

О РЕЖИМЕ ПИТАНИЯ МОЩНОГО КОНТАКТОРА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ПРИ ПРОВАЛАХ НАПРЯЖЕНИЯ В СЕТИ 0,4 кВ

В. И. Гуревич, к.т.н., Центральная лаборатория электрической компании Израиля

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.

Введение

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]. ГОСТ 13109-97 дает следующее определение термину «провал напряжения»: «Провал напряжения – внезапное понижение напряжения в точке электрической сети ниже 0,9 $U_{ном}$, за которым следует восстановление напряжения до первоначального или близкого к нему уровня через промежуток времени от десяти миллисекунд до нескольких десятков секунд». Близкое к этому определение термину: «dip» – аналогу русского термина «провал напряжения» – дает и стандарт IEC 61000-4: по напряжению это уровни ниже 0,8 $U_{ном}$ номинального значения (до 0) и по длительности от 10 мс. до 15 с. (рис. 1).

Провалы напряжения в сети 0,4 кВ промышленных предприятий

Провалы напряжения в сети 0,4 кВ на промышленных предприятиях могут быть связаны с серьезными нарушениями производственного цикла, вызванными массовым выключением (из-за отпадания магнитных пускателей или контакторов), с последующим самозапуском большого количества электродвигателей, что само по себе вызывает значительное снижение напря-

жения в сети, усугубляющее проблему [4, 5]. Как показано в [6], за время отсутствия напряжения на электродвигателе в течение 0,3-0,5 с. векторы остаточной ЭДС электродвигателей могут оказаться 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. С другой стороны, кратковременные провалы напряжения длительностью менее 300 мс (наиболее распространенные в сети) не приносят особого вреда электродвигателям.

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 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 последние два метода борьбы с провалами напряжения в мощной сети весьма дорогостоящие, 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 напряжения. Как известно, в процессе срабатывания контактора переменного тока имеет место значительное изменение тока, потребляемого катушкой управления, что обеспечивает изменение тягового усилия подвижной части сердечника. При питании катушки управления от источника постоянного тока такого изменения тягового усилия не происходит, в результате чего контактор, конструкция которого рассчитана на переменный ток, не сможет нормально работать.

В упомянутых выше электронных устройствах используются четыре уровня постоянного напряжения питания катушки управления, имитирующие естественную тяговую характеристику контактора при включении его на переменном токе. Эти устройства с управлением на микросхемах не предназначены для питания мощных контакторов переменного тока с малым сопротивлением катушки управления (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).

В связи с этим, для крупных контакторов переменного тока с мощной катушкой управления разработано специальное устройство, работающее на ином принципе (рис. 2). Это устройство содержит реле напряжения КУ, таймер КТ, реализующий стандартную функцию «Impulse-ON», а также простейший источник пи-



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

тания постоянного тока, включающий понижающий трансформатор Т, мощный выпрямительный мост VD2 и низковольтный конденсатор С1 большой емкости.

При замыкании контактов S1/1 и S2/2 внешнего управляющего реле напряжение сети переменного тока поступает на реле напряжения КУ. Оно срабатывает в том случае, если поданное на реле напряжение превышает минимально допустимое значение (в нашем случае – напряжение выше 180В) 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 около 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 12В, оказывается отделенным от катушки контактора и от высокого напряжения подаваемого в этот момент времени на катушку контактора.

Через 2-3 с. после срабатывания контактора (время определяется установкой таймера КТ) таймер своим контактом размыкает цепь повышенного тока. При этом диод VD3 мгновенно деблокируется 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 3ТФ54 величина этого резистора составляет 50м. Именно при таком сопротивлении обеспечивается надежное удержание контактора в замкнутом положении при длительном снижении входного напряжения до 140-130В 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 до 2-3В, 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 40В способен удерживать мощный контактор (в нашем случае типа 3ТФ54) в течение 1,3-1,5 с., 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 снижении его до уровня ниже 170В 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 пропадание), после чего контактор отключится. При восстановлении напряжения в сети до уровня не менее 180В реле напряжения КУ вновь срабатывает и подает питание на таймер, при этом описанный выше цикл работы устройства повторяется.

Функция «Impulse-ON», которую иногда называют также «Interval», «Fleeting», «Single Shot», «Power ON», «Single Shot Leading Edge», «Rising Edge Pulse», не является чем-то экзотическим, а представляет собой стандартную функцию, обозначаемую иногда как функция номер 21. Она относится к простейшим функциям таймеров и заключается в том, что выходной контакт таймера замыкается мгновенно с подачей питания на таймер, а размыкается по истечении заданного интервала времени. Таким образом, таймер как бы формирует одиночный импульс.

Таймеры, реализующие такую функцию, широко представлены на рынке. Это, например, таймеры типов РВО-Р-У, РВО-П2, РВО-П3 (ЗАО «Меандр», С.-Петербург); СТ-VWE, СТ-WBS, СТ-VWD (ABB); BC7931 (Dold & Soehne); MICV, NMICV (General Electric); KRDI (ABB); 3RP15 (Tyco Electronics); DIL-ET-11-30-A (Moeller); DDT, TZ (Tempatron); 87.21, 81.01 (Finder); MURc3 (Crouzet); RE7-PR11 (Telemecanique); M1SMT (Broyce Control); 3RP1505 (Siemens); TDRPRO-5100 (Magnecraft) и многие другие. К сожалению, только немногие из них, например, типов 81.01, 80.01, 80.21 (Finder); 821 (Magnecraft); 4604 (Artizan) и некоторые другие снаб-

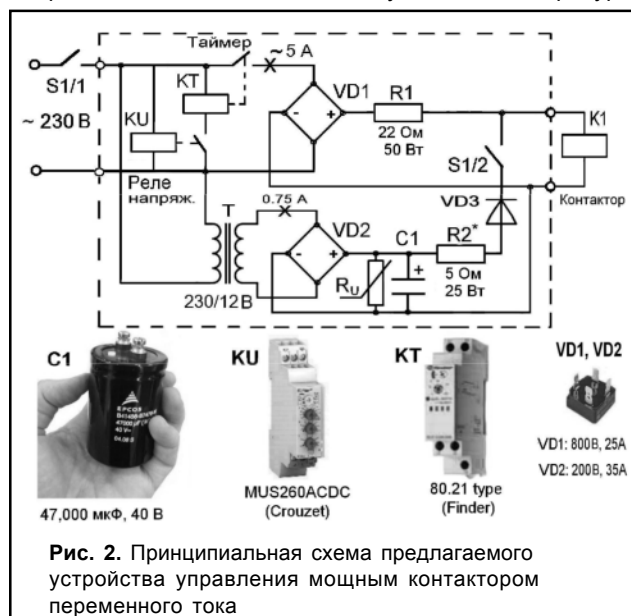


Рис. 2. Принципиальная схема предлагаемого устройства управления мощным контактором переменного тока

жены мощным выходным контактом, достаточным для управления крупными контакторами переменного тока. При использовании таймеров с маломощным выходным контактом придется использовать дополнительное промежуточное реле с контактами достаточной мощности, включенных в схему вместо контактов таймера. В качестве реле пониженного напряжения можно использовать любые имеющиеся на рынке устройства с регулируемым порогом срабатывания и гистерезиса, не требующие отдельного источника питания. Этим требованиям удовлетворяют реле типов SUA145 (Bender); EUS (EID Electronics), MUS260ACDC (Crouzet); M200-V1U (Multitek); RM4-UB3 (Telemecanique); PVE (Entelec); UAWA (Thiim A/S), BQP1202 (Midland Jay); PKH-1-1-15 (ЗАО «Меандр») и др.

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.

Следует отметить, что некоторые производители (в том числе, компания Siemens – изготовитель мощных контакторов серии 3TF5) предусматривают питание своих контакторов от сети постоянного тока. В этом случае катушка управления контактора может питаться от сети постоянного тока с мощными аккумуляторами, что обеспечивает полную независимость состояния контактора от провалов напряжения в сети переменного тока. Это еще один путь решения проблемы, однако и его осуществить не так-то просто из-за упомянутой выше необходимости создания большого пускового тока при включении контактора при разомкнутой магнитной системе. Siemens предлагает для своих контакторов серии 3TF5 использование двух специальных катушек управления: мощной катушки включения (PW) и маломощной катушки удержания (HW) (рис. 3).

Переключение с одной катушки на другую после срабатывания контактора (K1) производится с помощью вспомогательного контактора K2 с набором мощных контактов, соединенных последовательно (для размыкания высокоиндуктивной нагрузки при напряжении 240В постоянного тока), и дополнительного блок-контакта основного контактора.

При наличии мощной аккумуляторной батареи в



Рис. 3. Решение, предлагаемое компанией Siemens

сети постоянного тока и возможности подведения постоянного напряжения к месту установки контактора эта задача может быть решена более интеллигентным методом, чем предлагает Siemens. Всего два недорогих изделия требуются для реализации этого решения: уже упомянутый таймер типа 81.01 (Finder) и небольшой импульсный источник питания с выходным напряжением 12В и током 1,2А (рис. 4).

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 перебоев 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 и источники питания. Практический опыт эксплуатации таких устройств показывает, что они очень «не любят» кратковременных (50-200 мс) провалов и отключений напряжения питания с последующим его возвратом.

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 миллисекунд вы-

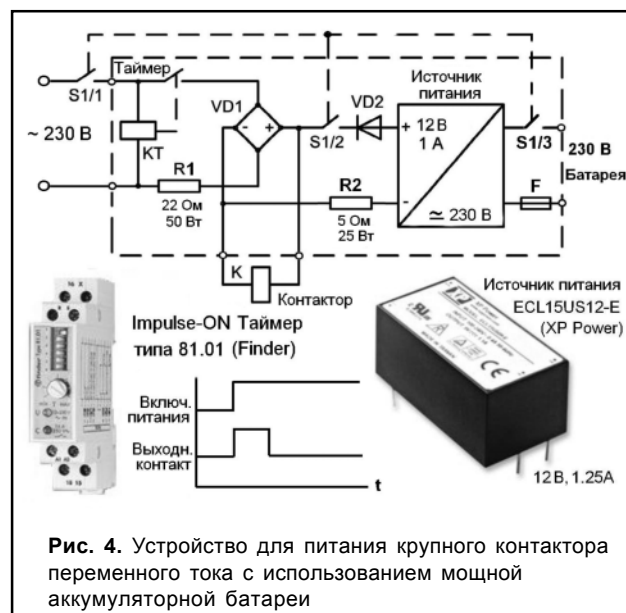


Рис. 4. Устройство для питания крупного контактора переменного тока с использованием мощной аккумуляторной батареи

зывают многократные срабатывания и отпускания мощных электромагнитных контакторов в цепи переключения с основного на резервный источник питания.

Особенность поведения мощных контакторов в цепи переключения основного и резервного источников питания собственных нужд

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 трансформаторам осуществляется обычно с помощью мощных электромагнитных контакторов на токи 200-400А 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 3TF54 фирмы Siemens с коммутируемым током 300А (рис. 5), применяемый для переключения цепей питания системы собственных нужд на подстанциях. В процессе исследования были получены осциллограммы включения и отключения контактора при питании его катушки от сети переменного тока (рис. 5 и 6). Осциллограмма, представленная на рис. 5, показывает наличие весьма значительного пускового тока, обусловленного малым индуктивным сопротивлением катушки управления контактора до момента замыкания его магнитной цепи. Осциллограммы, представленные на рис. 6, позволяют определить время срабатывания и отключения контактора, то есть время его реакции на провалы напряжения питания.

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 (20-40 мс по паспортным данным), а время полного выключения (то есть время от момента выключения напряжения на катушке до момента разрыва главных контактов) составляет около 15-18 мс (10-30 мс для номинального напряжения и 10-15 мс для напряже-

ния 0,8 номинального по паспортным данным). Такие небольшие для такого крупного и тяжелого аппарата времена срабатывания и отключения свидетельствуют о том, что при типичных по времени, а также при перемежающихся провалах и восстановлении напряжений контактор будет успевать отключать и повторно включать главные цепи питания несколько раз. Более того, как показано в [9], реакция контактора на провалы напряжения на 75% номинального значения более сложная, чем на 100% провалы, при этом время отпадания контактора в первом случае примерно на 40-50% меньше, чем во втором, и может составлять 10 мс даже для крупного аппарата.

Анализ поведения контактора при снижении и 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 150-135В его магнитная система начинает сильно вибрировать, а амплитуда вибраций такова, что его главные контакты замыкаются и размыкаются. Такой же режим работы возникает при увеличении переменного напряжения на катушке от нуля до 160-185В.

Возможность работы контактора в таком режиме совместно с его высоким быстродействием означает, что даже при однократном, устойчивом в течение 100-200 миллисекунд провале напряжения до величины 135-150В 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 150-170В.

С учетом характера нагрузки, питающейся от цепей собственных нужд подстанций (чувствительная к кратковременным провалам напряжения силовая электронная аппаратура), техническое решение, предложенное для контакторов, применяющихся в сетях промышленных предприятий (удержание контактора при провалах напряжения), не может, по нашему мнению, считаться эффективной мерой. Связано это с тем, что через замкнутые контакты контактора кратковременные провалы напряжения будут воздействовать на чувствительную аппаратуру, вызывая нарушение ее работоспособности. Решением проблемы могло бы стать не удержание контактора, а, наоборот, очень быстрое (в течение 10-12 мс) его отключение при снижении напряжения в сети ниже 160В и возврат в исходное состояние при восстановлении напряжения до значения выше 185В с выдержкой времени в 5-10 с.

Однократный перерыв в 5-10 с. в сети собственных нужд переменного тока подстанций не вызывает 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.

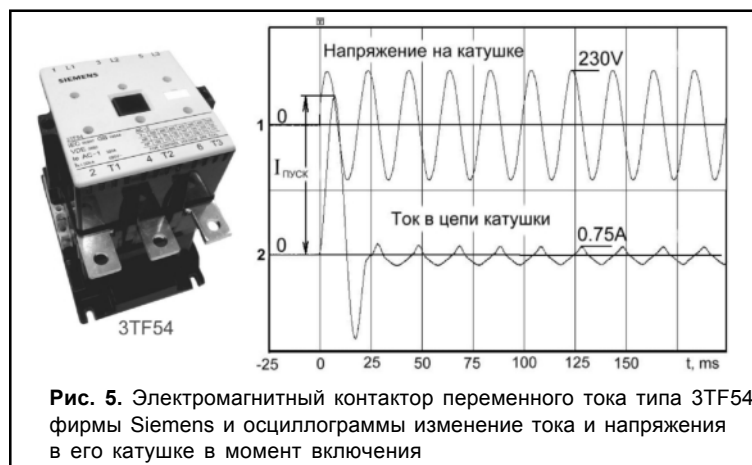
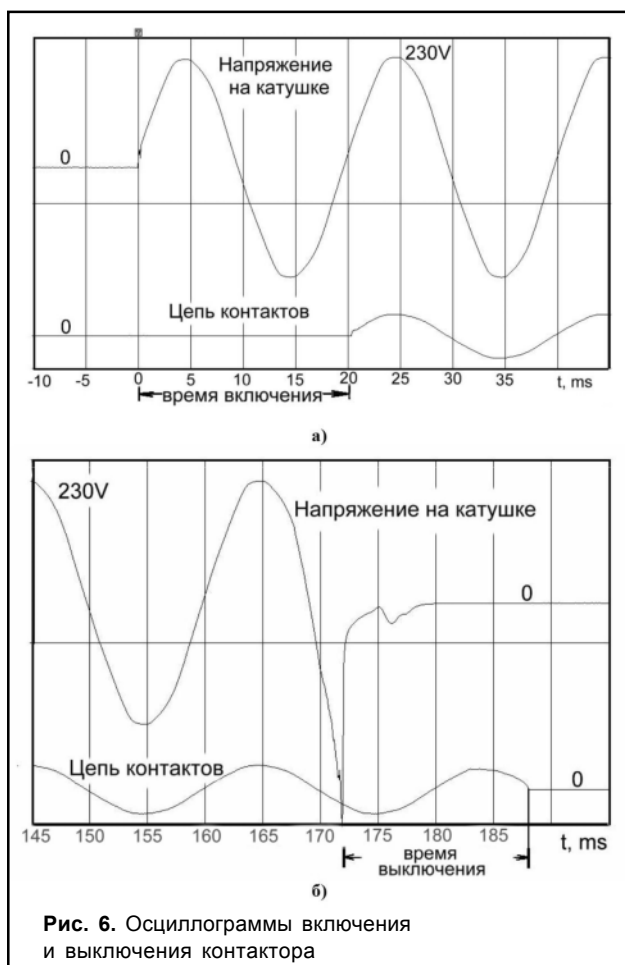
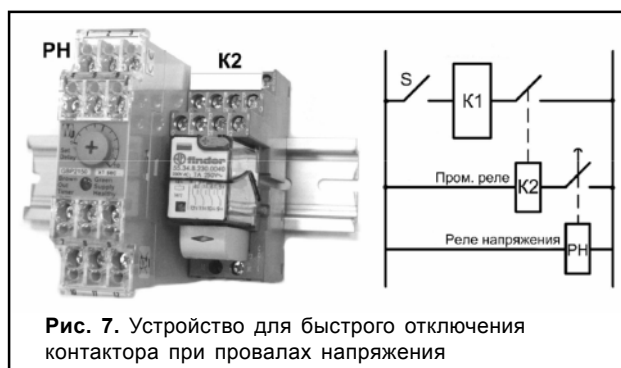


Рис. 5. Электромагнитный контактор переменного тока типа 3TF54 фирмы Siemens и осциллограммы изменения тока и напряжения в его катушке в момент включения



Для обеспечения быстродействующего отключения контактора при снижении напряжения в сети большинство имеющихся на рынке электронных реле минимального напряжения, предлагаемых различными производителями, не годятся, поскольку их минимальное время реакции на снижение напряжения составляет, обычно, 100 мс. За такое время контактор успеет несколько раз замкнуть и разомкнуть цепь питания. В результате проведенного поиска удалось обнаружить лишь несколько типов реле, подходящих для управления контактором (рис. 7). Это реле минимального напряжения, совмещенное с таймером (так называемый brown-out timer) типа GBP2150, производимый компанией Midland Jay (отделение компании Midland Automation, Англия). Время реакции этого устройства на провал напряжения на 30% номинального составляет всего 5 мс. Время возврата после восстановления напряжения до 80% номинального может регулироваться в пределах от 1 до 10 с., что является, по нашему мнению, идеальным решением проблемы. Для уменьшения нагрузки на контакты выходного коммутирующего элемента, применяемого в реле GBP2150, используется промежуточное электромагнитное реле типа 58.32.8.230 (Finder) со временем отпускания около 3 мс. Другой хороший пример, особенно подходящий для российского потребителя – реле контроля провалов напряжения типа РКН-1-3-15 производства ЗАО «Меандр» (С.-Петербург).



Заключение

Для промышленных предприятий с преобладанием электродвигательной нагрузки и для подстанций с преобладанием силовой электронной аппаратуры, питающейся от сети собственных нужд, должны применяться различные методы борьбы с кратковременными провалами 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 – устройство, обеспечивающее быстродействующее принудительное отключение контактора.

Литература:

- 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.
- Melhorn, C. J., Davis, T. D., Beam, G. E. Voltage Sags: their impact on the utility and industrial customers. IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 34, №3, 1988, pp. 549-558.
- McGranaghan, M. F., Mueller, D. R., Samotyj, M. J. Voltage sags in industrial systems. IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 29, №2, 1993, pp. 397-404.
- Фишман, В. Провалы напряжения в сетях промпредприятий. – Новости Электротехники, 2004, № 5 (29), 6 (30).
- Kelley, A., Cavaroc, J., Ledford, J., Vassalli, L. Voltage regulator for contactor ride-through. IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 36, №2, 2000, pp. 697-703.
- Andgara, P., Navarro, G., Perat, J. I. A new power supply system for AC contactor ride-through. 9th International Conference «Electric Power Quality and Utilisation», Barcelona, 9-11 October, 2007.
- Iyoda, I., Hirata, M., Shigei, N., Pounyakheta, S., Ota, K. Affect of Voltage Sags on Electro-magnetic Contactor. 9th International Conference «Electric Power Quality and Utilisation», Barcelona, 9-11 October, 2007.