

ЧАСТОТНО-ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНЫЙ РЕГУЛЯТОР ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ С АВТОМАТИЧЕСКИМ РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ КАНАЛОВ УПРАВЛЕНИЯ

О.Г. Брылина, Л.И. Цытович

г. Челябинск, Южно-Уральский государственный университет

FREQUENCY-WIDTH-PULSE TYPE REGULATOR OF THE ALTERNATING VOLTAGE WITH AUTOMATIC RESERVATION OF CONTROL CHANNELS

O.G. Brylina, L.I. Tsitovich

Chelyabinsk, South Ural State University

Рассматривается принцип построения частотно-широотно-импульсного регулятора переменного напряжения с синхронной системой управления на базе многозонного интегрирующего развертывающего преобразователя. Приведена структурная схема регулятора и временные диаграммы его сигналов для исправного состояния системы управления и катастрофического отказа одного из каналов регулирования.

Ключевые слова: регулятор переменного напряжения, многозонная модуляция, резервирование, релейный элемент, интегратор, катастрофический отказ, динамический D-триггер.

The principle of construction of a frequency-width-pulse type regulator of an alternating voltage with a synchronous control system on the basis of the multi-zone integrating sweep converter is considered in this article. The structural diagram of a regulator and time-diagrams of its signals for the operational condition of the control system and catastrophic failure of one of the regulation channels are given.

Keywords: alternating voltage regulator, multi-zone modulation, redundancy, relay element, integrator, catastrophic failure, dynamic D-trigger.

Проблема диагностирования работоспособности электронных систем автоматического управления технологическими процессами и их автоматическое резервирование, в частности, регуляторов температуры [1], является одной из наиболее сложных технических задач ввиду отсутствия однозначной связи между характером выходных сигналов элементов системы и фактом их работоспособности, что позволило бы использовать простые методы параметрического диагностирования [2]. В этом плане решение проблемы возможно с помощью многозонных интегрирующих развертывающих преобразователей (МРП) с частотно-широотно-импульсной модуляцией [3], обладающих свойством самодиагностирования и саморезервирования каналов преобразования информации [4, 5].

Ниже рассматривается принцип построения регулятора переменного напряжения (РН), основу которого составляет МРП (рис. 1).

РН (рис. 1) содержит сумматор Σ , интегратор И, релейные элементы РЭ1 – РЭ3 с симметричными относительно «нуля» порогами переключе-

ния $|\pm b_1| < |\pm b_2| < |\pm b_3|$, где индекс при b соответствует порядковому номеру РЭ, и отличается от классической структуры МРП [4] наличием повторителей П1 – П3, релейных элементов РЭ4 – РЭ6, динамических D-триггеров D1–D3 и устройств синхронизации УС-А, УС-В, УС-С в каждой из фаз системы напряжений А, В, С.

Выходные сигналы РЭ1–РЭ3 меняются дискретно в пределах $\pm A/3$. Повторители П1–П3 предназначены для преобразования биполярных выходных импульсов РЭ1 – РЭ3 в однополярный сигнал с уровнями «0» или «1», что необходимо для управления выходными состояниями триггеров D1–D3.

Релейные элементы РЭ4–РЭ6 выполняют функцию преобразования выходных сигналов динамических триггеров D1 – D3 в биполярные импульсы с амплитудой $\pm A/3$, не имеют гистерезиса и выполнены со смещенной в «положительном» направлении на величину $0 < \Delta < A/3$ характеристикой.

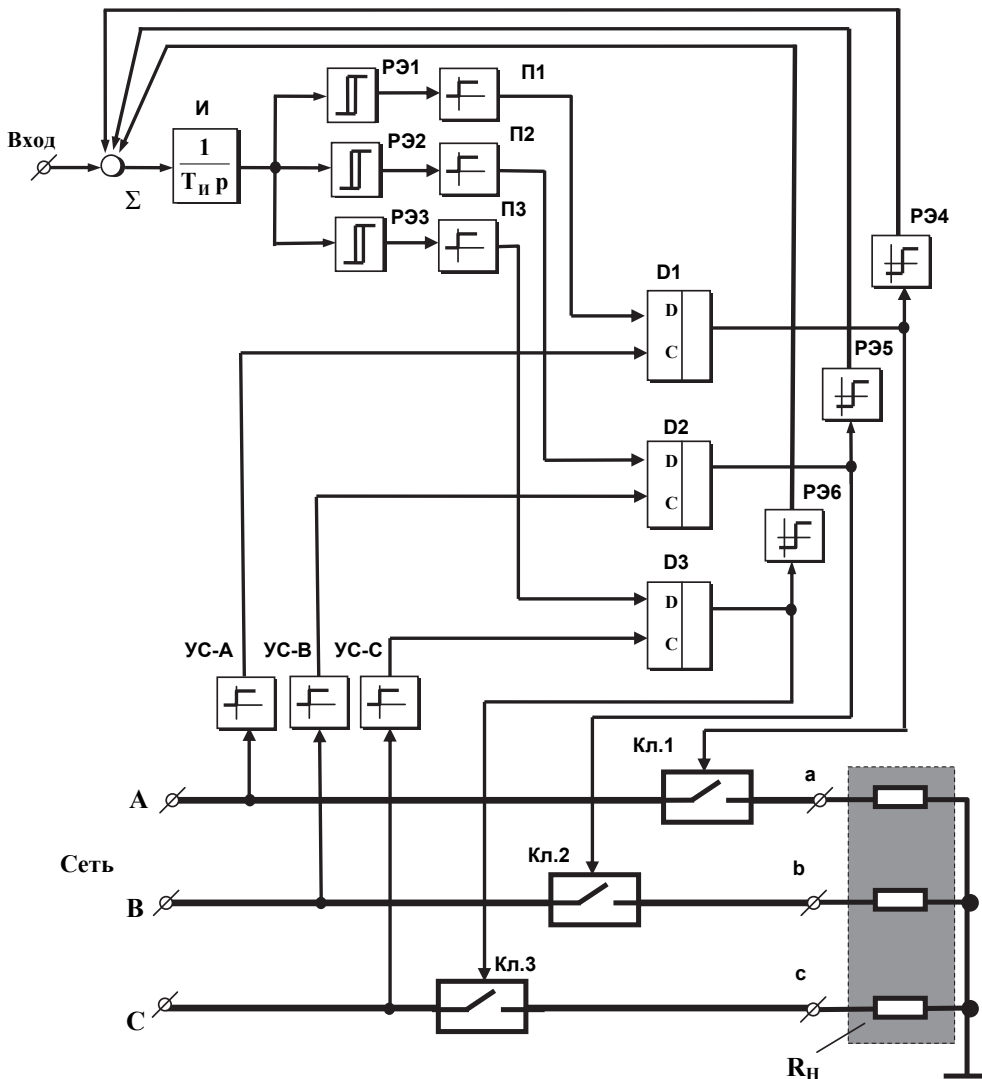


Рис. 1. Структурная схема регулятора переменного напряжения с частотно-широтно-импульсной модуляцией

Устройства синхронизации УС-А, УС-В, УС-С формируют логическую «1» на интервале формирования положительной полуволны соответствующей из фаз А, В, С напряжения сети (рис. 2, а) и переключают триггеры D1 – D3 в состояние D-входа по переднему фронту сигнала на С-входе.

Силовые ключи Кл.1 – Кл.3 переходят в замкнутое положение при сигнале «1» на их управляющем входе.

Считаем, что входной сигнал РН меняется в пределах первой модуляционной зоны, ограниченной пределами $\pm A/3$, а частота собственных автоколебаний системы управления ключами Кл.1 – Кл.3 намного ниже частоты напряжения сети.

После включения РН и нулевого уровне входного сигнала каналы РЭ2 – П2 – D2 – РЭ5 и РЭ3 – П3 – D3 – РЭ6 ориентируются произвольным образом, но в противоположных по уровню (знаку) состояниях. Предположим, что РЭ2 – П2 – D2 – РЭ5 находится в статическом состоянии «+», а

канал РЭ3 – П3 – D3 – РЭ6 – в положении «-» (рис. 2, д, е). Тогда ключ Кл.2 постоянно открыт (рис. 2, з), а ключ Кл.3 находится в разомкнутом положении (рис. 2, и).

Режим автоколебаний возникает в тракте РЭ1, когда амплитуда выходного пилообразного сигнала интегратора И ограничена порогами переключения $\pm b_1$ (рис. 2, в). Сквозность импульсов $\gamma = t_1 / (t_1 + t_2)$ (рис. 2, в) определяется величиной сигнала на информационном входе РН.

Повторитель П1 формирует сигнал задания на переключение триггера D1, который переключается синхронно с передним фронтом выходного сигнала УС-А (рис. 2, б, г, ж). Выключение триггера D1 и ключа Кл.1 происходит в момент времени t_{01} (рис. 2, ж), когда передний фронт выходного импульса УС-А (рис. 2, б) совпадает с «нулевым» состоянием П1 (рис. 2, г). Повторно Кл.1 включается, когда сигнал $+A/3$ с выхода РЭ1 (П1) совпа-

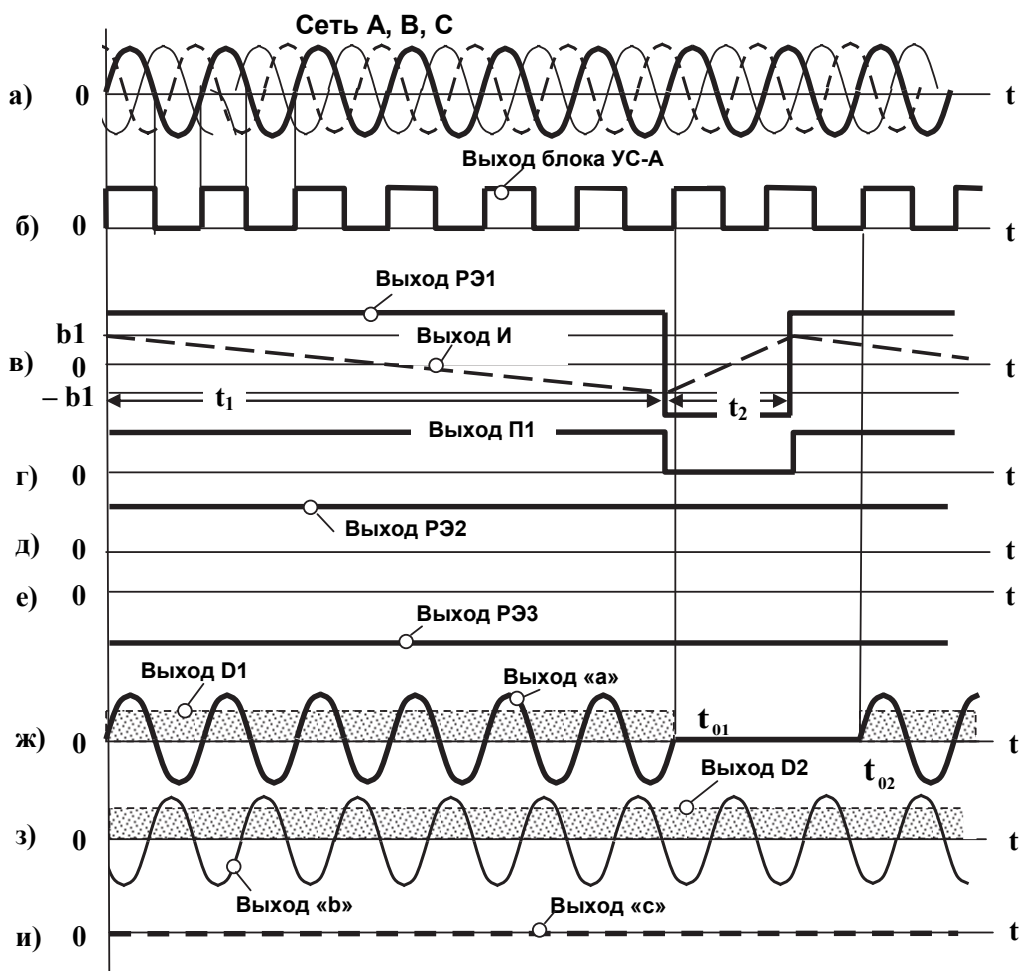


Рис. 2. Временные диаграммы сигналов регулятора переменного напряжения с частотно-широотно-импульсной модуляцией

дает с фронтом сигнала синхронизации от УС-А (рис. 2, б–г, ж, момент времени t_{02}).

Таким образом, ключи Кл. 1, Кл. 2 находятся в статическом состоянии «включено» или «выключено» (рис. 2, з, и), а режим частотно-широотно-импульсной модуляции формируется в канале управления ключом Кл.1 (рис. 2, ж), причем на нагрузке R_H (рис. 1) в «пакете» фазного напряжения (рис. 2, ж) всегда содержится целое число периодов напряжения сети (рис. 2, а).

Для обеспечения режима повышенной надежности РН должен работать в первой модуляционной зоне, рассмотренной на рис. 2. Тогда один из каналов регулирования, который постоянно выключен, будет выполнять функции «горячего» резерва.

Рассмотрим работу РН при катастрофическом отказе РЭ1, когда он переходит в неуправляемое состояние $+A/3$ (рис. 3, в).

В этом случае триггер D1 и РЭ4 переключаются в «положительное» статическое состояние, что приводит к включению Кл. 1 (рис. 3, ж), когда канал фазы А принимает на себя функции канала фазы В (рис. 2, з).

Тогда режим автоколебаний возникает в тракте РЭ2, имеющего пороги переключения $\pm b_2$ (рис. 3, г), и в состояние «включено/выключено» переходит Кл. 2 (рис. 3, з). Ключ Кл. 3 сохраняет свое статическое «нулевое» положение (рис. 3, и).

В реальной системе выходной сигнал интегратора 3 (рис. 3, г) может превышать пороговый уровень релейного элемента, находящегося в режиме автоколебаний (в данном случае $\pm b_2$), на величины $|\Delta b_{21}| \neq |\Delta b_{22}|$, что вызвано задержкой, вносимой соответствующим из триггеров D1 – D3. Однако эта задержка соответствует одному периоду напряжения сети и при частоте автоколебаний, исчисляемой долями или единицами герц, может не учитываться.

Дальнейшее поведение РН при отказе его элементов зависит от характера этих отказов. Например, если произойдет «нулевой» отказ РЭ3 (неуправляемое состояние $-A/3$), то режим автоколебаний сохранится в тракте РЭ2, и система сохранит свою работоспособность. При «единич-

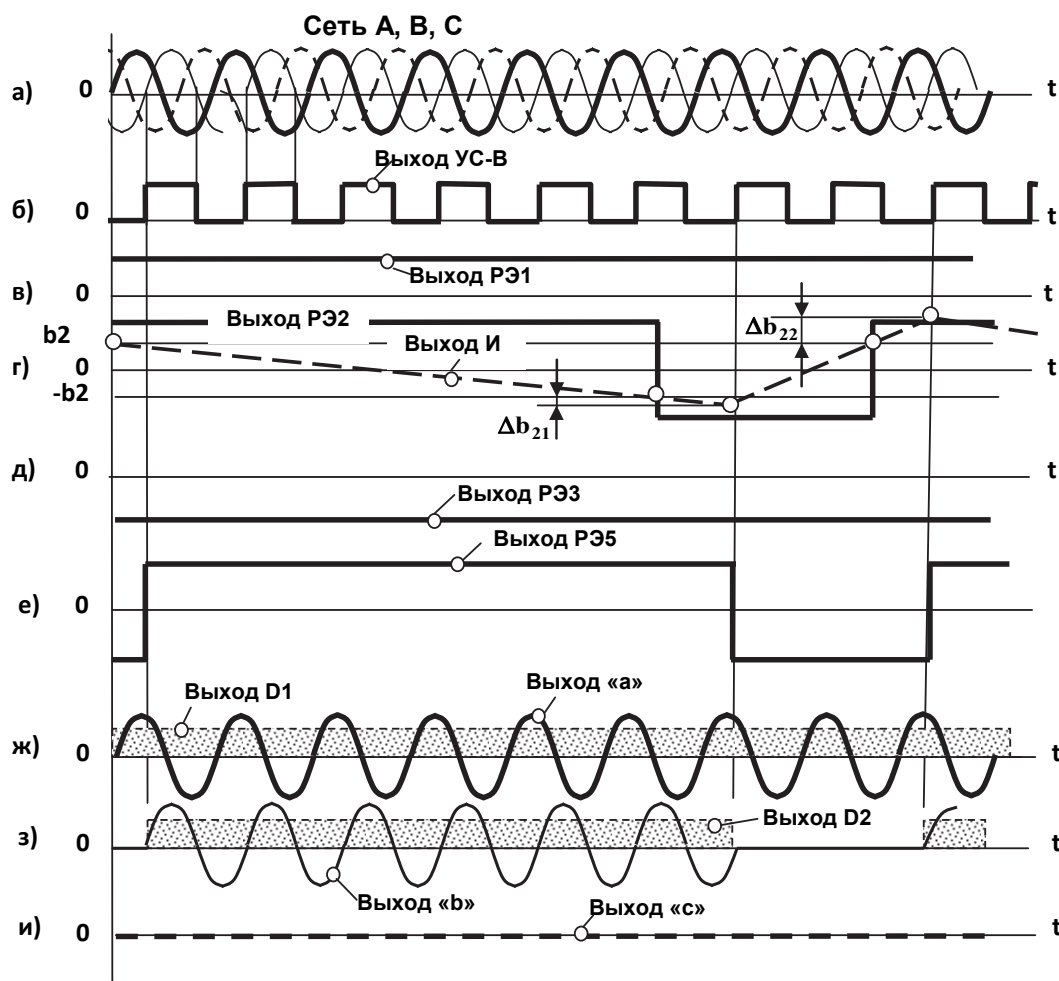


Рис. 3. Временные диаграммы сигналов регулятора переменного напряжения при катастрофическом отказе канала управления фазы А

ном» отказе РЭ2 (состояние +А/3) система окажется неисправной.

Аналогичная ситуация будет и при отказах других элементов РН. Например, в неисправное «нулевое» или «единичное» состояние может перейти не РЭ1, а какой-либо из блоков П1, Д1, РЭ4. Их отказы эквивалентны отказам РЭ1, так как они совместно с РЭ1 по сути дела представляют собой последовательное включение ключевых элементов, и отказ любого из них эквивалентен отказу всей «цепочки» этих звеньев. Более того, УС-А также может рассматриваться как элемент, входящий в каскад звеньев РЭ1, П1, Д1, РЭ4, так как при его отказе блокируется весь канал регулирования и происходит переход системы на резервную группу элементов. Такие же процессы происходят и при отказе какого-либо из синхронизаторов УС-В, УС-С. В этом случае блокируется один из соответствующих каналов РЭ2, П2, Д2, РЭ5 или РЭ3, П3, Д3, РЭ6.

В рассмотренном РН для повышения его надежности интегратор И может быть выполнен путем включения нескольких параллельно работаю-

щих интеграторов [4]. Сумматор Σ в реальных схемах является виртуальным (суммирующая точка операционного усилителя интегратора), поэтому резервирования не требует.

Литература

1. Гельман, М.В. Тиристорные регуляторы переменного напряжения / М.В. Гельман, С.П. Лохов. – М.: Энергия, 1975. – 104 с.
2. Осипов, О.И. Техническое диагностирование автоматизированного электропривода постоянного тока: дис. ... докт. техн. наук / О.И. Осипов. – Челябинск: ЧПИ, 1995. – 405 с.
3. А.с. 1418765 СССР, G06G7/12. Многозонный развертывающий преобразователь / Л.И. Цытович. – № 4290238/24; заявл. 20.10.87; опубл. 03.08.88, Бюл. № 31.
4. Цытович, Л.И. Многозонный развертывающий преобразователь с адаптируемой в функции неисправности активных компонентов структурой / Л.И. Цытович // Приборы и техника эксперимента. – М.: АН СССР, 1988. – № 1. – С. 81–85.

5. Терещина, О.Г. *Электроприводы с параллельными каналами регулирования на основе многозонных интегрирующих развертывающих преобразователей: дис. ... канд. техн. наук / О.Г. Терещина.* – Челябинск: ЮУрГУ, 2007. – 240 с.

6. Пат. 2408969 Российская Федерация, МПК H02M 5/293. *Многозонный частотно-широотно-импульсный регулятор переменного напряжения / Л.И. Цытович, О.Г. Брылина, М.М. Дудкин, А.В. Качалов.* – № 2009148024/07; заявл. 23.12.2009; опубл. 10.01.2011, Бюл. № 1.

Поступила в редакцию 18.04.2011 г.

Цытович Леонид Игнатьевич – докт. техн. наук, профессор, зав. кафедрой электропривода и автоматики промышленных установок, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск. Область научных интересов – информационно-измерительные устройства и комплексы систем управления технологическими процессами.

Контактный телефон: 8 (351) 2 67-93-85, e-mail: tsli@susu.ac.ru

Tsitovich Leonid Ignatevich – Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Head Of The Electric Drive And Automation Of Industrial Installations Department of South Ural State University, Chelyabinsk. Research interests: informational and measuring devices and structures of operating systems. Tel.: 8-(351) 2 67-93-85, e-mail: tsli@susu.ac.ru.

Брылина (Терещина) Олеся Геннадьевна – канд. техн. наук, доцент кафедры электропривода и автоматики промышленных установок, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск. Область научных интересов – элементы аналоговой и цифровой электроники. Контактный телефон: 8 (351) 267-93-21.

Brylina Olesya Gennadevna – Cand. Sc. (Engineering), an assistant professor of the electric drive and automation of Industrial Installations Department of South Ural State University, Chelyabinsk. Research interests: elements of analog and digital electronics. Tel.: 8 (351) 267-93-21.