

УДК: 629.5.064.5: 621.311

СИНТЕЗ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ВАЛО- И ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНЫМИ УСТАНОВКАМИ

Шевченко В. А., к.т.н., заведующий кафедры «Техническая эксплуатация судов» Национального университета «Одесская морская академия», Украина, e-mail: vash4891@gmail.com, ORCID:0000-0003-3229-1909

В работе получены алгоритмы функционирования локальных подсистем управления вало- и дизель-генераторами. Верификация алгоритмов состоит из трех этапов: построение графа состояний; описание при помощи переключаемых функций состояний системы и условий переходов между ними; синтез логических схем алгоритмов работы системы управления СЭС. Сочетание графа-автомата и ЛСА является функционально полным набором верификации для программиста, достаточным для разработки программного обеспечения с учетом спецификации аппаратной части. Рассмотренные функциональные алгоритмы системы управления СЭС являются своеобразным фундаментом, на котором целесообразно строить алгоритмы оптимизации, толерантного к неисправностям и адаптивного управления.

Ключевые слова: электроэнергетическая система, алгоритмы управления, граф-автомат, верификация, предикативное состояние.

DOI: 10.33815/2313-4763.2018.2.19.-?

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами. Непрерывное развитие торгового и специализированного флота влечет за собой рост мощности и усложнение конфигурации судовых электроэнергетических установок (СЭЭС) [1]. Такие изменения требуют совершенствования систем управления СЭЭС с целью повышения их эффективности по таким критериям как экономичность и экологичность, не в ущерб надежности и бесперебойности электроснабжения [2].

Поскольку управление представляет собой процесс сбора, обработки и передачи информации, то всякий раз сутью разработки новой автоматизированной системы управления электроэнергетической системой (АСУ ЭЭС) должно быть совершенствование потоков информации, а также системы выработки и принятия оперативных решений.

Главной и наиболее трудоемкой задачей при анализе и синтезе любой автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) является описание на формальном языке функционирования АСУ и определение основных ее характеристик. Этот этап называют алгоритмическим синтезом (анализом). Он начинается с решения задач, связанных с определением архитектуры АСУ ЭЭС, установлением основных принципов взаимодействия АСУ и ЭЭС, определением особенностей обмена информацией между частями системы (подсистемой, аппаратурой и т.д.) [3].

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы. В работах [4,5] положено начало исследованию принципов построения и описания систем управления СЭЭС в части синтеза верхнего уровня системы – локального координатора.

Ряд работ [6-8] посвящено разработке и оптимизации режимов работы СЭЭС, где отмечена необходимость исследований в части совершенствования не только главной управляющей системы верхнего уровня, но и локальных подсистем управления вало- и дизель-генераторами.

Совершенствование алгоритмического обеспечения в комбинации с использованием современной цифровой техники в судовой электроэнергетике дает большие возможности в развитии автоматизации процессов управления, контроля и защиты особенно на судах с комбинированными и гибридными электрическими пропульсивными комплексами [9–11], а также на судах с системами динамического позиционирования [12, 13], где электроэнергетическая система зачастую неразрывно связана с электрическим пропульсивным комплексом.

Формулирование целей статьи (постановка задачи). Целью данного исследования является синтез алгоритмов управления вало- и дизель-генераторными установками в двухуровневой системе управления судовой электроэнергетической установкой.

Изложение материала исследования с обоснованием полученных научных результатов. В соответствии с принятым в [4,5] принципом функционально-структурной иерархии системы управления СЭЭС каждая локальная подсистема $LS(i)$ должна быть активным элементом, для которого имеет место строгая периодичность выборки данных о состоянии управляемого объекта $GA(i)$ и данных, поступающих от локального координатора в соответствии с протоколом обмена, рис. 1,

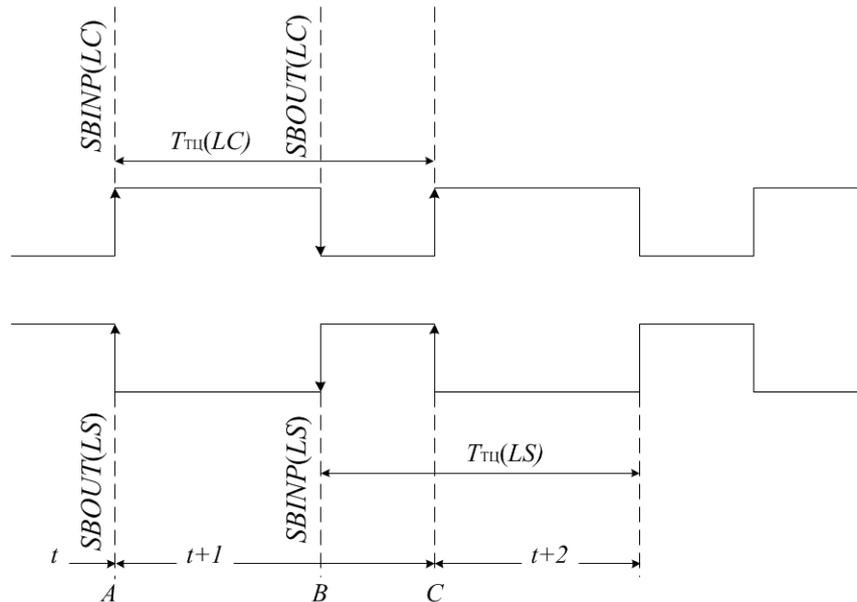


Рисунок 1 – Правила обмена данными между подсистемами

где в момент времени t_A с наступлением нового $t+1$ технологического цикла координатора $T_{ци}(LC)$ подсистемы нижнего уровня работают в режиме ввода $SBINP(LC)$. Затем, по истечении времени t_{AB} работы подпрограммы супервизора $SBSVRLC(i)$, координатор передает данные подпрограммы $SBOUT(LC)$ в локальные подсистемы, у которых в момент t_B наступает время нового технологического цикла. Время t_{BC} соответствует времени выполнения подпрограммы $SBSVRLS(i)$ супервизора локальной подсистемы и т.д.

Организацию периодического обслуживания введем в перечень задач программы супервизора $PRSVRLS(i)$ локальной подсистемы $LS(i)$. В качестве способа организации выберем способ по прерыванию с периодом дискретности $T_{ци}(LS)$, при котором супервизор в каждом новом $t+1$ такте должен проанализировать входную информацию и определить путь перехода объекта (процесса) в новое (или сохранить текущее) состояние.

Первый этап верификации выполним с помощью графов состояний, рис. 2, 3. Оба графа полностью заданы ($N_{GR}(ДДГ=0,13; N_{GR}(ВВГ=0,9)$) и относятся к классу неоднородных.

Каждая вершина графов сопоставлена с вполне определенным предикативным состоянием $LS(i, j), i \in N_m, N_m = \overline{1,4}$, причем $j \in \overline{0,13}$ для дизель-генераторной локальной подсистемы $j \in \overline{0,8}$ – для валогенераторной локальной подсистемы. Здесь под термином «предикативные состояния» будем понимать систему предикатов, лишенных парадоксов в том смысле, что каждое состояние должно описываться отличным от другого, полным и не противоречивым набором-словом признака, а для установления состояния STS должен

существовать вполне определенный алгоритм $SBL(i) \in SBL(N_{LC})$. Поэтому приступим к синтезу множества слов признаков $\bigcup_{j=1}^{13} LS(i, j), i \in \overline{1,4}$ состояний дизель-генераторной локальной подсистемы.

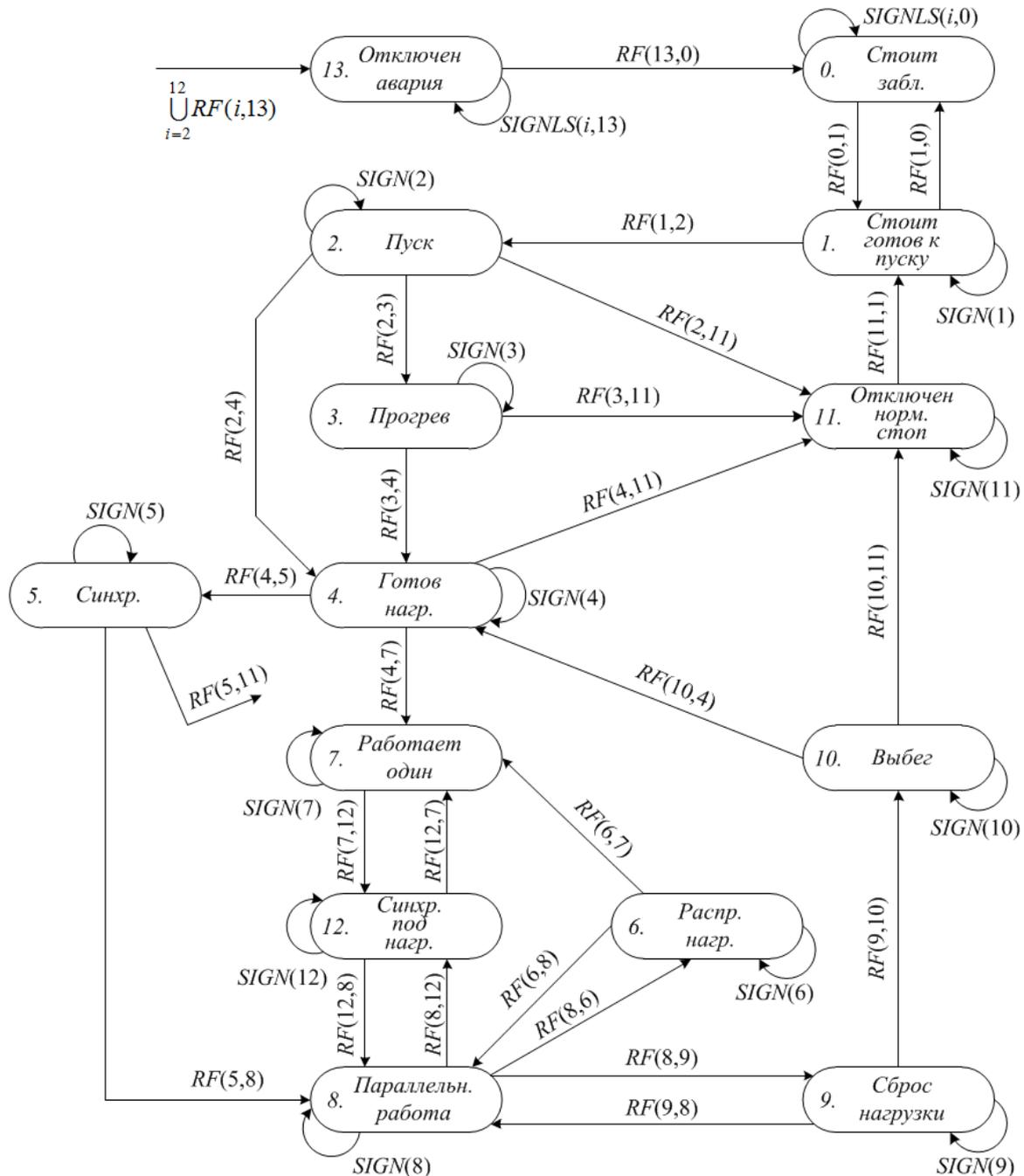


Рисунок 2 – Граф состояний дизель-генераторной локальной подсистемы

Состояние $LS(i, 0), i \in \overline{1,3}$ поставим в соответствие случаю, когда i -ый ДГ либо заблокирован $INH = И$ либо выбран ручной $MNL = И$ вид управления, либо остановлен в связи с аварией $MEM = И$ и при любом из этих трех условий частота вращения ДГ равна нулю $REV(0) = И$.

Порождение предикатов $\{INH, MNL, REV\}$ связано с обработкой сигналов, поступающих от органов управления и датчика оборотов, а предикат $MEM(t+1)$ свяжем с

обобщенной аварией $EM(N_{G\neq}, N_{EM})$ в $t+1$ -м такте, ее памятью в t -м такте $MEM(t)$ и положением сигнала сброса в $t+1$ -м такте $RST(t+1)$.

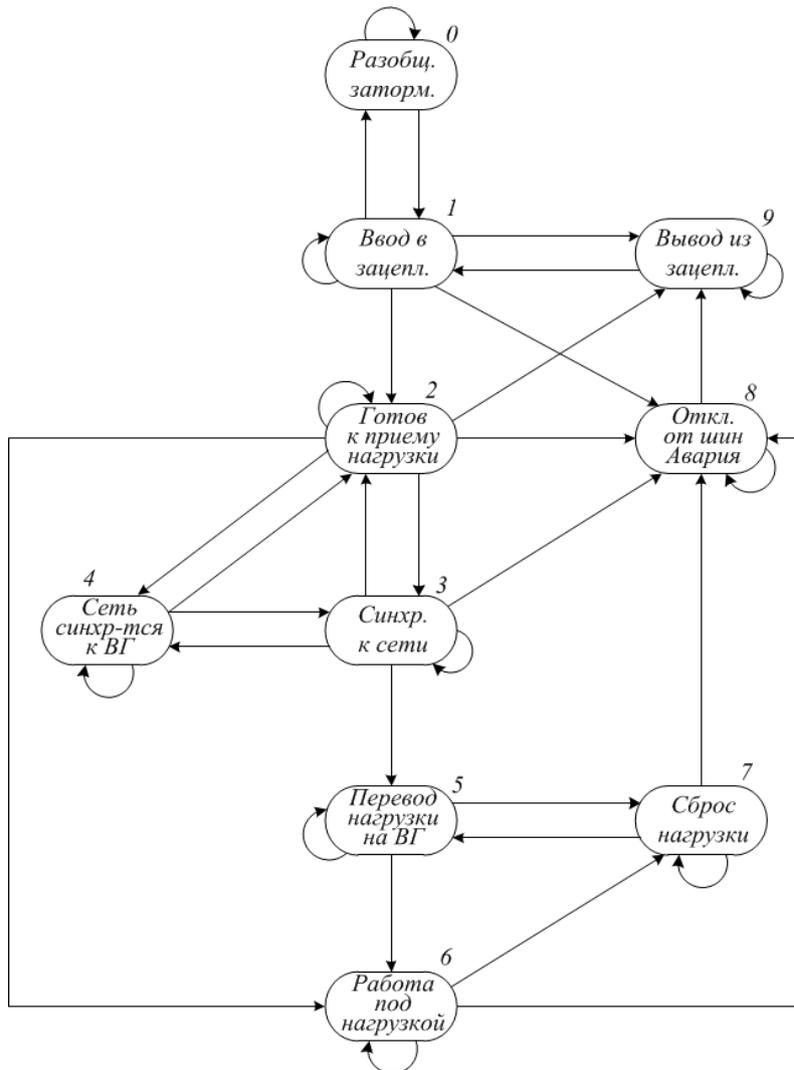


Рисунок 3 – Граф состояний валогенераторной подсистемы

С учетом изложенного, резултатную функцию $RFMEM_i$, порождающую память аварии $WRMEM$, запишем в следующем виде:

$$RFMEM \approx \left(\bigvee_{i,k=1}^{m(n+c)} x(i,k) \vee MEM(t) \& \overline{RST}(t+1) \right) \rightarrow WRMEM,$$

а правило установления состояния $LS(i,0)$ в виде:

$$RFLS(i,0) \approx (INH \vee MHL \vee MEM) \& REV(0) \rightarrow LS(i,0).$$

Второе состояние $LS(i,0)$ «ДГ стоит и готов к пуску» должно характеризоваться ложностью всех трех предикатов $INH \vee MHL \vee MEM \neq И$, истинностью $REV(0)$ и отсутствием памяти нормального $MST(t+1)$ и экстренного $MSTQ(t+1)$ пуска ДГ, т.е. признак состояния $LS(i,1)$ можно описать следующим словом:

$$SIGNLS (i,1) = \overline{INH} \& \overline{MNL} \& \overline{MEM} \& REV (0) \& \overline{MST} \& \overline{MSTQ}$$

Здесь встает задача синтеза функций, порождающих предикаты MST и $MSTQ$. Для ее решения определим предикативный алфавит в виде набора $\{ST(t+1), STQ(t+1), MST(t+1), MSTQ(t+1), SP(t+1), SPQ(t+1), MSP(t+1), MSPQ(t+1), CR(t+1)\}$, в который входят как предикаты пуска, так и остановки, поскольку порождение их является взаимозависимым. Причем в отдельных случаях при прочих равных условиях предпочтение должно отдаваться порождению предикатов остановки. С учетом этих условий запишем систему результатных функций:

$$RFMSPQ \simeq MSPQ(t) \vee SPQ(t+1) \vee MEM(t+1) \& CR \rightarrow WRMSPQ ;$$

$$RFMSP \simeq (MSP(t) \& \overline{ST}(t+1) \vee SP(t+1)) \rightarrow WRMSP ;$$

$$RFMSTQ \simeq$$

$$(MSTQ(t) \vee STQ(t+1) \& \overline{MSPQ}(t+1) \& \overline{MSP}(t+1)) \rightarrow WRMSTQ ;$$

$$RFMST \simeq (MST(t) \vee ST(t+1) \& \overline{MSPQ}(t+1) \& \overline{MSP}(t+1)) \rightarrow WRMST ,$$

где CR – предикат, связанный с критической аварией ГА.

Переход $LS(i,1) \rightarrow LS(i,2)$ свяжем с порождением одного из предикатов $MST \oplus MSTQ = И$, а к признакам состояния $LS(i,2)$ отнесем отсутствие сигнала об удавшемся пуске $REV(1) \neq И$ и сигнала об истечении времени, отведенного на пуск дизеля $BST \neq И$. В таком случае полное слово-признак состояния $LS(i,2)$ будет иметь вид

$$SIGNLS (i,2) = (MSTQ \vee MST \& \overline{REV}(1) \& \overline{BST})$$

Полученные результатные функции и слова-признаки дают возможность определить структуру алгоритмов подпрограмм $SBLs(i,0)$ и $SBLs(i,1)$ супервизора локальной подсистемы:

$$SBLs(i,0) = S_H \{SBINP.SBMEM\} .SIGNLS(i,0) \overset{1}{\uparrow} \omega \overset{K1}{\downarrow} \downarrow SIGNLS(i,0) \overset{2}{\uparrow}$$

$$WRLS(i,1) \omega \overset{K2}{\uparrow} \downarrow \downarrow JPRCLS \downarrow S_K$$

$$SBLs(i,1) = S_H \{SBINP.SBMEM.SBMST.SBMSTQ\} .SIGNLS(i,1) \overset{1}{\uparrow}$$

$$\omega \overset{K1}{\uparrow} \downarrow \downarrow SIGNLS(i,0) \overset{2}{\uparrow} WRLS(i,0) \omega \overset{K2}{\uparrow} \downarrow \downarrow SIGNLS(i,2) \overset{3}{\uparrow} WRLS(i,2).$$

$$WRBST.JPRST . \omega \overset{K1}{\uparrow} \downarrow \downarrow JPRCLS \downarrow S_K,$$

где поиск состояний детерминирован разрешенными переходами графа. Если же перебор разрешенных переходов исчерпан, то алгоритм сводится к программе $PRCLS$ определения текущего состояния.

Если теперь условию перехода $LS(i,2) \rightarrow LS(i,3)$ поставить в соответствие удавшийся запуск $REV(1) = И$ и недостаточную для принятия нагрузки температуру смазочного масла $TOLMN \neq И$, а также ограничить процесс прогрева временем $BLS(i,3)$, то слово-признак состояния $LS(i,3)$ будет иметь вид:

$$SIGNLS (i,3) = (MSTQ \vee MST) \& REV(1) \& \overline{TOLMN} \& \overline{BLS}(i,3)$$

Из состояния $LS(i,2)$ возможен переход в $LS(i,13)$, если появилась необходимость остановки $MSP = И$ ДГ в связи с его аварией $MEM = И$ или командой на экстренную $MSPQ = И$ остановку. Если учесть тот факт, что ДГ при этом отключен от ГРЩ $SWG \neq И$ и имеет некоторую частоту вращения, связанную с пуском, то слово-признак состояния $LS(i,13)$ будет иметь вид:

$$SIGNLS(i,13) = \overline{SWG} \ \& \ \overline{REV}(0) \ \& \ (MSP \ \& \ MEM \ \vee \ MSPQ)$$

Отмена пуска может произойти также при нормальных условиях по команде оператора $MSP = И$. В этом случае система должна перейти в состояние $LS(i,11)$, признак которого опишем следующим словом:

$$SIGNLS(i,11) = (\overline{SWG} \ \& \ \overline{REV}(0) \ \& \ \overline{MEM} \ \& \ \overline{MSPQ} \ \& \ MSP)$$

При экстренном запуске возможен прямой переход из $LS(i,2)$ в $LS(i,4)$, признаками которого является отсутствие команд на остановку ДГ, наличие номинальной частоты вращения $REV(2) = И$ и напряжения $VLT = И$, на отсутствие синхронизации $MSY \neq И$, т.е.:

$$SIGNLS(i,4) = \overline{SWG} \ \& \ \overline{MSY} \ \& \ \overline{MSP} \ \& \ \overline{MSPQ} \ \& \ REV(2) \ \& \ VLT$$

С учетом изложенного алгоритм подпрограммы $SBLS(i,2)$ супервизора представим в виде следующей ЛСА:

$$\begin{aligned} SBLS(i,2) = S_H \{ & SBINP.SBMEM.SBMSPQ.SBMSP.SBMSTQ \}.SIGNLS(i,2) \overset{1}{\uparrow} \\ & JPR(ST \vee STQ) \overset{K}{\omega} \overset{1}{\uparrow} \downarrow \overset{K}{\omega} \overset{2}{\uparrow} SIGNLS(i,3) \overset{2}{\uparrow} WRLS(i,3).JPR(ST \vee STQ) \overset{K}{\omega} \overset{1}{\uparrow} \\ & SIGNLS(i,11) \overset{3}{\uparrow} \overset{K}{\omega} \downarrow WRLS(i,11).JPR(SP \vee SPQ) \overset{K}{\omega} \overset{3}{\uparrow} \downarrow \overset{K}{\omega} \overset{4}{\uparrow} SIGNLS(i,4) \overset{4}{\uparrow} \\ & WRLS(i,4) \overset{K}{\omega} \overset{4}{\uparrow} \downarrow \overset{K}{\omega} \overset{5}{\uparrow} SIGNLS(i,13) \overset{5}{\uparrow} WRLS(i,13).JPR(SP \vee SPQ) \overset{K}{\omega} \overset{4}{\uparrow} \\ & \downarrow \overset{5}{\omega} JPRCLS \downarrow \overset{K}{\omega} S_K. \end{aligned}$$

Из этой ЛСА видно, что модуль $SBLS(i,2)$ тесно связан с программами пуска и остановки дизель-генератора.

В состояние $LS(i,5)$ из $LS(i,4)$ локальная подсистема может перейти только с разрешения локального координатора по сигналу $MSY = И$. При этом должны отсутствовать предикаты остановки ДГ, т.е.:

$$SIGNLS(i,5) = REV(2) \ \& \ VLT \ \& \ MSY \ \& \ \overline{SWG} \ \& \ \overline{MSP} \ \& \ \overline{MSPQ}.$$

В случае обесточивания ГРЩ к шинам подключается тот ДГ, который первый готов к приему нагрузки. Поэтому из $LS(i,4)$ возможен переход в $LS(i,7)$ без синхронизации. Слово-признак состояния $LS(i,7)$ запишем в следующем виде:

$$SIGNLS(i,7) = SWG \ \& \ WRK(1) \ \& \ \overline{MSY},$$

где $WRK(1)$ и MSY – предикаты, поступающие в локальную подсистему из координатора в режиме обмена информацией.

С учетом изложенного получим следующие алгоритмы:

$$SBLS(i,3) = S_H \{SBINP.SBMEM.SBMSPQ.SBMSP.SBMSTQ\}.$$

$$SIGNLS(i,3) \overset{1}{\uparrow} \overset{4}{\downarrow} JPR(ST \vee STQ) \overset{K}{\omega} \overset{1}{\uparrow} \overset{2}{\downarrow} SIGNLS(i,11) \overset{2}{\uparrow} WRLS(i,11).$$

$$JPRSP \overset{K}{\omega} \overset{2}{\uparrow} \overset{3}{\downarrow} SIGNLS(i,13) \overset{3}{\uparrow} JPR(SP \vee SPQ).WRLS(i,13) \overset{K}{\omega} \overset{4}{\uparrow}$$

$$\overset{3}{\downarrow} (TOLMN \vee BLS(i,3)) \overset{5}{\uparrow} \overset{4}{\omega} \overset{5}{\downarrow} JPRCLS \overset{K}{\downarrow} S_K.$$

$$SBLS(i,4) = S_H \{SBINP.SBMEM.SBMSPQ.SBMSP\}.SIGNLS(i,4) \overset{1}{\uparrow}$$

$$BLC \overset{K}{\uparrow} ONSWG \overset{K}{\omega} \overset{1}{\uparrow} \overset{2}{\downarrow} SIGNLS(i,5) \overset{2}{\uparrow} WRLS(i,5).JPRSY \overset{K}{\omega} \overset{3}{\uparrow}$$

$$\overset{2}{\downarrow} SIGNLS(i,7) \overset{3}{\uparrow} WRLS(i,7) \overset{K}{\omega} \overset{3}{\downarrow} SIGNLS(i,11) \overset{4}{\uparrow} WRLS(i,11)$$

$$\overset{K}{\omega} \overset{4}{\downarrow} SIGNLS(i,13) \overset{5}{\uparrow} WRLS(i,13) \overset{K}{\omega} \overset{5}{\downarrow} JPRCLS \overset{K}{\downarrow} S_K,$$

где BLC – предикат, свидетельствующий об отсутствии напряжения на шинах ГРЩ.

Состояние $LS(i,5)$ сопровождается выполнением процесса синхронизации, который может быть отменен в связи с аварией синхронизируемого ГА, командами оператора на остановку или неудавшейся по времени BSY синхронизации. В этом случае процесс переходит либо в $LS(i,13)$, либо в $LS(i,11)$. При удавшейся синхронизации система переходит в состояние $LS(i,8)$, характеризующееся признаком

$$SIGNLS(i,8) = \overline{WRK}(1) \& \overline{SWG} \& \overline{MSH} \& \overline{MUNL} \& \overline{MSY},$$

т.е., если i -ый ДГ подключен к ГРЩ $SWG = И$ и он не один $WRK(1) \neq И$, и при этом от координатора не поступила команда на распределение $MSH \neq И$ или сброс $MUNL \neq И$ нагрузки, а также на синхронизацию (например, к валогенератору) под нагрузкой.

Переход от $LS(i,8)$ к $LS(i,6)$ происходит по решению координатора $MSH(i,k) = И$. Состояние $LS(i,6)$ будет характеризоваться признаком

$$SIGNLS(i,6) = \overline{WRK}(1) \& \overline{SWG} \& \overline{MSH},$$

т.е. к шинам должен быть подключен кроме i -го ГА $SWG(i) = И$ еще, по крайней мере, один ГА $WRK(1) \neq И$.

Переход от $LS(i,8)$ к $LS(i,6)$ инициируется командой $MUNL(i,k)$ при этом

$$SIGNLS(i,9) = \overline{WRK}(1) \& \overline{SWG} \& \overline{MUNL}(i,k).$$

От процесса сброса нагрузки (при отключении i -го ГА от шин) подсистема может перейти либо в режим выбега $LS(i,10)$ при нормальной остановке, либо в состояние $LS(i,13)$ при аварийной остановке.

Основными прикладными программами, к которым постоянно обращается программа супервизора локальной подсистемы являются программы пуска $PRST$, остановки $PRSP$ и синхронизации $PRSY$. Особенностям их синтеза посвящены следующие работы.

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению. В работе получены алгоритмы функционирования локальных подсистем вало- и дизель-генератора. Верификация алгоритмов состоит из трех этапов: построение графа состояний; описание при помощи переключательных функций состояний системы и условий переходов между ними; синтез логических схем алгоритмов работы системы управления СЭС.

Сочетание графа-автомата и ЛСА является функционально полным набором верификации для программиста, достаточным для разработки программного обеспечения с учетом спецификации аппаратной части.

Рассмотренные функциональные алгоритмы системы управления СЭС являются своеобразным фундаментом, на котором целесообразно строить алгоритмы оптимизации, толерантного к неисправностям и адаптивного управления.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mukund R. Patel. Shipboard electrical power systems. CRC Press, 2012. 370 p.
2. Захарченко В. Н. Решение задач управления судовой электроэнергетической установкой при изменении нагрузки / В. Н. Захарченко, В. А. Шевченко // Судовые энергетические установки: науч. –техн. сб. – 2015. – Вып. 36. Одесса: ОНМА. – С. 74-82.
3. Пипченко А.Н. Принципы построения и основы наладки контроллеров и систем автоматики: Учебное пособие / Пипченко А.Н., Пономаренко В.В., Шевченко В.А. – Одесса: ТЭС, 2010. – 592 с. ISBN 978-966-2389-15-9
4. Шевченко В. А. Верификация функциональных алгоритмов системы управления многоагрегатной судовой электрической станцией / В. А. Шевченко // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб., 2015, Вып. 21, с. 70-76.
5. Шевченко В. А. Способ верификации функциональных алгоритмов системы управления многоагрегатной судовой электрической станцией / В. А. Шевченко // Науковий вісник Херсонської державної морської академії: науч. -техн. сб., 2015, Вып. 1, с. 296-301.
6. Clarke, N.J. (2004), Marine electrical power systems, 2nd Intern. Conference on Power Electronics, Machines and Drives, 2004 (PEMD 2004)
7. Fossen, T.I. (2002), Marine Control Systems: Guidance, Navigation and Control of Ships, Rigs and Underwater Vehicles, Marine Cybernetics AS, Trondheim, Norway
8. Milosevic, M and G. Andersson (2005), Generation Control in Small Isolated Power Systems, North American Power Symposium (NAPS), Ames, USA, 2005
9. Budashko, V. Decision support system's concept for design of combined propulsion complexes [Text] / V. Budashko, V. Nikolskyi, O. Onishchenko, S. Khniunin / Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – V. 3. – № 8(81). – P. 10 – 21. Doi:10.15587/1729-4061.2016.72543.
10. Budashko, V. V. Design of the three-level multicriterial strategy of hybrid marine power plant control for a combined propulsion complex [Text] / V. V. Budashko / Electrical engineering & electromechanics. – 2017. – №2. – P. 62 – 72. Doi:10.20998/2074-272X.2017.2.10.
11. Budashko, V. V. Conceptualization of research of power hybrid electric power complexes [Text] / O. V. Glazeva, V. V. Budashko, S. F. Samonov // Technology audit and production reserves. – 2016. – V. 5. – 1(31). – 63-73. Doi:10.15587/2312-8372.2016.81407.
12. Будашко, В. В. Имплементарный подход при моделировании энергетических процессов динамически позиционирующего судна [Текст] / В. В. Будашко // Електротехніка і Електромеханіка. 2015. №6. – С. 20–25. ISSN 2074–272X. Doi:10.20998/2074–272X.2015.6.02/50764.
13. Будашко В. В. Удосконалення системи управління підрулюючим пристроєм комбінованого пропульсивного комплексу / В. В. Будашко, О. А. Онищенко // Вісник Нац. техн. ун-ту «ХПІ» : зб. наук. пр. Темат. вип. : Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії. – Харків : НТУ «ХПІ». – 2014. – № 38 (1081). – С. 45-51.

REFERENCES

1. Mukund R. Patel. Shipboard electrical power systems. CRC Press, 2012. 370 p.
2. Zakharchenko, V.N. *Resheniye zadach upravleniya sudovoy elektroenergeticheskoy ustanovkoy pri izmenenii nagruzki* [Ship's electrical power plant control tasks solving when load changing] [Text] . V.N. Zakharchenko, V.A. Shevchenko . Ship's power plants: nauchn. tehn. sb. – 2015. – Iss. 36. Odesa: ONMA. – p. 74-82.
3. Pipchenko, A.N., Ponomarenko, V.V., Shevchenko V.A. (2010). *Principy postroeniya i osnovy naladki kontrollerov i sistem avtomatiki*. Odessa : «TES»
4. Shevchenko, V.A. *Verifikatsiya funktsyonal'nykh algoritmov systemy upravleniya mnogoagregatnoy sudovoy elektricheskoy stantsiey* [Ship's multiunit electrical power plant control system algorithms verification] [Text. Ship's technical means automatization: nauchn. tehn. sb. – 2015. – Iss. 21. Odesa: ONMA. – p. 70-76.

5. Shevchenko, V.A. *Sposob verifikacii funkcional'nyh algoritmov sistemy upravlenija mnogoagregatnoj sudovoj jelektricheskoy stanciej* [Text. Nauk. Vistnyk KDMA: nauchn. tehn. sb. – 2015. – Iss. 1. – p. 296-301.
6. Clarke, N.J. (2004), Marine electrical power systems, 2nd Intern. Conference on Power Electronics, Machines and Drives, 2004 (PEMD 2004)
7. Fossen, T.I. (2002), Marine Control Systems: Guidance, Navigation and Control of Ships, Rigs and Underwater Vehicles, Marine Cybernetics AS, Trondheim, Norway
8. Milosevic, M and G. Andersson (2005), Generation Control in Small Isolated Power Systems, North American Power Symposium (NAPS), Ames, USA, 2005
9. Budashko, V. *Decision support system's concept for design of combined propulsion complexes* [Text] . V. Budashko, V. Nikolskyi, O. Onishchenko, S. Khniunin . Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – V. 3. – № 8(81). – P. 10 – 21. Doi:10.15587/1729-4061.2016.72543.
10. Budashko, V. V. *Design of the three-level multicriterial strategy of hybrid marine power plant control for a combined propulsion complex* [Text] . V. V. Budashko . Electrical engineering & electromechanics. – 2017. – №2. – P. 62 – 72. Doi:10.20998/2074-272X.2017.2.10.
11. Budashko, V. V. *Conceptualization of research of power hybrid electric power complexes* [Text] . O. V. Glazeva, V. V. Budashko, S. F. Samonov . Technology audit and production reserves. – 2016. – V. 5. – 1(31). – 63-73. Doi:10.15587/2312-8372.2016.81407.
12. Budashko, V. V. *Implementarnyj podhod pri modelirovanii jenergeticheskikh processov dinamicheski pozicionirujushhego sudna*. Electrical engineering & electromechanics. – 2015. – №6. – P. 20 – 25. ISSN 2074–272X. Doi:10.20998/2074–272X.2015.6.02/50764.
13. Budashko, V. V. *Udoskonalennya sy'stemy` upravlinnya pidrulyuyuchy`m pry`stroyem kombinovanogo propul'sy`vnogo kompleksu*. V. Budashko, O. Onishchenko. Visny`k Nacz. tehn. un-tu «XPI» : zb. nauk. pr. Temat. vy`p. : Elektry`chni mashy`ny` ta elektromexanichne peretvorennya energiyi. – Kharkiv : NTU «KPI». – 2014. – № 38 (1081). – P. 45-51.

Шевченко В. А. У роботі отримано алгоритми функціонування локальних підсистем управління вало- та дизель-генераторами. Верифікація алгоритмів складається з трьох етапів: побудова графу станів; опис за допомогою перемикаючих функцій станів системи та умов переходів між ними; синтез логічних схем алгоритмів роботи системи управління СЕС. Поєднання графу-автомату та ЛСА є функціонально повним набором верифікації для програміста, достатнім для розробки програмного забезпечення з урахуванням специфікації апаратної частини. Розглянуті функціональні алгоритми системи управління СЕС є своєрідним фундаментом, на якому доцільно будувати алгоритми оптимізації, толерантного до несправностей та адаптивного управління.
Ключові слова: електроенергетична система, алгоритми управління, граф-автомат, верифікація, предикативний стан.

Shevchenko V. A. *Shaft- and diesel-generators local control subsystems operation algorithms were received in paper. Algorithms verification consists of three stages: states graph creation; description of the states and transfer between them using switching functions; electrical power plant control system algorithm logic diagram synthesis. Combination of graph-automat and ALD is functionally complete set of verification for programmer, necessary for software development taking in consideration the hardware specifics. Considered electrical power plant control system function algorithms are the basis for development an optimization algorithms of fault-tolerant and adoptive control.*

Keywords: electrical power system, control algorithms, graph-automate, verification, predicative state.

© Шевченко В. А.

Статтю прийнято
до редакції 6.11.18