

ЛИТЕРАТУРА

1. Р у ц к и й А. И. Нагрев проводников при коротких замыканиях // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений). – 1968. – № 6. – С. 12–17.
2. Г е р а с и м о в и ч Д. А., Н о с а й р а т Ф а и з. Электромагнитные характеристики шины прямоугольного профиля в переходных режимах // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2000. – № 2. – С. 15–24.
3. Г е р а с и м о в и ч Д. А., Н о с а й р а т Ф а и з. Электромагнитные характеристики многополосных шинопроводов в переходных режимах // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2001. – № 1. – С. 18–25.
4. К и с с е л ь р и н г Ф. Теоретические основы расчета коммутационных аппаратов / Пер. с нем. – М.: Госэнергоиздат, 1949. – 152 с.
5. У л ь я н о в С. А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах. – М.: Энергия, 1970. – 520 с.

Представлена кафедрой
электрических станций

Поступила 31.07.2001

УДК 621.311:658.012.011.56

АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ ЦЕПЕЙ ОПЕРАТИВНОЙ БЛОКИРОВКИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ СТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ

Инженеры ЦАРЕВ Б. П., БУРЛЮК В. В.

Республиканское унитарное предприятие «НИИ средств автоматизации»

Инж. СОЛОМОНИК А. И., канд. техн. наук ЯКОВЛЕВ Г. В.

Республиканское унитарное предприятие «Витебскэнерго»

Инж. РАДЮК В. Л.

Государственный энергетический концерн «Белэнерго»

В Белорусской энергосистеме имеется значительное количество подстанций и распределительных устройств электростанций, оснащенных коммутационными аппаратами (КА) (разъединители, отделители, заземляющие ножи), управление положением которых при переключениях осуществляется оперативным персоналом вручную или с помощью электропривода. Для обеспечения безопасных условий переключений и исключения ошибок персонала в конструкциях коммутационных аппаратов предусмотрены электрические (электромагнитные) и (или) механические блокировки, назначением которых является предотвращение:

отключения или включения тока нагрузки разъединителями и отделителями, за исключением случаев, определяемых ПУЭ [1];

включения выключателей и разъединителей на заземляющие ножи, т. е. подачи напряжения на заземленный участок цепи или заземленные сборные шины;

включения заземляющих ножей на участок цепи (ошиновку), находящийся под напряжением.

Механическая блокировка может быть применена, если приводы КА, подлежащих блокировке, расположены рядом. Их соединяют между собой механизмом, который запирает (блокирует) привод зависимого аппарата, если независимый аппарат включен, и отпирает его при отключении независимого аппарата. Примером может служить блокировка между рабочими и заземляющими ножами разъединителя, обеспечивающая однозначную последовательность манипуляций ими [2].

Более универсальной и гибкой в построении является электрическая система блокировок КА с помощью электромагнитных замков (ЭРЗ) и реле блокировки.

Электромагнитные замки устанавливаются на каждом аппарате и выполняют блокировочную функцию при ручном управлении. На КА, оборудованных электроприводом, дополнительно применяются электромагнитные реле блокировки. Приводом КА можно оперировать только при наличии напряжения опертока на электромагнитном замке или на реле блокировки (далее в тексте эти электроблокировочные элементы названы блок-замками). Данное условие выполняется за счет построения электрической цепи оперативной блокировки (ЦОБ) для каждого блок-замка. Цепь оперативной блокировки КА образуется комбинациями нормально замкнутых (НЗ) и нормально разомкнутых (НР) автоматических сигнальных контактов (КСА) тех КА, которые обеспечивают безопасное переключение данного аппарата. Выполнение ЦОБ определяется логическими булевыми выражениями, удовлетворяющими перечисленным выше условиям ПУЭ.

Объем и сложность ЦОБ зависят от схемы первичных цепей подстанции. Чем крупнее подстанция и выше класс напряжения, тем сложнее ее первичная схема и больше вариантов коммутации. Контроль и поддержка исправного технического состояния традиционных ЦОБ, прежде всего на подстанциях 110–330 кВ, – трудоемкий процесс, от которого зависят надежность, безопасность и быстрота оперативных переключений. Поэтому при создании АСУ ТП на действующих подстанциях к числу наиболее актуальных относится задача автоматизации контроля исправности ЦОБ.

Такая функциональная задача разработана и реализована на подстанции 330 кВ «Витебская» в составе программно-технического комплекса АРМ диспетчера подстанции. Назначением этой задачи является обеспечение оперативно-диспетчерского персонала подстанции достоверной информацией о состоянии ЦОБ и блок-замков коммутационных аппаратов как в ходе текущего технологического процесса, так и в процессе производства работ по вводу (выводу) оборудования, выполняемых в соответствии с бланками оперативных переключений.

Информационной основой задачи является набор логических выражений, описывающих в конъюнктивно-дизъюнктивной форме штатные ЦОБ подстанции. Эти выражения можно обозначить как эталонные блокировочные функции (ЭБФ) для каждого КА. При конфигурировании системы ЭБФ создаются для всех рабочих положений КА с учетом трех- или однофазных приводов. Очевидно, что эталонная блокировочная функция КА является одновременно математическим описанием условий безопасного переключения данного аппарата.

Это означает, что при исправной цепи и наличии безопасных условий переключений на блок-замке проверяемого аппарата должно присутствовать напряжение опертока. В противном случае напряжение на замке будет отсутствовать, т. е. или неисправна цепь, или положение аппаратов не обеспечивает условий безопасности. Поэтому конечной целью задачи контроля исправности ЦОБ является проверка соответствия реального потенциала на блок-замке логическому значению, определяемому ЭБФ.

Если каждый КА, участвующий в построении ЦОБ, принять за условный контакт, то любую цепь можно представить как комбинацию контактов, образующих последовательные и параллельные цепи между источником питания и блок-замком. Такая обобщенная цепь приведена на рис. 1.

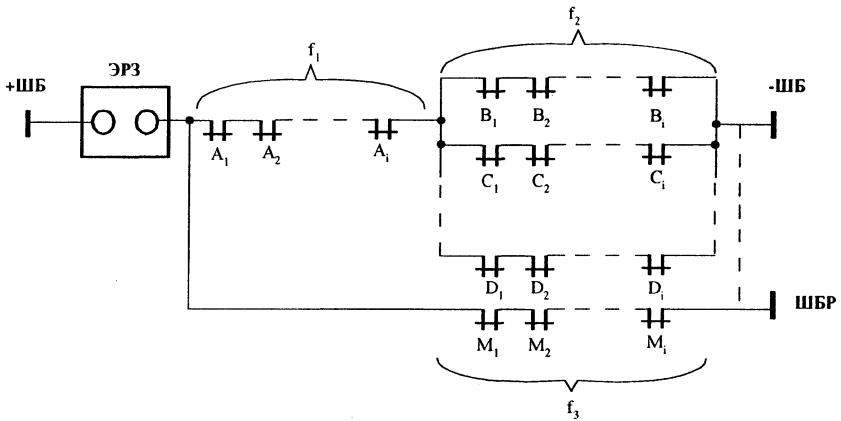


Рис. 1

Логическое выражение, описывающее эту цепь, можно представить

$$F = f_1 \& f_2 \wedge f_3,$$

где F – значение ЭБФ;

f_1 – участок (участки) последовательной цепи,

$$f_1 = \&_{i=1}^n A_i;$$

f_2 – участок (участки) параллельной цепи, включенный в последовательную цепь,

$$f_2 = (\&_{i=1}^n B_i) \wedge (\&_{i=1}^n C_i) \wedge \dots (\&_{i=1}^n D_i);$$

f_3 – общая параллельная цепь,

$$f_3 = \&_{i=1}^n M_i.$$

Сочетание подфункций f_1, f_2, f_3 в составе функции F и наполнение их значениями аргументов A_i, B_i, \dots, M_i , определяющих необходимое положение КА (по условию ВКЛ.–ОТКЛ.), позволяют получить набор эталонных

блокировочных функций, на основе которых выполняется задача контроля ЦОБ.

Сутью выполнения задачи является простой алгоритм, реализованный следующим образом:

а) для обеспечения процесса контроля используются:

телесигналы (ТС) положения всех коммутационных аппаратов первичной схемы (ПС). Источниками ТС являются блок-контакты выключателей, КСА приводов разъединителей, заземляющих ножей, встроенные контактные или бесконтактные датчики и т. п.;

телеизмерения (ТИ) тока отходящих линий и автотрансформаторов для дополнительного контроля состояния выключателей, что позволит повысить достоверность информации (например, по критерию «два из двух») [3];

ТС состояния блок-замков (наличие напряжения на замке – ВКЛ., отсутствие напряжения – ОТКЛ.);

ТС контроля питания ЦОБ (наличие напряжения опертока);

сигналы телеуправления (ТУ), имитирующие отключенное положение воздушных выключателей (ВВ) в нормальном режиме работы ПС;

б) периодически (или по команде оператора) осуществляется съём информации по состоянию ТС и значению ТИ и по их данным определяется пространственное положение КА;

в) по положению выключателей определяются условия работы первичной схемы всех или выбранных присоединений. По результатам этого анализа задается режим проверки каждой ЦОБ и из конфигурационной базы данных выбираются необходимые эталонные блокировочные функции. Например, эталоны для нормального режима работы подстанции, для режима переключений. При необходимости режим работы для выбора группы эталонов может задаваться оператором;

г) с использованием реальных (текущих) ТС и ТИ, определяющих пространственное положение КА, вычисляется значение каждой блокировочной функции.

Для последовательного участка

$$f_1 = \&_{i=1}^n (ТСК_i \infty ТСЭ_i);$$

для параллельных цепей

$$f_2 = \vee_{j=1}^n \{ \&_{i=1}^n (ТТС_i \infty ТСЭ_i) \},$$

где $ТСК_i$ – контрольный (реальный) ТС от КА;

$ТСЭ_i$ – значение ТС данного аппарата в эталоне.

Если каждая пара ТС совпадает по значениям (проверка на эквивалентность ∞), то расчетное значение F блокировочной функции должно быть равно 1. Это означает, что ЦОБ, проверенная (рассчитанная) на основе ЭБФ по пространственному положению КА, условно исправна. При $F = 0$ цепь считается неисправной;

д) для полного подтверждения состояния цепи необходимо провести расчет и проверку значения потенциала на блок-замке коммутационного аппарата (функция F_1).

Если ЭБФ описана нулевыми значениями ТС, то проверка делается через дизъюнктивный расчет по реальным ТС и инверсию полученного результата, т. е.

$$F_1 (\text{ТС ЭРЗ}) = \overline{\bigwedge_{i=1}^n A_i} = \overline{\bigwedge_{i=1}^n \text{ТСК}_i},$$

при $F_1 = 1$ напряжение на замке должно быть, если $F_1 = 0$, то результат расчета недостоверен, что равноценно неисправности.

При описании ЭБФ единичными значениями ТС проверка выполняется через конъюнктивный расчет по реальным ТС и инверсию полученного результата

$$F_1 (\text{ТС ЭРЗ}) = \overline{\big\&_{i=1}^n A_i} = \overline{\big\&_{i=1}^n \text{ТСК}_i}.$$

При $F_1 = 0$ напряжение на замке не должно присутствовать, если $F_1 = 1$, то результат недостоверен. Заключительной операцией является опрос реального потенциала на замке. При совпадении расчетного и реального (физического) потенциалов цепь считается полностью исправной.

Для расчетов потенциалов замков для цепей ОБ, питающихся от шины ШБР (цепи шинных разъединителей ОРУ-110), инверсия для функции F_1 не выполняется, так как конфигурация этих цепей соответствует положению КА;

е) проверка исправности ЦОБ части разъединителей и заземляющих ножей связана с положением выключателей. Если выключатель (выключатели) контролируемого присоединения включен (включены), то независимо от результата расчета функций F и F_1 цепи этого присоединения будут обесточены. Для проверки реального потенциала на каждом замке в ходе выполнения алгоритма в системе проводится дистанционное шунтирование контактов выключателей в проверяемых ЦОБ на короткий интервал времени ($\sim 0,3$ с). Эта процедура разрешается только при положительных результатах расчета значений F и F_1 .

При отключении выключателя шунтирование не требуется и потенциал замка, как ТС ЭРЗ, вводится в систему.

Принципы формирования эталонов (ЭБФ), расчета программных блокировочных функций поясняются на примере выполнения контроля ЦОБ разъединителей линии ВЛ-110, схемы которых приведены на рис. 2.

Для разъединителя ШР1 необходимо сформировать следующие эталоны.

Для нормального режима работы (ВВ включен, линия подключена к шине ИСШ 110):

Этalon	2P _a	2P _b	2P _c	8P _a	8P _b	8P _c	6P	B _a	B _b	B _c	(При питании от ШБ)
$F_{AЭ} =$	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	

Эталон $F_{BЭ} =$	$2P_a$	$2P_b$	$2P_c$	(При питании от ШБР)
	0	0	0	

Эталон $F_{EЭ} =$	$2P_a$	$2P_b$	$2P_c$	$8P_a$	$8P_b$	$8P_c$	$6P$	(При шунтировании контактов ВВ)
	0	0	0	0	0	0	0	

Для режима переключений (ВВ отключен):

Эталон $F_{CЭ} =$	$2P_a$	$2P_b$	$2P_c$	$8P_a$	$8P_b$	$8P_c$	$6P$	B_a	B_b	B_c
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Эталон $F_{DЭ} =$	$2P_a$	$2P_b$	$2P_c$
	1	1	1

Используя приведенные выше правила расчета, получим:

$$F_{AЭ} \infty F_{AK} \begin{matrix} \rightarrow \\ \rightarrow \\ \& \end{matrix} \begin{matrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{matrix} = 1.$$

$F_A = 1$, т. е. ЦОБ ШПІ при питании от ШБ исправна (по расчету); $F_{1A} = 0$, т. е. напряжения на замке не должно быть.

$$F_{BЭ} \infty F_{BK} \begin{matrix} \rightarrow \\ \rightarrow \\ \& \end{matrix} \begin{matrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{matrix} = 1.$$

$F_B = 1$, т. е. ЦОБ ШПІ при питании от ШБР исправна; $F_{1B} = 0$, т. е. напряжения на замке не должно быть.

$$F_{EЭ} \infty F_{EK} \begin{matrix} \rightarrow \\ \rightarrow \\ \& \end{matrix} \begin{matrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{matrix} = 1.$$

$F_E = 1$, т. е. ЦОБ исправна; F_{1E} также = 1, т. е. напряжение на замке должно быть (при шунтировании контактов ВВ).

$$F_{CЭ} \infty F_{CK} \begin{matrix} \rightarrow \\ \rightarrow \\ \& \end{matrix} \begin{matrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{matrix} = 1.$$

$F_C = 1$, т. е. ЦОБ исправна; $F_{1C} = 1$, т. е. напряжение на замке ШПІ должно быть, так как выключатель отключен (режим переключений).

Аналогичным образом формируется библиотека эталонов присоединений подстанций для заданных режимов работы, и на основе эталонов выполняются расчеты в ходе контроля состояния ЦОБ.

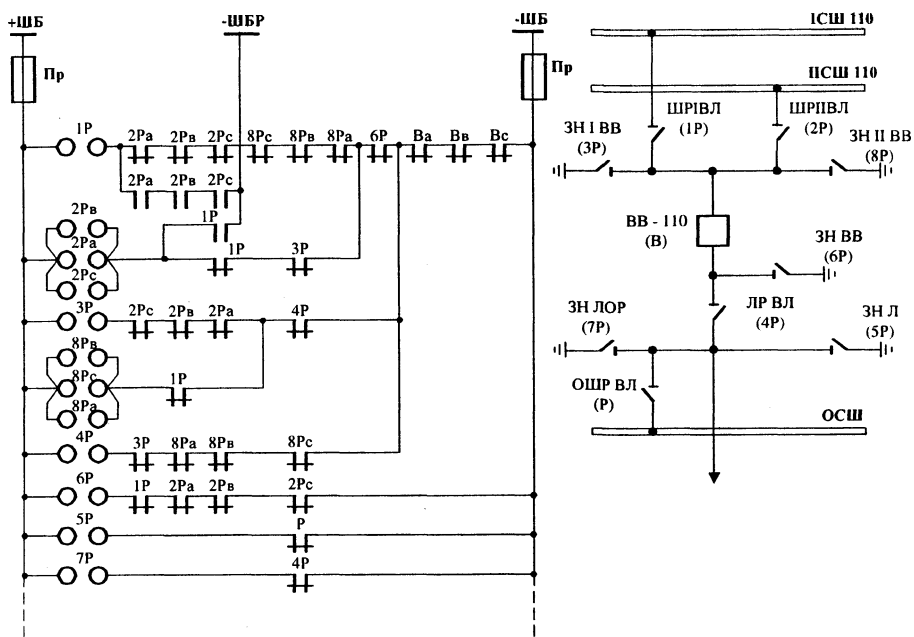


Рис. 2

Таким образом, процесс контроля любой ЦОБ проходит три этапа:

первый – построение программной ЦОБ по пространственному положению КА и расчет результата сравнения с эталонной цепью. Если проверка по первому этапу дает отрицательный результат, т. е. цепь «не собирается», то последующие этапы не выполняются;

второй – расчет ожидаемого потенциала на блок-замке при полученном (рассчитанном) исправном состоянии цепи;

третий – подтверждение расчетного потенциала физическим, снимаемым с блок-замка непосредственно или при шунтировании контактов выключателя в реальной ЦОБ.

Все варианты проверок дают следующие результаты оценки состояния ЦОБ:

Значение F	Значение F_1	Значение ТС ЭРЗ	Вывод
1 Цепь исправна	1 Напряжение должно быть	1 Напряжение есть	ЦОБ исправна Переключение разрешено
1 Цепь исправна	0 Напряжения не должно быть	0 Напряжения нет	ЦОБ исправна Переключение запрещено
1 Цепь исправна	1 Напряжение должно быть	0 Напряжения нет	Реальная ЦОБ неисправна Условная ЦОБ исправна Переключение разрешено с деблокировкой
1 Цепь исправна	0 Напряжения не должно быть	1 Напряжение есть	Реальная ЦОБ неисправна Условная ЦОБ исправна Переключение запрещено
0 Цепь неисправна	–	–	Цепь неисправна Переключения запрещены

Запуск функциональной задачи контроля ЦОБ в нормальном режиме работы подстанции осуществляется:

автоматически по таймеру в соответствии с заданным временным регламентом, но не реже одного раза в смену. Контролируются все цепи; в произвольный момент времени по команде диспетчера. Предоставляется возможность конкретизации набора контролируемых цепей.

В ходе производства работ по переключениям контроль ЦОБ запускается:

перед началом выполнения работ по бланку по инициативе оперативного персонала в соответствии с заданным списком;

автоматически после каждого изменения состояния коммутационных аппаратов.

В процессе и по результатам выполнения функциональной задачи обеспечивается:

контроль наличия напряжения оперативного тока и запрет задачи при его отсутствии;

проверка достоверности ТС коммутационных аппаратов, переключаемых оперативно. При этом недостоверным считается ТС, который дает состояние КА, отличное от заданного, определенного текущей схемой подстанции, т. е. сигнал самопроизвольно (несанкционированно) изменивший свое состояние;

формирование списка ЦОБ, контроль которых не производится из-за выявления недостоверных ТС;

формирование списка неисправных ЦОБ с указанием присоединения;

вывод речевых сообщений при обнаружении неисправной цепи (цепей);

представление данных о состоянии блок-замков в момент контроля и выключателей, количестве ЭБФ для каждой цепи, результатах расчета блокировочных функций F и F_1 , режиме контроля, рекомендаций о возможности переключений;

вывод на отображение и печать схемы ЦОБ, в которой обнаружена неисправность, с выделением цветом выявленного участка;

автоматический учет изменения схемы фиксации коммутационного оборудования после завершения переключений;

ведение архива результатов контроля с возможностью ретроспективного просмотра.

ВЫВОДЫ

1. Разработана и реализована программно-техническими средствами АСУ ТП подстанции 330 кВ «Витебская» функциональная задача автоматического контроля цепей оперативной блокировки.

Задача предназначена для внедрения на действующих подстанциях, оборудованных проводными цепями и устройствами оперативной блокировки на основе блок-контактов коммутационных аппаратов, заданные положения которых создают условия для безопасных переключений.

Выполнение задачи обеспечивает оперативно-диспетчерский и эксплуатационный персонал подстанции информацией о состоянии цепей оперативной блокировки и блок-замков коммутационных аппаратов как в ходе текущего технологического процесса, так и при переключениях, что значительно повышает надежность, безопасность и уровень эксплуатации.

2. Сутью функциональной задачи является расчет блокировочных функций, определяющих:

состояние цепей оперативной блокировки;

ожидаемый и реальный потенциалы на блок-замках коммутационных аппаратов;

условия безопасных переключений.

Расчеты выполняются на основе реальных программных моделей цепей оперативной блокировки, построенных с использованием телесигналов, определяющих пространственное положение коммутационных аппаратов, и эталонных блокировочных функций, формируемых разработчиком или пользователем при конфигурировании системы.

3. Персоналу предоставлены диалоговые средства для запуска задачи, конфигурации данных, просмотра и использования результатов выполнения задачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила устройства электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 1985.

2. Васильев А. А. и др. Электрическая часть станций и подстанций. – М.: Энергоатомиздат, 1990.

3. Анищенко В. А. Совместный контроль достоверности сигнализации положения коммутационных аппаратов и измерений аналоговых переменных // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 1995. – № 3–4.

Поступила 31.07.2001

УДК 621.311.017

ОБ ОПТИМАЛЬНОЙ ЗАГРУЗКЕ ДИСКРЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Канд. техн. наук, доц. ФУРСАНОВ М. И.

Белорусская государственная политехническая академия

Оптимальные уровни потерь электрической энергии в сетях могут быть обеспечены только в условиях оптимальных режимов работы отдельных звеньев энергосистем [1, 2]. Для соблюдения таких условий необходимо уметь поддерживать оптимальную загрузку [3] отдельных элементов электрических сетей, которая, учитывая конфигурацию графиков нагрузок, во временных координатах будет различной.

Определим понятие и количественные характеристики искомых параметров.

Известно, что под «оптимальной» понимается величина, соответствующая принятому критерию оптимальности [4].

Исходя из данного положения, оптимальная загрузка функционально разных элементов электрических сетей будет зависеть от рассматриваемых