

О необходимости и возможности контроля наличия силового напряжения при работе СЭГП

Илья Струков (г. Ковров)

В статье показана необходимость контроля наличия и правильности чередования фаз силовой питающей сети при работе следящего электрогидропривода (СЭГП). Представлены варианты схемотехнических решений, проведён анализ их недостатков в части использования для контроля силового напряжения и предложены оптимальные конструктивные решения.

В следящих электрогидравлических приводах (СЭГП) конечный исполнительный элемент состоит из связки: приводной асинхронный электродвигатель – гидронасос – гидромотор – нагрузка.

Для обеспечения работоспособности гидронасоса вращение его вала должно производиться в строго определённом направлении. Изменение направления вращения вала гидронасоса приводит к отказу системы в целом.

В ряде случаев в качестве приводного механизма для гидронасоса используется асинхронный трёхфазный электродвигатель, направление вращения которого определяется порядком чередования фаз подводимой питающей сети. При нарушении первоначально принятого порядка чередования фаз электродвигатель вращается в противоположную сторону, что приводит к нарушению работоспособности гидронасоса.

При отсутствии одной из фаз электродвигатель не запустится и будет находиться в режиме короткого замыкания, пока не сработает тепловая защита двигателя, если таковая имеется.

В уже работающем СЭГП обрыв одной из фаз питающей сети приведёт к перегрузке двигателя по току, а при последующей длительной работе – к срабатыванию тепловой защиты. Однако кратковременная работа в режиме перегрузки (на двух фазах) не вызовет серьёзных последствий. В то же время эта кратковременная работа в условиях перегрузки бывает иногда необходима по условиям выполнения задачи приводом, когда до окончания её выполнения остаётся незначительное время.

Для решения данной проблемы разработчики следящих систем вынуждены встраивать в СЭГП специальное устройство – определитель наличия и правильности чередования фаз силовой питающей сети. Функции такого определителя – блокировка запуска и работы приводного двигателя гидронасоса, работающего от трёхфазной сети переменного напряжения, неисправности сети питания, отсутствии одной или двух фаз или неправильном чередовании фаз питающей сети. Если неисправность обнаружена в процессе работы привода, формируется сигнал

о неисправности и происходит завершение работы системы согласно заданному алгоритму.

Данное устройство должно быть встроено в СЭГП и осуществлять свои функции на протяжении всего времени работы привода, т.е. продолжительное время (см. рис. 1).

Существует несколько вариантов схем, которые функционально в той или иной мере пытаются решить описанную выше задачу. Все эти известные схемы основываются на построении различного рода фазоуказателей. Схема одного из таких устройств приведена на рисунке 2.

После подключения зажимов XP1–XP3 к сети начинает работать трёхфазный мостовой выпрямитель на диодах VD1, VD3, VD4, VD6, VD7, VD9. Выпрямленное напряжение ограничено стабилизатором VD10 до 15 В, необходимых для питания микросхем и транзисторов прибора. Избыток напряжения гасят соединённые параллельно резисторы R7–R10. Рассеиваемая ими мощность близка к предельно допустимой, поэтому не рекомендуется длительное время держать прибор подключённым к сети. Конденсатор C1 сглаживающий. Светодиоды HL1–HL3, включённые последовательно с диодами VD1, VD4, VD7, сигнализируют о наличии напряжения в каждой из фаз.

На входы элементов DD1.1–DD1.3 через диоды VD2, VD5, VD8 и делители напряжения на резисторах R1–R6 поступает напряжение каждой из трёх

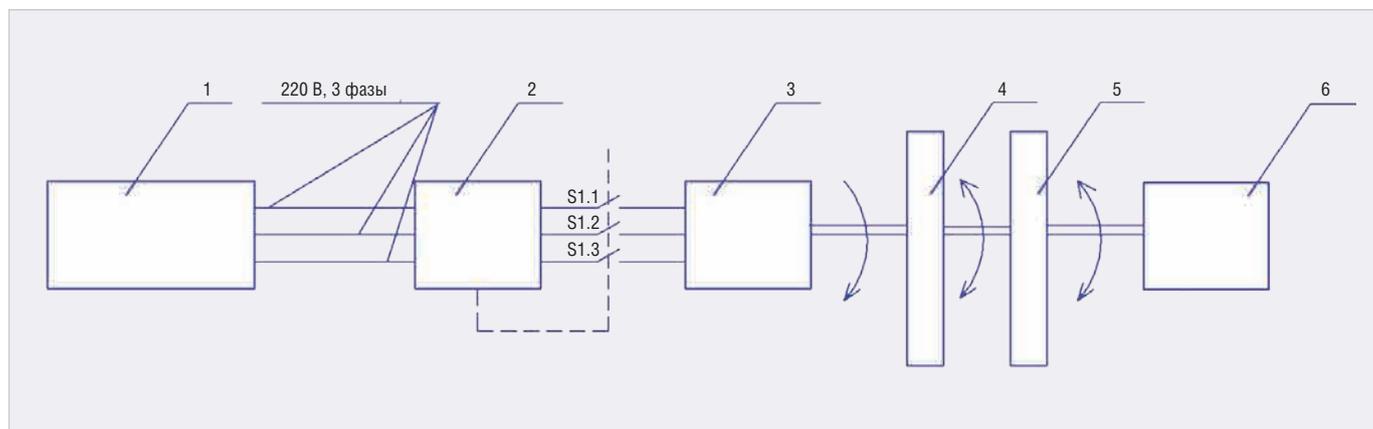


Рис. 1. Структурная схема подключения исполнительного механизма СЭГП и нагрузки к питающей сети: 1 – генератор трёхфазного силового электропитания, 2 – блок анализа качества силового электропитания, 3 – электродвигатель асинхронный, 4 – гидронасос, 5 – гидромотор, 6 – нагрузка

фаз. Номиналы резисторов выбраны таким образом, чтобы амплитудное значение напряжения на входе логического элемента немного превышало порог его переключения.

На рисунке 3 показаны временные диаграммы сигналов в различных точках схемы: слева – для «прямого» (А-В-С), справа – «для обратного» (А-В-С) порядка следования фаз. За фазу А условно принимают любую из трёх фаз сети.

Пока кнопка SB1 не нажата, прибор находится в исходном состоянии. Высокий логический уровень с выхода узла защиты от дребезга контактов кнопки на элементе DD1.4 поступает на вход S триггера DD2.1. Хотя на вход R этого триггера поступают импульсы с выхода элемента DD1.2, он остаётся в состоянии высокого уровня на выходе (вывод 2), так как вход S имеет приоритет.

Высокий логический уровень с выхода триггера DD2.1 на входы S триггеров DD2.2 и DD2.3, в свою очередь, удерживает последние в состоянии высокого уровня на выходах. Транзисторы VT1 и VT2 закрыты, светодиоды HL4 и HL5 погашены.

При нажатии на кнопку SB1 высокий логический уровень на выходе элемента DD1.4 и соединённом с ним входе S триггера DD2.1 запускает триггеры DD2.2 и DD2.3. Дальнейшее зависит от порядка следования фаз.

Если после разблокирования триггеров первым будет импульс на выходе элемента DD1.1 – изменит состояние триггер DD2.2. Транзистор VT1 будет открыт, а светодиод HL4 «А→В» – включён. Импульсы с выхода элемента DD1.3 на вход R триггера DD2.3 поступать не будут благодаря открывшемуся при низком логическом уровне на выходе триггера DD2.2 диоду VD12. Поэтому триггер DD2.3 сохранит состояние, соответствующее погашенному светодиоду HL5 «А→С». Такое положение останется неизменным до отпускания кнопки SB1, после чего прибор вновь перейдёт в исходное состояние.

Если за нажатием кнопки и переключением триггера DD2.1 первым последует импульс на выходе элемента DD1.3 – изменит состояние триггер DD2.3, а триггер DD2.2 останется в прежнем. Соответственно, светодиод HL5 будет включён, а HL4 – отключён.

На рисунке 4 приведена схема, построенная на микроконтроллере ATiny.

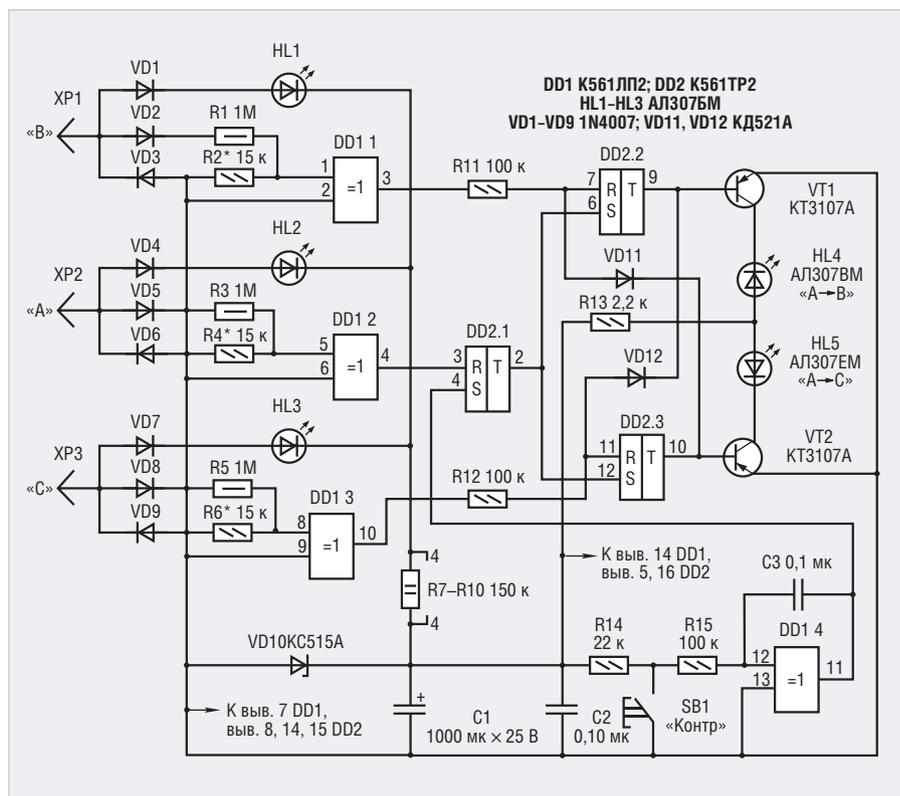


Рис. 2. Электрическая схема электронного определителя наличия фаз силовой сети

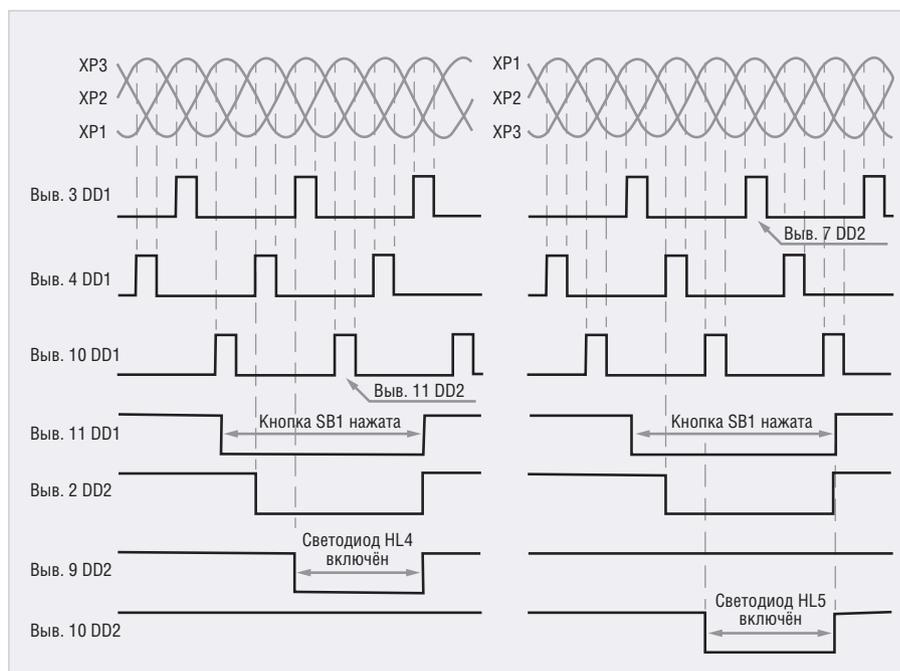


Рис. 3. Номограмма, иллюстрирующая работу схемы на рисунке 2

Программа микроконтроллера прежде всего проверяет наличие превышающего заданный порог напряжения фазы А на входе PB4 микроконтроллера. Обнаружив его, программа ожидает превышения порога напряжения фазы В на входе PB3 или фазы С на входе PB5. Если первым его превысило напряжение фазы В, то после фиксации превышения и фазой С подаётся команда на

включение светодиода HL5 и выключение светодиода HL4.

Аналогично, если первым превысило порог напряжение фазы С, то после фиксации превышения и фазой В подаётся команда на включение светодиода HL4 и выключение светодиода HL5. Затем цикл повторяется. Для защиты от сбоев в микроконтроллере активирован сторожевой таймер.

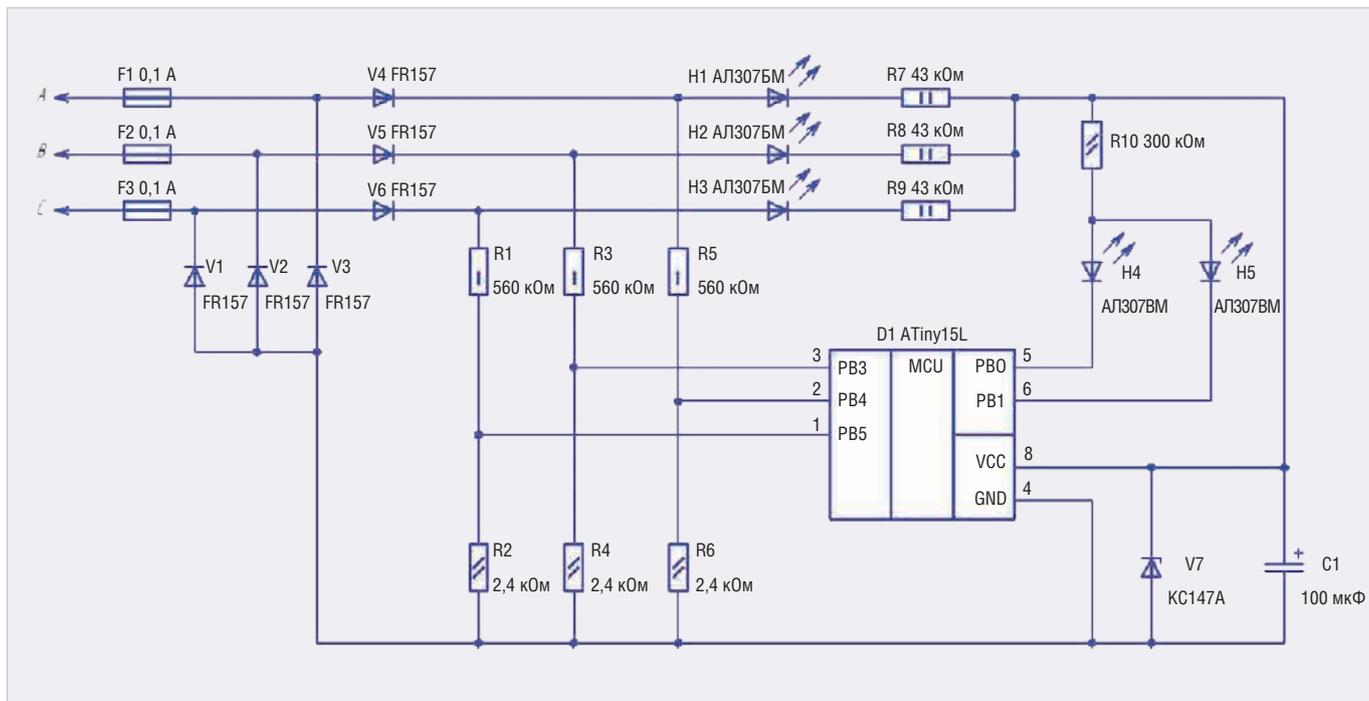


Рис. 4. Электрическая схема электронного определителя наличия фаз силовой сети на основе микроконтроллера ATiny

Обе приведённые схемы в принципе неплохи, но имеют ряд недостатков:

- схемы нельзя использовать в постоянно включённом, рабочем состоянии, т.к. происходит перегрев и выгорание резисторов, ограничивающих ток на светодиодах. Да и сами сигналы светодиодов нельзя обработать автоматически;
- при внезапном отключении (аварийном) питающего генератора данные схемы обнаружат пропадание силового напряжения только через 5...10 с. Проблема с аварийным отключением питания обусловлена следующим

физическим явлением. В установившемся режиме работы вал асинхронного электродвигателя с жёстко соединённой с ним через гидронасос и гидромотор нагрузкой раскручен до максимальной скорости. При внезапном (аварийном) отключении генератора сети в первоначальный момент времени происходит скачок нагружающего момента на валу электродвигателя. Электродвигатель по инерции продолжает движение и сам начинает выполнять функции генератора, вбрасывая накопленную энергию в сеть. При этом, несмотря на отключе-

ние основного генератора, напряжение в статоре электродвигателя в сторону уменьшения практически не меняется или изменяется очень мало.

С течением времени скорость вращения вала электродвигателя под воздействием возросшего момента нагрузки, тем не менее, падает. И только через 5...10 с под действием нагрузки вал электродвигателя теряет свою скорость до нуля, в статоре происходит резкое падение напряжения.

Графики, приведённые на рисунке 5, наглядно иллюстрируют этот физический процесс.

Рассмотренные ранее устройства обнаруживают отсутствие (провал) напряжения только на последнем этапе.

За 5...10 с «бесконтрольной» работы системы, при нештатных оборотах приводного электродвигателя и гидронасоса (после отключения основного генератора) происходит неуправляемое движение, что может привести к непредсказуемым последствиям. Особенно ярко это выражено при «попутной» работе нагрузки.

Поэтому в технических заданиях на разработку следящих приводов справедливо выдвигают требования по поведению нагрузки при аварийном снятии силового электропитания. Например, встречается такая формулировка: при пропадании питания допускается остаточный выбег нагрузки не более 2 град.

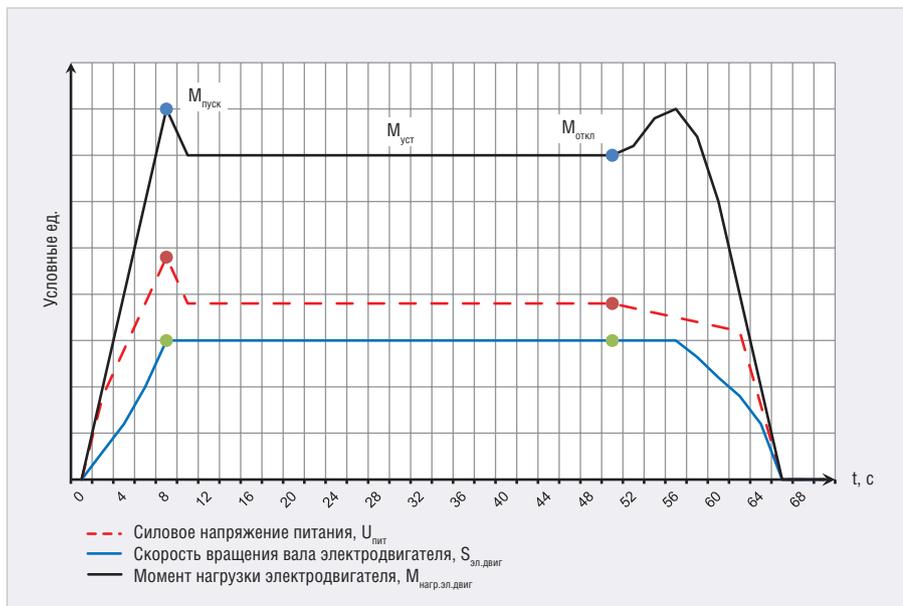


Рис. 5. График зависимостей $M_{нагр.эл.двиг} = f(t)$, $U_{пит} = f(t)$, $S_{эл.двиг} = f(t)$ в процессе работы СЗГП и при аварийном отключении силового питания

Рассмотренная далее схема (см. рис. 6) в полной мере отвечает упомянутым требованиям и лишена указанных недостатков.

Устройство включается в сеть не последовательно между основным генератором и электродвигателем, а параллельно. Так достигается минимизация влияния рабочих токов в проводниках на элементы схемы.

Схема может находиться во включённом состоянии сколь угодно долго.

Подключение 3-фазное с общей точкой, соответственно, междуфазное – 110 В (для 220 В, 3 фазы).

В данной статье полная работа схемы не рассматривается, она изложена в [2]. Остановимся лишь на построении и принципе работы «изюминки» данной схемы – преобразователя – формирователя напряжения.

Формирователь напряжения (см. рис. 7), которое далее обрабатывается схемой, выполнен в виде оптопары с нагрузочным резистором и гасящим конденсатором. Эти элементы – на каждую фазу.

Оптопары 7, 8 и 9 находятся на грани срабатывания – 10 мА (по ТУ на оптопары для уверенного срабатывания необходимо 15 мА, нагрузочные резисторы R1, R2, R3 – 7 кОм). Таким образом: $110 \text{ (В)} : 10 \text{ (мА)} = 110 \text{ (кОм)}$.

Падение напряжения на 2–3 В приводит к тому, что оптопара, находящаяся на грани срабатывания, закрывается из-за нехватки тока срабатывания.

Такой искусственно заниженный ток на оптопаре позволяет практически сразу увидеть падение (пропадание) силового напряжения с основного генератора (приводной электродвигатель в это время раскручен и начинает отдавать энергию в сеть) и, соответственно, выдать команду в систему о сложившейся ситуации.

Имеется возможность регулировки «чувствительности» схемы. Это делается опытным путём: подбором номиналов нагрузочных резисторов на фазах. Схема настраивается от практически мгновенного (доли секунд) срабатывания узла «преобразователь – формирователь напряжения» до длительной временной (5...20 с) задержки.

Мощность рассеивания резисторов берётся с запасом (порядка 4 Вт). На практике применяется набор из резисторов, одинаковых по номиналу и мощности. Например: $110 \text{ (кОм)} = 50 \text{ (кОм)} + 50 \text{ (кОм)}$. При примене-

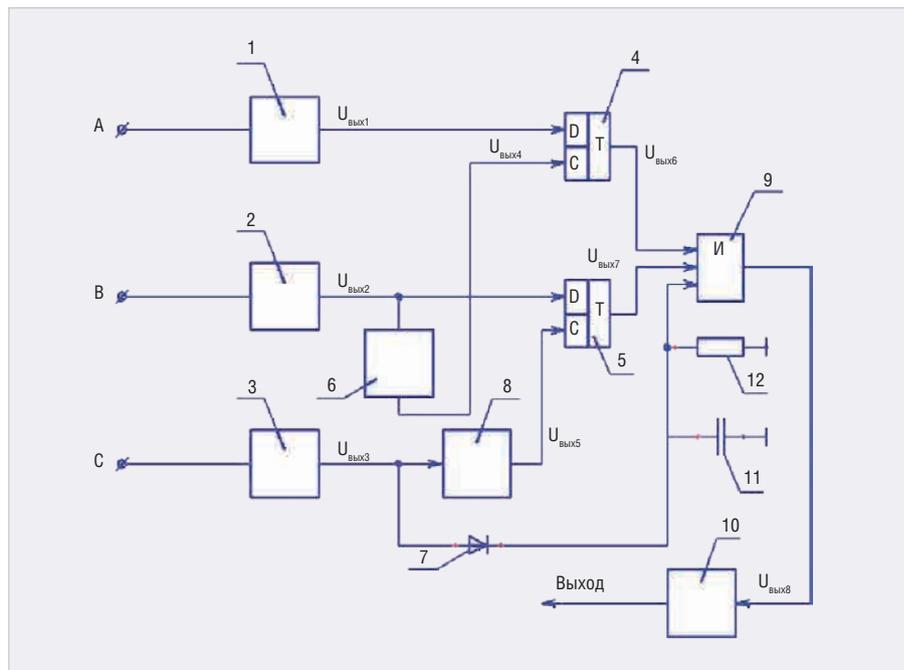


Рис. 6. Функциональная схема электронного определителя наличия и правильности чередования фаз силового питания: 1, 2, 3 – преобразователь-формирователь напряжения; 4, 5 – триггер; 6, 8 – импульсный формирователь; 7 – диод; 9 – элемент «И»; 10 – исполнительный орган; 11 – конденсатор; 12 – резистор

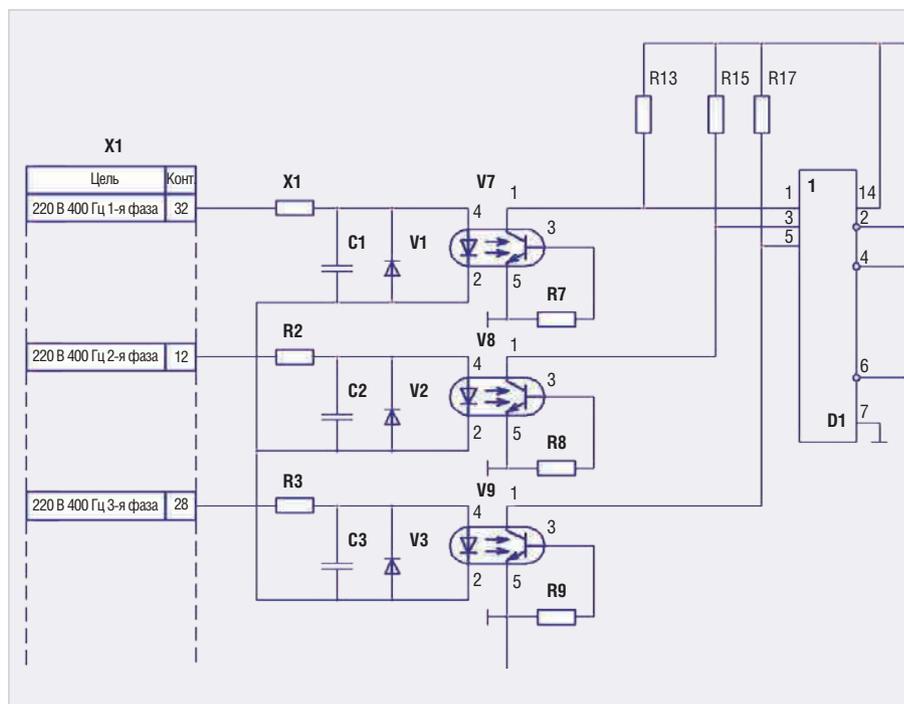


Рис. 7. Фрагмент электрической схемы, иллюстрирующий устройство формирователя напряжения

нии резисторов по 2 Вт общая мощность рассеивания для резисторов в данном примере составляет 4 Вт.

Как показывает практика, данная схема вполне работоспособна, причём длительное время – до суток непрерывной работы. Единственный её недостаток: она чувствительна к различного рода сбоям, выбросам, искажениям синусоидального

напряжения в работе основного генератора.

Возможно построение формирователя напряжения на других элементах, например датчиках тока или датчиках напряжения. При выборе параметров схемы необходимо помнить о рассмотренных ранее особенностях работы при аварийном отключении основного силового генератора.

Эксплуатационные данные твердотельных полупроводниковых реле типа MO26-XXX-12-МК фирмы АО «Электрум АВ»

Наименование реле	Максимальное пиковое напряжение на выходе в закрытом состоянии, $U_{\text{ном}}$, В		Коммутируемый ток, ср. кв. знач., $I_{\text{ком}}$, А		Коммутируемое напряжение, ср. кв. знач., $U_{\text{ком}}$, В		Коммутируемый импульсный ток, $I_{\text{имп}}$, А		Входное напряжение во включённом состоянии, $U_{\text{вкл}}$, В		Входное напряжение в выключённом состоянии $U_{\text{выкл}}$, В		Критическая скорость нарастания выходного напряжения		Диапазон рабочих температур, T , °С		Температура перехода, $T_{\text{пер}}$, °С	
	не более	не менее	не более	не менее	не более	не менее	не более	$t_{\text{имп}}$, мс	не менее	не более	не более	напряжения, dU/dt , В/мкс (не более)	тока, dI/dt , А/мкс (не более)	Диапазон рабочих температур, T , °С		Не более		
MO26-25-12-МК	±1200	0,2	25	~30	~630	200	10	≈10	≈30	≈2	500	160	-40...+85	+125				
MO26-40-12-МК			40			300												
MO26-63-12-МК			63			750												
MO26-80-12-МК			80			960												
MO26-100-12-МК			100			1250												
MO26-120-12-МК			120			1600												

Примечания:

* действующее значение $I_{\text{ком.имп}}$ не должно превышать $I_{\text{ком}}$;

** модули рассчитаны на работу в аппаратуре с применением охладителей, поддерживающих температуру перехода, не превышающую максимальную.

Сейчас появилось много приборов, представляющих собой законченные устройства определителя наличия фаз, например, представляют интерес разработки АО «Электрум АВ» (г. Орёл). Это предприятие специализируется на разработке и изготовлении твердотельных и оптоэлектронных гальванически развязанных реле.

Твердотельное реле переменного тока типа MO26-XXX-12-МК (см. табл.) предназначено [1] для плавной подачи трёхфазного напряжения в нагрузку и аварийного отключения потребителей при пропадании одной из питающих фаз и возникновении внешнего сигнала аварии.

После подачи управляющего напряжения микроконтроллерная схема управления определяет очерёдность подключённой трёхфазной сети. Это необходимо для организации правильной последовательности управления силовыми ключами (тиристорами). Также схема управления проверяет наличие всех трёх

силовых питающих фаз, и при отсутствии хотя бы одной происходит аварийная блокировка работы твердотельного реле.

Для наглядного отображения состояния и оперативного изменения настроек и управления твердотельное реле MO26-XXX-12-МК имеет возможность посредством интерфейса RS-485 общаться с управляющей программой. Прежде чем запускать управляющую программу, необходимо подключить к разъёму управления преобразователь интерфейса. При отладке программы использовался преобразователь RS-485/USB, тип изделия C2000-USB.

Аварийные ситуации, при которых происходит выключение твердотельного реле: перегрев силовых ключей (тиристоров); присутствие сигнала от внешних цепей управления на входе «Авария внешняя»; пропадание одной из питающих фаз.

Подводя итоги вышеизложенного, совершенно очевидна необходимость постоянного контроля наличия

и правильности чередования фаз силовой сети в СЭПП. Конструктив такого устройства следует определять в том числе из требований технического задания в части электропитания и аварийных ситуаций.

Литература

1. Паспорт «Микропроцессорное устройство токовой защиты типа МПТ». МПТ20МК/МПТ200МК – Изм. 5. Изв. 200-16. Прот. № 10. Предл. № 274. АО «Электрум АВ». 2020 г.
2. Патент 38252 на полезную модель (МПК 7 Н 02 Н 3/24. РФ. «Устройство для непрерывного контроля наличия и правильности чередования фаз сети трёхфазного напряжения». Авторы: Аистов В. В., Климов В. С., Кропотов В. И., Струков И. В., Фомин Н. Н.) № 2003134803/20; зарег. 02.12.2003; опубли. 27.05.2004, бюл. № 15, 2003 г.
3. *Потачин И.* Определитель последовательности фаз. Радио. 2004. № 8.
4. *Пишеницын А.* Фазоуказатель. Радио. 2009. № 9.



НОВОСТИ МИРА

РОССЕТИ ВВЕЛИ В ЭКСПЛУАТАЦИЮ КОМПЛЕКСЫ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ НА ПРОЦЕССОРАХ «ЭЛЬБРУС»

Группа «Россети» ввела в работу комплексы релейной защиты (РЗА) на базе процессора «Эльбрус» на подстанциях 220 кВ «Борская» и «Семёновская» в Нижегородской области. Об этом сообщил Telegram-канал группы.

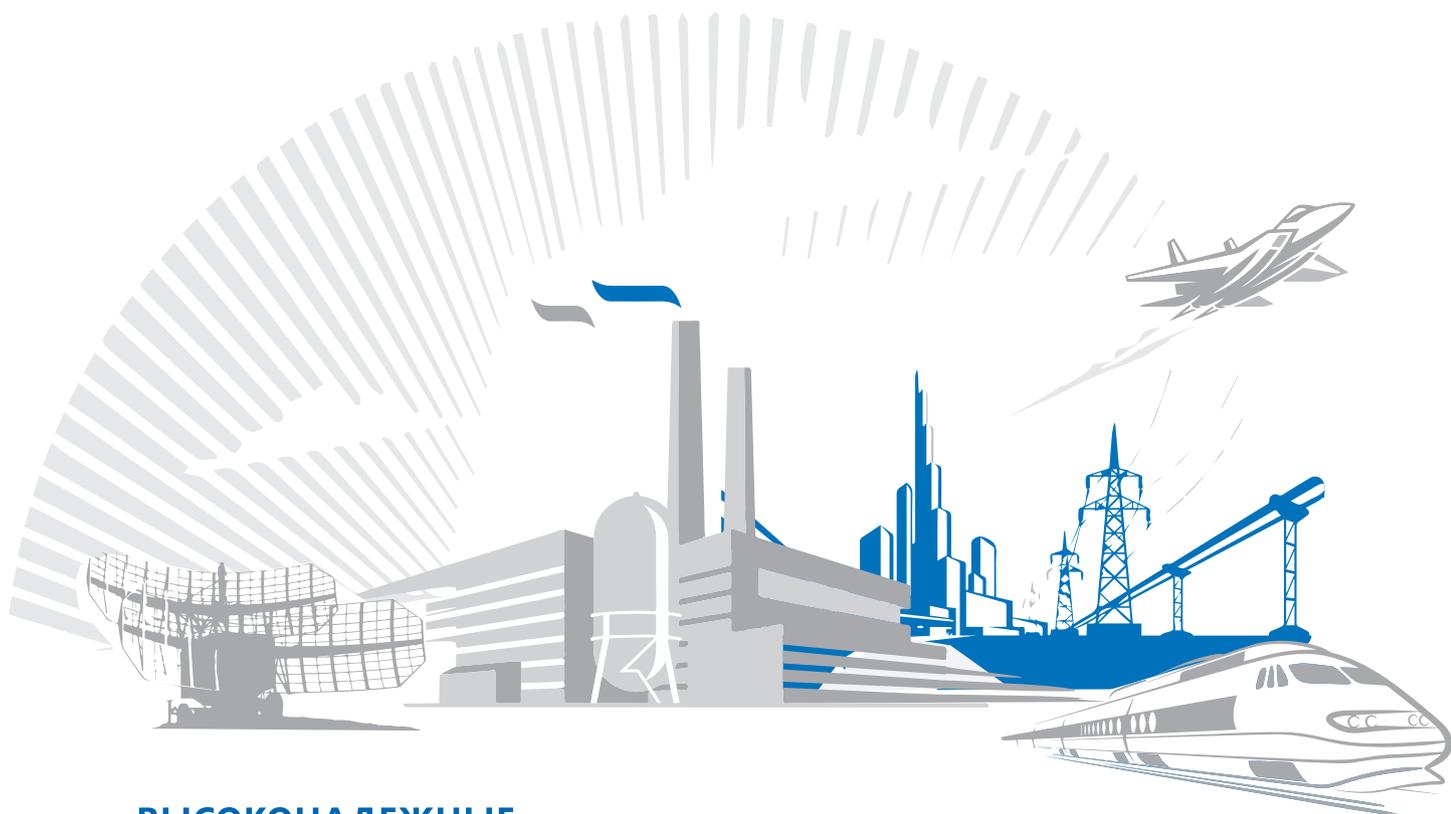
Оборудование разработано Научно-исследовательским предприятием обще-

го машиностроения (НИПОМ) и Институтом электронных управляющих машин им. И.С. Брука (ИНЭУМ им. И.С. Брука), который входит в Концерн «Автоматика» Госкорпорации Ростех.

«Использование процессоров «Эльбрус» позволяет комплексам РЗА соответствовать всем требованиям, предъявляемым для присвоения статуса оборудования российского происхождения. Повышается надёжность комплексов и их стойкость к информационным атакам, что крайне важно, когда речь

идёт об оборудовании одной из крупнейших в России и мире энергетической компании. Широкие компетенции концерна «Автоматика» позволяют удовлетворить потребности заказчиков в лице компаний, в том числе энергетической отрасли, а также государственных структур Российской Федерации в современном защищённом оборудовании высокого качества», – отмечает генеральный директор концерна «Автоматика» Владимир Кабанов.

<http://www.mcst.ru>



ВЫСОКОНАДЕЖНЫЕ МОДУЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ ЖЕСТКИХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ



Серия HWS, HWS-A

- AC/DC-источники питания мощностью от 15 до 1560 Вт
- Ограниченная пожизненная гарантия
- Диапазон рабочих температур $-40...+70^{\circ}\text{C}$, конформное покрытие платы (модификация HD)
- Широкий диапазон выходных напряжений: от 3,3 до 60 В
- Работа в режиме пиковой мощности 300% в течение 5 с (модификация P)



Серия PFE, PFH

- AC/DC-преобразователи на плату от 300 до 1008 Вт
- Вход: 85–265 В AC, регулируемый выход: 12, 24, 48, 51 В DC
- Защиты от перенапряжений, перегрузки, перегрева
- Диапазон рабочих температур подложки $-40...+100^{\circ}\text{C}$
- Цифровое управление, обратная связь, поддержка PMBus™



Серия CN-A

- DC/DC-преобразователи на плату от 30 до 200 Вт
- Повышенная устойчивость к вибрациям, рекомендован для железнодорожного транспорта
- Диапазон рабочих температур $-40...+100^{\circ}\text{C}$ на подложке без снижения мощности
- Вход: 60–160 В DC или 14,4–36 В DC, выход: 5–24 В DC
- 5 лет гарантии



Серия HQA/GQA

- DC/DC-преобразователи на плату мощностью 85 и 120 Вт
- Ударные перегрузки до 50g
- Диапазон рабочих температур $-55 (-40)...+115^{\circ}\text{C}$
- Широкий диапазон входных напряжений: 9–40 В и 18–40 В DC
- Выходные напряжения: 5, 12, 15, 24, 28, 48 В DC
- КПД до 91,5%

