого в этот момент времени на катушку контактора. Через (2–3) секунды после срабатывания контактора (время определяется уставкой таймера КТ) таймер своим контактом разрывает цепь повышенного тока. При этом диод VD3 мгновенно открыв-

ается и низковольтный источник питания с заряженным конденсатором С1 оказывается подключенным к катушке контактора. С этого момента времени питание катушки контактора осуществляется пониженным постоянным током, дополнительно ограничиваемым низкоомным резистором R2. Величина этого резистора требует подбора для конкретного типа контактора. Для рассматриваемого контактора типа ЗТФ54 величина этого резистора составляет 5 Ом. Именно при таком сопротивлении обеспечивается надежное удержание контактора в замкнутом положении при длительном снижении входного напряжения до 140–130 В и, одновременно, обеспечивается допустимая температура нагрева катушки, не превышающая 50–60 градусов.

Проведенные исследования показали, что при питании катушки контактора пониженным постоянным током его чувствительность к снижению величины питающего напряжения резко снижается. Например, в рассматриваемом примере контактор удерживался в замкнутом положении при снижении напряжения на катушке с 12 вольт до 2–3 вольт, то есть – в 4–6 раз. Это положительное свойство используется в описанном устройстве для обеспечения удержания контактора при кратковременных понижениях напряжения в сети. При очень глубоких провалах напряжения или даже при полном его исчезновении удержание контактора производится за счет энергии конденсатора С1. По результатам выполненных испытаний оказалось, что относительно небольшой по размерам конденсатор (емкостью 47.000 мкФ на напряжение 40 В) способен удерживать мощный контактор (в нашем случае типа ЗТФ54) в течение (1,3–1,5) сек, что вполне достаточно для компенсации реально существующих в сетях кратковременных перерывов напряжения.

Диодный мост VD2 выбран со значительным запасом по току (из-за протекающего через него импульса зарядного тока конденсатора). При кратковременных исчезновениях напряжения в сети переменного тока или снижения его до уровня ниже 170 В реле напряжения КУ размыкает свой контакт и отключает питание таймера КТ. При этом положение выходного контакта таймера не изменяется, и катушка контактора продолжает получать питание от низковольтного источника питания постоянного тока: до восстановления напряжения в сети или, наоборот, до полного исчерпания энергии конденсатора (если имело место глубокое снижение напряжения или полное его исчезновения), после чего контактор отключится. При восстановлении напряжения в сети (до уровня не менее, чем 180 В) реле напряжения КУ вновь срабатывает и подает питание на таймер; далее описанный выше цикл работы устройства повторяется.

Устройство собрано в закрытом пластмассовом корпусе с размерами 210x160x90 мм. Совершенно очевидно, что предложенное устройство можно с успехом применять и с контакторами средней и даже малой мощности; при этом емкость удерживающего конденсатора и мощность трансформатора (а, следовательно, и их цена и габариты) могут быть существенно уменьшены.

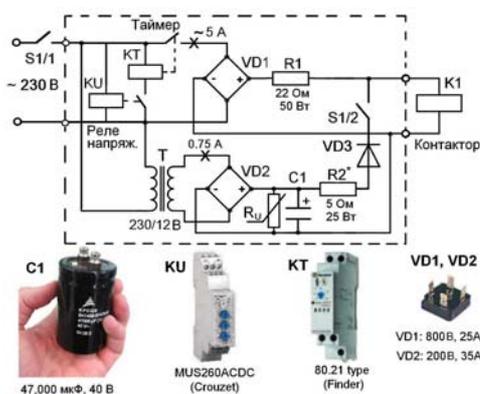


Рис. 2. Принципиальная схема предлагаемого устройства управления мощным контактором переменного тока и внешний вид его основных элементов (слева направо): конденсатора С1, реле напряжения КУ, таймера КТ и выпрямительных мостов VD1, VD2

2. Провалы напряжения в цепях собственных нужд подстанций

Особенностью низковольтных сетей переменного тока 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 переменного тока подстанций получают питание мощные силовые полупроводниковые устройства, снабженные микропроцессорами (такие как: инверторы, зарядные устройства батарей, источники питания). Практический опыт эксплуатации этих устройств показывает, что они не допускают кратковременных (длительностью 50–200 мс) провалов и отключений напряжения питания (с последующим его возвратом). Иногда такие устройства успевают дать сбои в своей работе даже во время автоматического быстрогодействующего переключения с основного на резервный источник питания. Еще одним недостатком мощных зарядных устройств, содержащих мощные силовые трансформаторы питания на входе, являются очень большие пусковые токи, возникающие при внезапном пропадании и последующем восстановлении напряжения питания, что вызывает отключение такого устройства электромагнитным расцепителем вводного автомата. Ситуация дел в цепях собственных нужд подстанций значительно усугубляется в ряде случаев, когда одиночные зарегистрированные провалы напряжения длительностью 100–200 миллисекунд вызывают многократные срабатывания и отпускания мощных электромагнитных контакторов в цепи переключения с основного на резервный источник питания.

Для повышения надежности электроснабжения сети напряжением 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 (200–400) 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, применяемый для переключения цепей питания системы собственных нужд на подстанциях.

Анализ его паспортных данных свидетельствует о том, что время включения контактора (то есть, время, отсчитываемое от момента подачи напряжения на катушку до момента замыкания его главных контактов) составляет примерно (20–40) мс, а время выключения (то есть, время, отсчитываемое от момента вы-

ключения напряжения на катушке до момента разрыва главных контактов) составляет примерно (10–30) мс для номинального напряжения и (10–15) мс – для напряжения равного 0,8 от номинального значения напряжения. 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 несколько раз. Более того, как показано в [9], реакция контактора на провалы напряжения до 75 % от номинального значения более тяжелая, чем до нуля, так как время отпадания контактора в первом случае примерно на (40–50) % меньше, чем во втором (и может составлять 10 мс даже для крупного аппарата).

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

Как следствие, даже при однократном устойчивом в течение (100–200) миллисекунд провале напряжения до величины (135–150) В, контактор превращается в мощный генератор глубоких многократных провалов напряжения в цепях собственных нужд подстанции, вызывая сильные отрицательные (по своим последствиям) воздействия на силовую электронную аппаратуру. К такому же результату может привести попытка включения контактора при напряжении (150–170) В.

С учетом рассмотренного характера нагрузки, (чувствительной к кратковременным провалам напряжения, например – силовая электронная аппаратура) питающейся от цепей собственных нужд подстанций техническое решение, предложенное для контакторов, применяющихся в сетях промышленных предприятий (удержание контактора при провалах напряжения) не может, по нашему мнению, считаться эффективной мерой.

Решением проблемы могло бы быть не удержание контактора, а наоборот, очень быстрое (в течение 10–12 мс) отключение схемой на рис. 3 контактора при снижении напряжения в сети меньше 160 В и возврат его в исходное состояние при восстановлении напряжения до значения выше, чем 185 В, с выдержкой времени в 5–10 секунд.

Однократный перерыв в течение (5–10) секунд в сетевом напряжении собственных нужд переменного тока подстанций не вызывает сколько-нибудь серьезных нарушений работы подстанции, имеющей мощную аккумуляторную батарею, от которой питаются наиболее ответственные потребители. Вместе с тем такой алгоритм работы контакторов может предотвратить серьезные сбои в работе мощного электронного оборудования.

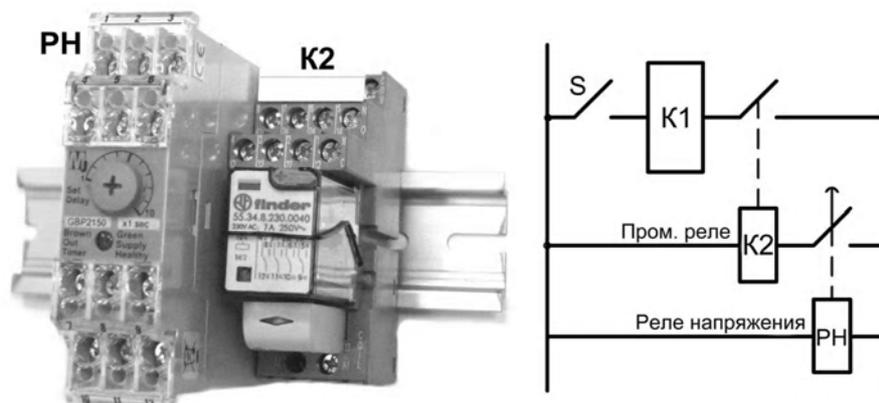


Рис. 3. Устройство для быстрого отключения контактора при провалах напряжения, внешний вид (слева) и принципиальная схема (справа)

Вывод

Для промышленных предприятий с преобладанием электродвигательной нагрузки и для подстанций с преобладанием силовой электронной аппаратуры, питающейся от сети собственных нужд, должны применяться различные подходы к управлению электромагнитными контакторами при кратковременных провалах напряжения в сети переменного тока. В первом случае может быть использовано описанное устройство с удерживающим конденсатором, пригодное для контакторов даже большой мощности, а во втором случае – предложенное устройство, обеспечивающее быстродействующее принудительное отключение контактора.

Перечень ссылок

1. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электро-магнитная. Нормы качества электроэнергии в системах электроснабжения общего назначения (Electric energy. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Power quality limits in public electrical systems).
2. 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.
3. 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.

4. C. J. Melhorn, T. D. Davis, G. E. Beam. Voltage Sags: their impact on the utility and industrial customers // IEEE Transactions on Industry Applications. – 1988. – Vol. 34. – No. 3, – P. 549–558.
5. M. F. McGranaghan, D. R. Mueller, M. J. Samotyj. Voltage sags in industrial systems // IEEE Transactions on Industry Applications. – 1993. – Vol. 29, – No. 2, – P. 397–404.
6. Фишман В. Провалы напряжения в сетях промпредприятий // Новости Электротехники. – 2004 – № 5 (29) – С. 40–43.
7. A. Kelley, J. Cavaroc, J. Ledford, L. Vassalli. Voltage regulator for contactor ride-through // IEEE Transactions on Industry Applications. – 2000. – Vol. 36. – No. 2. – P. 697–704.
8. P. Andgara, G. Navarro, J. I. Perat. A new power supply system for AC contactor ride-through. 9th International Conference «Electric Power Quality and Utilisation», Barcelona, 9-11 October, 2007.
10. I. Iyoda, M. Hirata, N. Shigei, S. Pounyakheth, K. Ota. Affect of Voltage Sags on Electro-magnetic Contactor. 9th International Conference «Electric Power Quality and Utilisation», Barcelona, 9-11 October, 2007.

Поступила в редакцию 21.05.08 г.

После доработки 17.06.08 г.

У статті розглядається питання про режим живлення потужного контактора змінного струму при короткочасних провалах напруги в мережах 0.4 кВ промислових підприємств і в мережах власних потреб підстанцій, під час аварійних режимів у мережах високої напруги. Пропонуються два альтернативних рішення, одне із яких засноване на втриманні контактора в замкнутому положенні при короткочасних провалах напруги, а інше - на миттєвому відключенні контактора з наступним його поверненням з витримкою часу.

In the article the difference between electrical equipment in manufacturing plants and that in electrical power substations is discussed. These differences dictate two different sets of requirements for the supplying of power to large AC contactors. In accordance with these requirements the article offers two technical solutions: one of which is based on the contactor remaining in the closed position at voltage sag; and the second is based on the instantaneous switching-off of the contactor at voltage sag with a subsequent switching-on with time delay following voltage level restoration.