

быть получен за счёт метода перекрёстной синхронизации, когда ФСУ-А синхронизируется УС-В, ФСУ-В получает сигнал синхронизации от УС-С, а ФСУ-С — от канала синхронизации УС-А.

Техническая реализация РП не вызывает каких-либо затруднений (рис. 7, а). Операционный усилитель А1 интегратора выбирается из серий усилителей общепромышленного назначения. Маломощные высокочастотные диоды VD1, VD2 предназначены для защиты входа РП от перенапряжений со стороны сигнала синхронизации (сети). Постоянная времени интегратора рассчитывается по формуле  $T_{и} = R2C$ , коэффициент пропорционального усиления РП со стороны информационного входа —  $K_{п1} = R2/R1$ . При необходимости с помощью потенциометра RP и резистора R5 корректируется начальный угол синхронизации ВП, тогда коэффициент передачи РП определяется выражением  $K_{п2} = R2/R5$ .

Пороги переключения усилителя А2 рассчитываются следующим образом:  $|b| = |A|R4/(R3 + R4)$ , где  $\pm A \approx \pm U_n$  — напряжение питания усилителя А2. Последний должен иметь в режиме «насыщения» довольно высокую симметрию амплитуд выходных импульсов. На практике использовалась микросхема LM6171. Транзистор VT выполняет функцию повторителя П,  $C_{Б1} - C_{Б4}$  — блокировочные конденсаторы для фильтрации высоко- и низкочастотных помех со стороны источника электропитания РП. При выборе параметров РП следует придерживаться условий  $R2 \leq 200 \text{ кОм}$ ,  $R3 \leq 470 \text{ кОм}$ .

Глубина синхронизации применительно к схеме, представленной на рис. 7, а, определяется из соотношения  $A_c = |A_c K_{п1}/A|$  и находится в пределах  $2,5 \leq A_c \leq 10,0$ , а её выбор определяется степенью искажённости напряжения сети. На рис. 7, б показана осциллограмма напряжения сети и выходного сигнала РП для ВП с синхронизацией по схеме на рис. 6. Эксперимент проводился на дизель-генераторной станции буровой установки при работе группы ВП с общей загрузкой станции около 90%. Несмотря на аномально высокий уровень искажения напряжения сети, была обеспечена безотказная работа всего технологического комплекса.

### Выводы

1. Приведены условия синхронизации РП внешними биполярным прямоугольным и гармоническим сигналами. Показано также, что интегрирующее УС, в отличие от известных компараторных устройств аналогичного функционального назначения, полностью адаптируется к нестабильности амплитуды напряжения сети. Кроме того, оно обладает повышенной помехоустойчивостью по отношению к высокочастотным сигналам помех и коммутационным искажениям

сети, поскольку представляет собой адаптивный аperiodический фильтр первого порядка с постоянной времени, зависящей от амплитуды и частоты синхронизирующего воздействия.

2. Предложены перекрёстный и родственный ему интервало-кодový способ синхронизации каналов систем импульсно-фазового управления ВП на основе интегрирующих РП. Первый способ синхронизации отличается простотой технической реализации, второй позволяет диагностировать катастрофические отказы каналов синхронизации ВП и осуществлять его аварийное отключение.

3. Рассмотрена принципиальная схема интегрирующего УС, даны основные расчётные соотношения и рекомендации по выбору параметров отдельных её элементов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Осипов О. И., Усынин Ю. С. Техническая диагностика автоматизированных электроприводов. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 160 с.
2. Реверсивный тиристорный преобразователь для систем управления с питанием от сети с нестационарными параметрами // Л. И. Цытович, Р. М. Рахматулин, М. М. Дудкин, А. В. Качалов // Практическая силовая электроника. 2008. № 2(34). С. 35 — 41.
3. Качалов А. В., Цытович Л. И., Дудкин М. М. Интегрирующие устройства синхронизации для систем импульсно-фазового управления вентильными преобразователями // Практическая силовая электроника. 2010. № 1(37). С. 42 — 51.
4. Адаптивная система синхронизации трехфазного мостового реверсивного ти-

ристорного преобразователя / Л. И. Цытович, А. В. Качалов, М. М. Дудкин, Р. М. Рахматулин // Вестник ЮУрГУ. Энергетика. 2009. Вып. 11. № 15(148). С. 45 — 50.

5. Система регулирования температуры и непрерывного контроля сопротивления изоляции электротехнических изделий в процессе их термической обработки / Л. И. Цытович, М. М. Дудкин, Р. М. Рахматулин и др. // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2012. № 8. С. 45 — 50.

6. Дудкин М. М., Цытович Л. И. Элементы информационной электроники систем управления вентильными преобразователями: монография. — Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011. — 362 с.

7. Чернов Е. А., Кузьмин В. П. Комплексные электроприводы станков с ЧПУ: справочное пособие. — Горький: Волго-Вятское книжное изд-во, 1989. — 320 с.

8. Дудкин М. М., Цытович Л. И., Брылина О. Г. Спектральные характеристики развёртывающих преобразователей с широко-импульсной и частотно-широко-импульсной модуляцией // Электротехника. 2013. № 10. С. 18 — 25.

9. Интегрирующие развёртывающие преобразователи с повышенной температурной стабильностью характеристик // Л. И. Цытович, М. М. Дудкин, А. В. Качалов и др. // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2010. № 10. С. 38 — 43.

10. Цытович Л. И., Качалов А. В. Интегрирующая интервало-кодová синхронизация реверсивных тиристорных преобразователей // Вестник ЮУрГУ. Энергетика. 2010. Вып. 13. № 14(190). С. 36 — 39.

## Микропроцессорная система АВР с явным резервированием трансформаторов собственных нужд на подстанциях и электростанциях

ШАВАРИН Н. И., канд. тех. наук, ВОЛКОВ И. В., СЕМЁНОВ Д. А., инженеры ООО НПФ «ЭКРА»; 428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, просп. И. Яковлева, д. 3; ekra@ekra.ru



Н. И. Шаварин



И. В. Волков



Д. А. Семёнов

Приведены преимущества микропроцессорной (МП) системы автоматического ввода резерва (АВР), рассмотрена концепция её построения, показан пример на базе устройств АВР фирмы Schneider Electric.

Ключевые слова: собственные нужды переменного тока, ввод резерва, микропроцессорная система.



Таблица 1

Отличительный критерий	Тип схемы АВР	
	релейно-контактная	микропроцессорная
Логика АВР	Жёсткий, неизменяемый алгоритм	Гибкое программирование алгоритма, возможность оперативного выбора одного из предварительно подготовленных алгоритмов
Ремонтопригодность, обслуживание	Применение широко используемых реле и традиционных схем позволяет быстро найти неисправность и произвести ремонт	Ремонт МП устройства осуществляется специально обученным персоналом с использованием соответствующего оборудования. Вместе с тем неисправность можно определять самим МП устройством
Настройка уставок, наладка	Уставки АВР по времени выставляются непосредственно на реле времени	Уставки выставляются на панели оператора, имеется возможность дистанционного изменения уставок
Монтаж цепей АВР	Большое количество межшкафных соединений: чем сложнее логика, тем больше связей	Цепи АВР соединяются по цифровому интерфейсу экранированной витой парой
Помехоустойчивость	Относительно нетребовательна по вопросам электромагнитной совместимости и помехозащищённости	Чувствительна к помехам, в особенности по цепи питания МП устройств, требует установки дополнительных защитных устройств и применения специальной конструкции

**В**ажное требование к системе электроснабжения — обеспечение бесперебойного питания электроприёмников. Для этой цели в числе других мер служат устройства АВР. С каждым годом всё большее число систем АВР реализуются на МП устройствах.

#### Обоснование применения АВР в схемах с явным резервированием на МП устройствах

В системах собственных нужд переменного тока схематически АВР реализуется посредством релейно-контактной логики или на МП устройстве. В том и другом случае имеются свои особенности, приведённые в табл. 1.

В случае применения щитов собственных нужд с явным резервированием главные критерии следующие:

- монтаж цепей АВР. В большинстве случаев вводные В1 – В3 и секци-

онные СВ1, СВ2 выключатели устанавливаются в отдельных шкафах, причём они могут располагаться как рядом друг с другом, так и по краям щита (рис. 1). При реализации АВР по релейно-контактной схеме число межшкафных соединений значительно возрастает, в случае МП схемы шкафы соединены друг с другом лишь одним кабелем цифрового интерфейса, по которому происходит обмен данными;

- ремонтпригодность и обслуживание. Устройство АВР имеет довольно сложный алгоритм. При реализации АВР по релейно-контактной схеме значительно увеличивается число участвующих в работе реле, по МП схеме выключателей будет лишь по одному МП устройству;

- логика АВР. Работа при построении нового или реконструкции старого

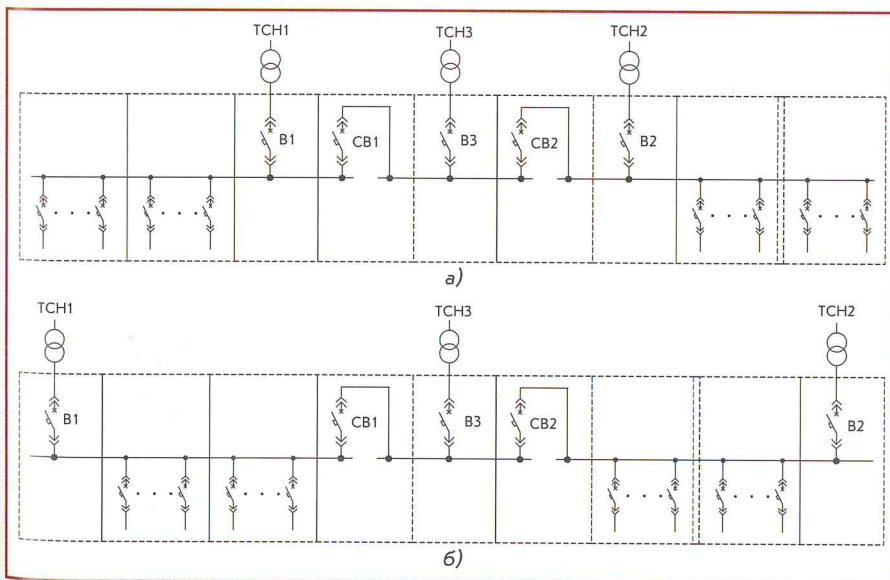


Рис. 1. Однолинейная схема ЩСН переменного тока с явным резервированием и шкафами ввода и секционного выключателя: а — расположены рядом друг с другом; б — размещены по крайним шкафам; ТСН1 – ТСН3 — трансформаторы собственных нужд

щита собственных нужд выполняется, как правило, поэтапно с вводом сначала одной секции, потом другой. В случае построения АВР по МП схеме можно корректировать алгоритм АВР для каждого этапа работ, не внося изменений в аппаратную часть.

#### Концепция построения МП системы АВР

Рассмотрим основные элементы данной системы (рис. 2, а), центральный из которых — программируемый логический контроллер (ПЛК). В нём хранится и исполняется программа алгоритма АВР. Контроллер имеет определённое число входов и выходов, а также возможность их наращивания с помощью модулей ввода-вывода. Кроме того, за счёт встроенных интерфейсов или интерфейсных модулей ПЛК должен обеспечивать функции обмена данными с устройствами человеко-машинного интерфейса (ЧМИ) и распределённого ввода-вывода (РВВ), а также с АСУ ТП подстанции.

Устройство ЧМИ вводят в МП систему АВР для взаимодействия оператора с ПЛК. В результате у оператора появляется возможность следить за работой ПЛК, за программой алгоритма АВР, корректировать временные уставки, получать диагностические сообщения о неисправностях, просматривать архив сообщений аварийно-предупредительной сигнализации.

Микропроцессорное устройство РВВ предназначено для сбора информации о состоянии силовой схемы, передачи её в ПЛК, получения команд от ПЛК и выдачи управляющих воздействий выключателю. Устройство РВВ, как и ПЛК, имеет определённое число входов и выходов с возможностью их наращивания посредством модулей ввода-вывода. Обычно модули увеличения числа входов и выходов совместимы для применения как в составе ПЛК, так и устройства РВВ. Последнее имеет один коммуникационный интерфейс для обмена информацией с ПЛК.

Для реализации МП системы АВР к шине обмена данными между устройствами РВВ и ПЛК предъявляются высокие требования: надёжность передачи данных и время реакции 5 – 100 мс (время одного цикла контроллера). В настоящее время среди решений распределённого ввода-вывода можно выделить двух разработчиков — фирмы Schneider Electric и Siemens (табл. 2). Оба решения подходят для построения МП системы АВР.

#### Пример МП системы АВР на основе решения фирмы Schneider Electric

Большой опыт работы с оборудованием фирмы Schneider Electric позволил использовать его в создании МП системы (рис. 2, б). В качестве шины передачи данных применён полевой прото-



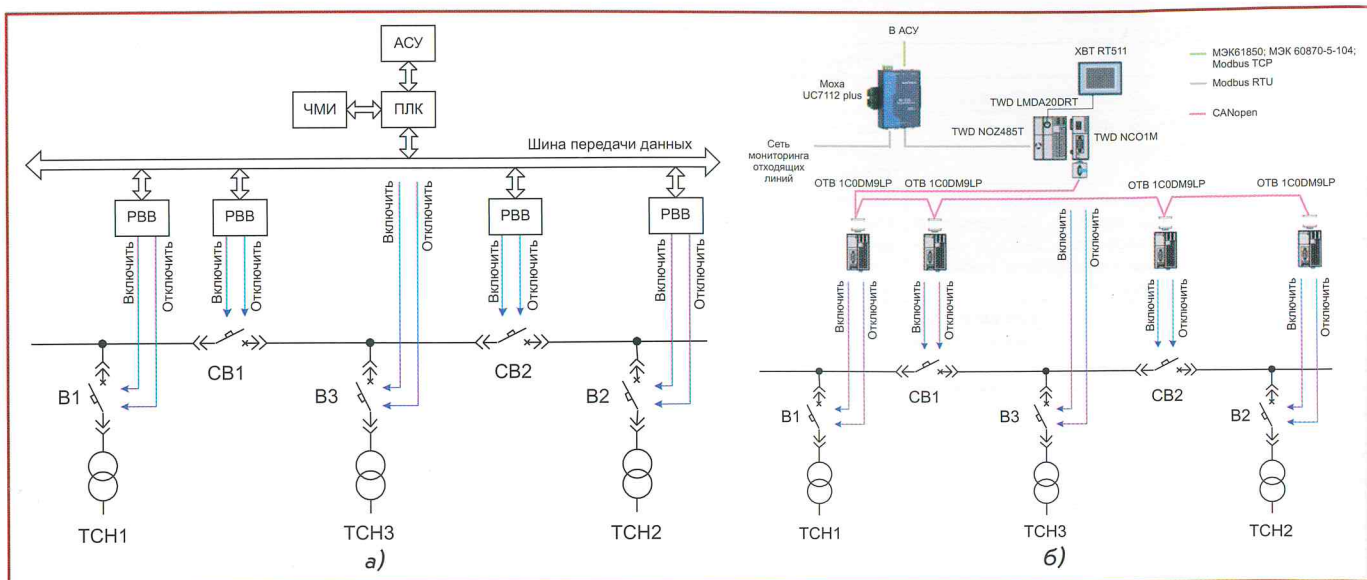


Рис. 2. Структурные схемы МП системы АВР, реализованные по схеме явного резервирования (а) и на базе ПКТ Schneider Electric (б)

Таблица 2

Элемент системы	Решение фирмы Schneider Electric	Решение фирмы Siemens
ПЛК	Серия Twido + интерфейсный модуль CANopen	Серия S7-1200
Устройство PVB	Серии ОТВ	Серии ET200
Протокол передачи данных	CANopen	Profinet

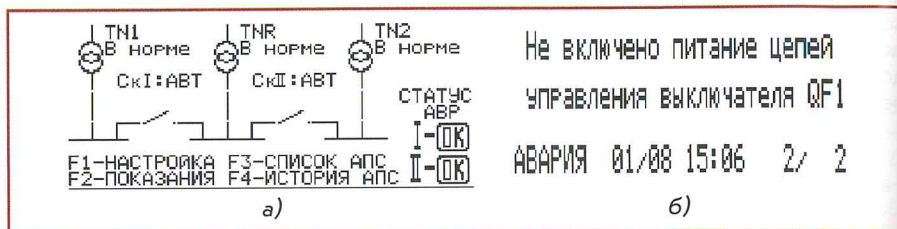


Рис. 3. Экраны панели оператора:

а — состояния силовой схемы; б — диагностического сообщения о неисправности АВР с указанием её причины

кол CANopen, обладающий следующими преимуществами:

- возможностью работы в режиме реального времени (256 дискретных точек ввода-вывода могут быть обработаны на скорости 1 Мбит/с менее чем за 1 мс);
- высокой устойчивостью к помехам;
- арбитражем доступа к сети без потерь пропускной способности;
- надёжностью контроля ошибок передачи и приёма данных;
- широким диапазоном скоростей работы (до 1 Мбит/с).

Протокол CANopen имеет недостаток (небольшое число данных, которое можно передать в одном пакете — до 8 байт), который, однако, не влияет на работу МП системы АВР, так как между ПЛК и каждым устройством PVB происходит обмен информацией о состоянии силовой схемы объёмом 2 байт и команд управления — 2 байт, т. е. вся информация передаётся в одном пакете.

Панель оператора XBT RT511 предназначена для отображения состояния МП системы АВР и задания временных уставок алгоритма (рис. 3, а). Если в процессе работы возникает неисправность, которая препятствует выполнению функций АВР, на панели оператора появляется диагностическое сообщение с указанием причины (рис. 3, б). В результате удаётся до минимума сократить время на локализацию места неисправности. В дополнение на панели оператора можно просмотреть архив событий аварийно-предупредительной сигнализации.

В качестве ПЛК выбран контроллер TWD LMDA20DRT с коммуникационными модулями TWD NOZ485T и TWD NCO1M для подключения к полевым сетям Modbus RTU и CANOpen соответственно. По протоколу Modbus RTU контроллер передаёт информацию в АСУ ТП подстанции. Контроллер TWD LMDA20DRT и устройство PVB типа ОТВ 1C0DM9LP оснащены 12 дискретными входами и 8 выходами. Число входов и выходов может быть максимально расширено до 236 и 232 соответственно.

Коммуникационный контроллер Moxa UC-7112 plus используется для интеграции МП системы АВР с АСУ ТП подстанции и мониторинга состояния выключателей отходящих линий. Коммуникационный контроллер выдаёт информацию по протоколам Modbus RTU/ТСР, МЭК 60870-5-104, МЭК 61850.

Разработанное решение было успешно внедрено на подстанциях 500 кВ: «Енисей» (г. Красноярск), «Удмуртская» (пос. Уром, Удмуртская Республика), «Помары» (пос. Помары, Республика Марий Эл) и на других объектах.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила устройства электроустановок. 7-е изд. — М.: Изд-во НИЦ ЭНАС, 1999.
2. СО 53-34.20.122—2006. Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35 – 750 кВ. — М.: ОАО ФСК ЕЭС, 2006.
3. Беркович М. А. Автоматика энергосистем. — М.: Энергоатомиздат, 1991.