

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенные исследования показали перспективность использования современной силовой преобразовательной техники на ответственных механизмах мегаваттного класса, включая существующие нерегулируемые электроприводные газоперекачивающие агрегаты компрессорных станций магистрального транспорта газа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Энергосбережение и автоматизация электрообору-

дования компрессорных станций: монография / Пужайло А.Ф., Савченков С.В., Крюков О.В. и др.; под ред. О.В. Крюкова. Нижний Новгород: Вектор ТиС, 2012. 572 с.

2. Пужайло А.Ф., Рубцова И.Е., Крюков О.В. Энергосбережение в агрегатах компрессорных станций средствами частотно-регулируемого электропривода // Компрессорная техника и пневматика. 2012. №5. С. 29-34.

3. Крюков О.В., Краснов Д.В. Перспективы применения преобразователей частоты для регулирования производительности ЭГПА // Газовая промышленность. 2014. №6. С. 86-89.

INFORMATION IN ENGLISH

ANALYSIS OF EXISTING METHODS FOR DIAGNOSTICS OF ELECTRIC MOTORS AND PERSPECTIVES OF THEIR DEVELOPMENT

Krjukov O.V.

The structure of existing fleet of electric drives for gas pumping units at the main gaslines in Russia was reviewed. The main disadvantages of unregulated electrical units at the compressor stations and the features of most efficient and science-intensive projects with the application of a new principles and algorithms of frequency regulation of the gas transfer parameters, based on for technologically related electrically-driven units were analyzed. Prospective lines of improving the electric drives of superchargers with the application of six variants of high voltage frequency inverter topologies. A functional diagrams and an energetic characteristics of multilevel cascade converters, including the range of harmonic composition of output current and voltage were analyzed. Case studies of implementation high quality power converter equipment and filter compensative devices for electric driven gas pumping units at the compressor stations of main gas pipelines in Russia were reviewed.

Keywords: compressor station, gas pumping unit, electric drive, frequency regulation, synchronous motor, upgrading,

energy saving, energy efficiency.

REFERENCES

1. Puzhajlo A.F., Savchenkov S.V., Krjukov O.V. i dr. *Jenergoberezenie i avtomatizacija jelektrorobudovanija kompressornyh stancij* [Energy saving and automation of electrical equipment at the compressor stations: monograph]. Nizhnij Novgorod: Vektor TiS, vol. 3, 2012, 572 p.

2. Puzhailo A.F., Kryukov O.V., Rubtsova I.E. *Jenergoberezenie v agregatah kompressornyh stancij sredstvami chastotno-reguliruemogo jelektroprivoda* [Energy-saving in units of compressor stations by means of the frequency-controlled electric drive]. *Kompressornaja tehnika i pnevmatika* [Compressor equipment and pneumatic], 2012, no.5, pp. 29-34.

3. Krjukov O.V., Krasnov D.V. *Perspektivy primenenija preobrazovatelej chastoty dlja regulirovanija proizvoditel'nosti JeGPA* [Prospects of application of of frequency inverters for controlling the performance EDGPU]. *Gazovaja promyshlennost'* [Gas industry], 2014, no. 6, pp. 86-89.

УДК 62 - 83:681.51

Цытович Л.И., Дудкин М.М., Рахматулин Р.М., Брылина О.Г., Тюгаев А.В.

ПОМЕХОУСТОЙЧИВАЯ СИНХРОНИЗАЦИЯ ВЕНТИЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

В статье рассматриваются устройства синхронизации для ведомых сетью силовых вентильных преобразователей, выполненные на базе интегрирующих развертывающих преобразователей с частотно-широотно-импульсной модуляцией (РП). Приведены структурные схемы, временные диаграммы сигналов и условия синхронизации частоты переключений РП внешним биполярным прямоугольным и гармоническим сигналами.

На примере трехфазного реверсивного тиристорного преобразователя постоянного тока рассмотрены функциональные схемы перекрестной и интервало-кодовой синхронизаций. Приведена принципиальная схема РП, даны основные расчетные соотношения и рекомендации по выбору ее параметров.

Статья рассчитана на инженерно-технических работников, занимающихся проектированием, наладкой и эксплуатацией силовой преобразовательной техники.

Ключевые слова: устройство синхронизации, вентильный преобразователь, развертывающий преобразователь, интервало-кодовая синхронизация, перекрестная синхронизация, фазосдвигающее устройство, дешифратор, распределитель импульсов.

ВВЕДЕНИЕ

Современные системы электроснабжения как стационарного, так и автономного базирования характеризуются высоким уровнем искажений с трудно предсказуемыми параметрами, зачастую выходящими за допустимые нормы и играющими роль дестабилизи-

рующих факторов в работе не только вентильных преобразователей (ВП), но и технологических установок в целом [1-5]. Поэтому создание систем управления ВП, способных нейтрализовать действие внешних возмущающих воздействий, в частности со стороны сети, является актуальной задачей, направленной на повы-

шение надежности работы всего комплекса электро-технического оборудования промышленных предприятий. Причем создание таких систем актуально не только применительно к новым разработкам в области ВП, но и к действующему оборудованию, подлежащему реконструкции.

СТРУКТУРА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ВЕНТИЛЬНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ
И ПРИНЦИП ЕЕ ДЕЙСТВИЯ

подавляющее большинство силовых ведомых сетей ВП строятся по принципу многоканальной синхронной системы [6-8] (рис. 1, а), включающей n -е число идентичных по своей структуре каналов регулирования, где n – число фаз напряжения сети (в дальнейшем ограничимся случаем $n=3$). Каждый из каналов содержит устройство синхронизации (УС) УС-А, УС-В, УС-С, фазосдвигающие устройства ФСУ-А, ФСУ-В, ФСУ-С с формирователями импульсов управления, распределитель импульсов управления РИ и силовой блок ключей, например тиристоров СБТ. ФСУ преобразуют сигнал управления, подключаемый к информационному входу, в величину угла управления тиристорами СБТ.

Как показывает практика, наиболее уязвимым с позиций помехоустойчивости каналом систем управления ВП являются УС [9, 10], которые в большинстве

практических случаев представляют собой каскадное включение сглаживающего фильтра Φ , например, апериодического первого порядка и релейного элемента РЭ с симметричными относительно нулевого уровня порогами переключения (рис. 1, б) [11].

Недостаток УС типа «Ф–РЭ» очевиден – при изменениях амплитуды и/или частоты напряжения сети заданный угол синхронизации существенно меняется, что сказывается на характеристиках ВП в целом, а в ряде случаев может привести к его аварийному отключению. Одной из причин низкой помехоустойчивости УС является малое значение постоянной времени фильтра Φ , который настраивается на угол порядка 30 эл.град, соответствующей точке естественной коммутации напряжения сети. Повышение постоянной времени фильтра Φ при одновременном уменьшении порогов переключения РЭ также нежелательно из-за высокой чувствительности последнего к импульсным помехам. Проблема помехоустойчивости контуров синхронизации ВП, в частности в автоматизированном электроприводе постоянного тока, в немалой степени обострилась благодаря широкому внедрению преобразователей частоты в электроприводах переменного тока, генерирующих в сеть высокочастотные гармоники широтно-импульсной модуляции, не связанные по кратности с частотой напряжения сети.

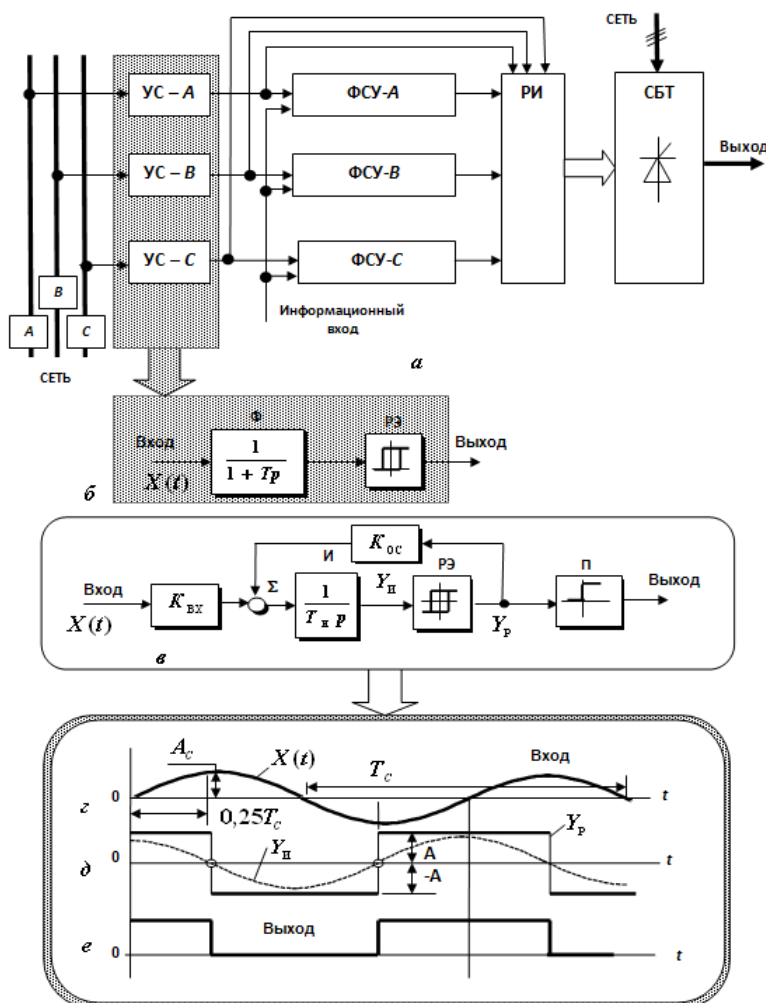


Рис. 1. Функциональная схема синхронной системы управления тиристорным преобразователем (а), классическая структурная схема компараторного устройства синхронизации (б), структурная схема интегрирующего устройства синхронизации (в) и временные диаграммы его сигналов (z-e)

В этих условиях не только проектировщикам силовой преобразовательной техники, но и обслуживающему персоналу действующих промышленных электроустановок необходимо иметь эффективный способ повышения эксплуатационной надежности ВП, который, обладая простотой технической реализации и высокой эффективностью подавления помех со стороны сети, не требовал бы внесения кардинальных изменений в структуру системы управления ВП.

Многолетние теоретические исследования и практический промышленный опыт кафедры электропривода Южно-Уральского государственного университета в области создания и реконструкции силовых преобразователей постоянного и переменного тока для объектов с «проблемной» сетью показал, что наиболее эффективным способом решения задач в сфере электромагнитной совместимости ВП является построение их систем импульсно-фазового управления, включая и УС, на основе методов интегрирующего развертывающего преобразования [12-15].

Рассмотрим этот метод применительно к УС трехфазного реверсивного тиристорного преобразователя (см. **рис. 1, а**).

В большинстве случаев основу развертывающих систем составляет базовая структура интегрирующего развертывающего преобразователя (РП) (**рис. 1, в**), включающая в себя сумматор Σ , интегратор И, релейный элемент РЭ с симметричной относительно «нуля» петлей гистерезиса, а также пропорциональные звенья $K_{ВХ}$ и $K_{ОС}$ на входе и в цепи обратной связи РП соответственно. Выходной сигнал РЭ меняется дискретно в пределах $\pm A$, а его пороги переключения $\pm b$ симметричны относительно нулевого уровня.

РП представляет собой автоколебательную систему с частотно-широотно-импульсной модуляцией и знакопеременной обратной связью. Его особенность заключается в том, что при соблюдении определенных условий, о которых речь пойдет ниже, РП может переходить в режим вынужденных переключений (синхронизации) с внешним периодическим сигналом и преобразовываться из частотно-широотно-импульсной в широко-импульсную систему. При этом наиболее часто для внешней синхронизации РП используется непосредственно напряжение сети, либо прямоугольные биполярные импульсы со средним нулевым значением, получаемые путем преобразования синусоидального сигнала с помощью компаратора.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований показали, что условием синхронизации РП прямоугольными биполярными импульсами является

$$\left(\bar{T}_{\Pi} \cdot \bar{A}_{\Pi}\right) \geq 1, \quad (1)$$

где $\bar{T}_{\Pi} = T_{\Pi} / T_0$ – нормированное значение периода T_{Π} прямоугольных импульсов синхронизации; $T_0 = 4\bar{b}T_{и}$ – период выходных импульсов РП при его работе в режиме собственных автоколебаний; $\bar{b} = |b/A|$ – нормированное значение порогов переключения РЭ; $\pm A$ – амплитуда выходных импульсов РЭ;

$\bar{A}_{\Pi} = |A_{\Pi}/A|$ – нормированное значение амплитуды импульсов синхронизации (кратность синхронизации); $T_{и}$ – постоянная времени интегратора РП.

Иными словами, синхронизация РП биполярными прямоугольными импульсами наступает при условии превышения модулем вольт-секундной площади синхронизирующего воздействия значения модуля вольт-секундной площади выходных импульсов РП за период его собственных автоколебаний.

Аналогично для сигнала вида $X(t) = A_c \cdot \sin \omega t$ (**рис. 1, з**) условиями внешней синхронизации являются

$$\left[\frac{2 \cdot \bar{T}_c \cdot \bar{A}_c}{\pi} \right] \geq 1, \quad (2)$$

$$dY_{и}(t)/dt < dX_c(t)/dt,$$

где $\bar{T}_c = T_c / T_0$, $\bar{A}_c = |A_c/A|$ – нормированное значение периода T_c и амплитуды A_c сигнала $X(t)$ соответственно; $Y_{и}$ – выходной пилообразный сигнал развертки на выходе интегратора И при работе РП в режиме собственных автоколебаний, ограниченный по амплитуде порогами переключения $\pm b$ РЭ.

Здесь, по сравнению с уравнением (1), появляется дополнительное условие, которое говорит о том, что производная синхронизирующего воздействия $X(t)$ при его переходе через нулевой уровень должна превышать производную пилообразного сигнала развертки $Y_{и}$, которую она имеет при работе РП в режиме собственных автоколебаний с нулевым значением постоянной составляющей сигнала на его информационном входе.

В режиме внешней синхронизации, когда роль несущей частоты выполняет, например, гармонический сигнал $X_c(t)$, РП имеет свойства близкие к апериодическому фильтру первого порядка $W(p) = 1/(1+T_3p)$ с постоянной времени $T_3 \approx \pi \cdot T_c \cdot \bar{A}_c / 16$, автоматически перестраиваемой в функции параметров синхронизирующего воздействия (напряжения сети) [16, 17].

Фазовый сдвиг (начальный угол синхронизации α_c) между синхронизирующим воздействием и выходными импульсами Y_p РП (см. **рис. 1, з, д**) зависит от нормированной частоты $\bar{f}_c = f_c / (f_0 = T_0^{-1})$ сигнала синхронизации и \bar{A}_c . Равенство $\alpha_c = -90$ эл.град, что является, как будет показано ниже, наиболее приемлемым для построения каналов синхронизации ВП на основе РП, достигается при условии равенства частоты собственных автоколебаний РП и частоты сигнала синхронизации $X(t)$.

Необходимо отметить, что в промышленных условиях, где стабильность частоты сети достаточно высокая, требуемое значение постоянной времени T_3 РП устанавливается путем изменения глубины синхронизации \bar{A}_c , что принципиально отличает данный класс УС от традиционной структуры на **рис. 1, б**.

УСТРОЙСТВА СИНХРОНИЗАЦИИ
НА БАЗЕ РАЗВЕРТЫВАЮЩЕГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Синхронизация ВП с применением РП может выполняться различными методами.

На рис. 2, а приведена функциональная схема интервалокодового устройства синхронизации, предназначенная для трехфазных реверсивных тиристорных преобразователей с раздельным управлением [18 – 20].

Каждый из каналов синхронизации УС – А, УС – В и УС – С (см. рис. 2, а) выполнен на основе РП, где для согласования с элементами цифровой электроники введен повторитель П, преобразующий биполярные выходные импульсы РЭ в однополярный импульсный сигнал (см. рис. 1, в, е; рис. 2, в-д). Далее выходному сигналу канала УС – А (см. рис. 2, в) присваивается значение Q_0 младшего разряда, а выводу УС – С – значение Q_2 (рис. 2, д) старшего разряда двоичного кода. В результате на каждом из интервалов $\Delta t_i = 60$ эл.град (см. рис. 2, б-д) формируется своя трехразрядная двоичная последовательность, десятичное значение которой показано на рис. 2, е.

Так, интервалу коммутации T_{1-2} (см. рис. 2, б) соответствуют числа «3–2–6», интервалу T_{3-4} (рис. 2, з) – числа «6–4–5», а интервалу T_{5-6} (рис. 2, и) – последовательность чисел «5–1–3». Затем с помощью трехразрядного двоичного дешифратора и логических элементов Л1–Л3 функции «ЗИЛИ» (см. рис. 2, а) для каждо-

го из перечисленных интервалов коммутации формируется сигнал синхронизации (рис. 2, ж-и).

Таким образом, несмотря на начальный фазовый сдвиг -90 эл.град, который формирует РП в режиме внешней синхронизации, интервалокодовый алгоритм обеспечивает получение сигнала с требуемой длительностью, соответствующей заданному интервалу синхронизации ВП.

Необходимо также отметить, что появление на выходных шинах DC чисел «0» и «7» свидетельствует о нарушении алгоритма работы ВП, так как эти числа отсутствуют в числовом ряде «3–2–6–4–5–1», поэтому здесь необходимо аварийное отключение ВП, что и реализуется с помощью элемента Л4 (см. рис. 2, а). Кроме того, при данном способе синхронизации может быть реализована диагностика катастрофических отказов УС – А, УС – В и УС – С, когда они переходят в статическое состояние логического «0» или «1».

Более простой способ синхронизации каналов управления ВП, легко реализуемый в действующих установках при их реконструкции, показан на рис. 2, к. Из диаграмм сигналов (рис. 2, б-д) видно, что сигнал логической «1» для соответствующего интервала коммутации «1–2», «3–4», «5–6» может быть получен за счет метода «перекрестной» синхронизации, когда ФСУ – А синхронизируется УС – В, ФСУ – В получает сигнал синхронизации от УС – С, а ФСУ – С – от канала синхронизации УС – А.

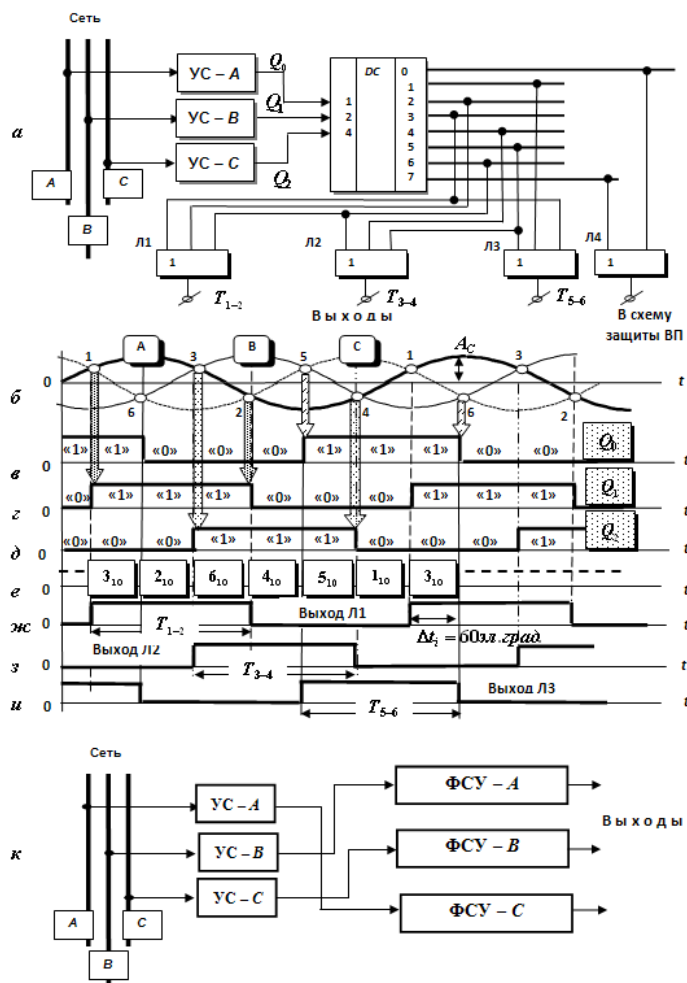


Рис. 2. Функциональная схема интегрирующего интервалокодового двоичного устройства синхронизации (а), временные диаграммы его сигналов (б – и) и функциональная схема системы перекрестной синхронизации систем импульсно-фазового управления (к)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

1. Предложен перекрестный и родственный ему интервал-кодовый способы 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.

2. Приведены условия синхронизации РП внешним биполярным прямоугольным и гармоническим сигналами и показано, что в режиме внешней синхронизации РП обладает свойствами адаптивного апериодического фильтра первого порядка с постоянной времени, зависящей от амплитуды и частоты синхронизирующего воздействия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Осипов О.И., Усынин Ю.С. Техническая диагностика автоматизированных электроприводов. М.: Энергоатомиздат, 1991. 160 с.

2. Brinkis K., Staltmanis A. The automated control of a power system // Baltic electrical engineering review. 1997. №2(6). Pp. 39-44.

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)/2010. С. 42-51.

4. Адаптивная система синхронизации трехфазного мостового реверсивного тиристорного преобразователя / Л.И. Цытович, А.В. Качалов, М.М. Дудкин, Р.М. Рахматулин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». 2009. Вып.11. №15 (148). С. 45-50.

5. Crane L., Katzel J. Coping with industrial control system noise // Plant Engineering. 1997. №11, Pp. 89-91.

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

7. Adaptive interval and code bidecimal timing mechanism with watching fixing of points of natural commutation of circuit voltage / L.I. Tsytoich, M.M. Dudkin, O.G. Brylina, A.V. Tygaev // European Science and Technology: materials of the III international research and practice conference / publishing office Vela Verlag Waldkraiburg – Munich – Germany, 2012. Vol.I. October 30th–31st. Pp. 276-281.

8. Колоколкин А.М., Смирнов А.Н. Функционально полная асинхронно-синхронная цифровая система управле-

ния вентильным преобразователем // Электротехника. 2014. №1. С. 31-34

9. Осипов О.И., Усынин Ю.С. Промышленные помехи и способы их подавления в вентильных электроприводах постоянного тока. М.: Энергия, 1979. 80 с.

10. Method and device of synchronization for determination of squirrel cage asynchronous motors parameters / S. Enache, A. Campeanu, I. Vlad, M.-A. Enache // Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE), 2013 8th International Symposium, 2013, pp. 1-4.

11. Чернов Е.А., Кузьмин В.П. Комплектные электроприводы станков с ЧПУ: справочное пособие. Горький: Волго-вятское книжное издательство, 1989. 320 с.

12. Темников Ф.Е., Славинский В.Е. Математические развертывающие системы. М.: Энергия, 1970. 120 с.

13. Цытович Л.И., Брылина О.Г. Многозонные интегрирующие системы управления каскадами «вентильный преобразователь – исполнительный механизм» для объектов с параллельными каналами регулирования // Практическая силовая электроника. №36. –М.: Изд-во ЗАО «ММП-Ирбис», 2009. – С. 23-30.

14. Интегрирующие развертывающие преобразователи с повышенной температурной стабильностью характеристик / Л.И. Цытович, М.М. Дудкин, О.Г. Терещина, Н.А. Логинова // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2010. № 10. С. 38–43.

15. Цытович Л.И., Брылина О.Г. О динамике многозонного интегрирующего регулятора с частотно-нулевым сопротивлением модуляционных зон // Электротехника. 2014. №7. С. 17-25.

16. Терещина О.Г. Фильтры с дискретно перестраиваемыми в функции сигнала управления динамическими характеристиками на основе многозонного интегрирующего развертывающего преобразователя // Труды 14 международной научно-технической конференции «Электроприводы переменного тока». Екатеринбург, 2007. С. 51-54.

17. Широтно-импульсный интегрирующий развертывающий преобразователь с контуром амплитудной коррекции динамических характеристик / Л.И. Цытович, В.Г. Маурер, П.Л. Цытович // Приборы и техника эксперимента. М.: РАН, 1997. №3. С. 89-93.

18. Цытович Л.И., Качалов А.В. Интегрирующая интервал-кодовая синхронизация реверсивных тиристорных преобразователей // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». 2010. Вып. 13. №14 (190). С. 36-39.

19. Сидоров С.Н., Миронов Д.С. Реверсивный тиристорный преобразователь без уравнивающих реакторов: пат. RUS 2444112 26.11.2010.

20. Усынин Ю.С., Григорьев М.А., Шишков А.Н. Вентильный электропривод с синхронной реактивной машиной независимого возбуждения // Электротехника. 2013. №3. С. 37-43.

INFORMATION IN ENGLISH

THE NOISE IMMUNITY SYNCHRONIZATION OF THE VALVE CONVERTERS

Tsytoich L.I., Dudkin M.M., Rahmatulin R.M., Brylina O.G., Tygaev A.V.

The synchronization devices for the network controlled power valve converters, based on integrate sweep converters with frequency-width-pulse modulation (SC) were reviewed.

A block diagrams of the system, a time diagrams of the signals and synchronization conditions of SC switching frequency by the external bipolar rectangular and harmonic signals were shown. As an example of a three phase reverse thyristor converter of DC the function block diagrams of cross and interval-code synchronizations was shown.

A functional diagram of SC, the main calculated

proportions and the recommendations for choosing the parameters were given.

This article may be interesting for engineers and technical employees, who work with the design, debugging and exploitation the power converter equipment.

Keywords: synchronization device, valve converter, sweeping converter, interval-code synchronization, cross synchronization, phase shifting device, decoder, pulse distributor.

REFERENCES

1. Osipov O.I., Usyinin Yu.S. *Tekhnicheskaya diagnostika avtomatizirovannykh elektropriwodov* [Technical diagnostics of automated electric drives]. Moscow: Energoatomizdat, 1991, 160 p.
2. Brinkis K., Staltmanis A. The automated control of a power system. *Baltic electrical engineering review*. 1997. No.2(6). Pp. 39-44.
3. Kachalov A.V., Tsyitovich L.I., Dudkin M.M. *Integriruyushchie ustroystva sinhronizatsii dlya sistem impulsno-fazovogo upravleniya ventilnyimi preobrazovatelyami* [Integrating Synchronizers for Gated Converters Pulse-Phase Control Circuits]. *Prakticheskaya silovaya elektronika* [Applied Power Electronics], 2010, no. 1(37)/2010, pp. 42-51.
4. Tsyitovich L.I., Kachalov A.V., Dudkin M.M., Rahmatulin R.M. *Adaptivnaya sistema sinhronizatsii trekhfaznogo mostovogo reversivnogo tiristornogo preobrazovatelya* [Adaptive synchronization system of three-phase bridge reversible thyristor converter]. *Vestnik JuUrGU. Seriya «Jenergetika»* [Bulletin of the South Ural State University. Series "Power Engineering"], 2009, vol. 11, no. 15 (148). pp. 45-50.
5. Crane L., Katzel J. Coping with industrial control system noise // *Plant Engineering*. 1997. №11, Pp. 89-91.
6. Dudkin M.M., Tsyitovich L.I. *Elementy informatsionnoy elektroniki sistem upravleniya ventilnyimi preobrazovatelyami* [Elements of information Electronics control systems of valve converters]. 2011, 362 p.
7. Tsyitovich L.I., Dudkin M.M., Brylina O.G., Tugaev A.V. Adaptive interval and code bidecimal timing mechanism with watching fixing of points of natural commutation of circuit voltage. *European Science and Technology: materials of the III international research and practice conference*. Publishing office Vela Verlag Waldkraiburg – Munich – Germany, 2012. Vol.I. October 30th–31st. Pp. 276-281.
8. Kolokolkin A.M., Smirnov A.N. *Funkcional'no-polnaja asinhronno-sinhronnaja cifrovaja sistema upravleniya ventil'nyim preobrazovatelem* [A functionally complete asynchronous-synchronous digital control system for a valve converter.] *Jelektrotehnika* [Russian Electrical Engineering], 2014, vol. 85, no. 1, pp. 29-33.
9. Osipov O.I., Usyinin Yu.S. *Promyshlennyye pomehi i sposoby ih podavleniya v ventilnykh elektroprivodakh postoyannogo toka* [Industrial interference and methods for their suppression in DC rectifier drives]. Moscow: Energija, 1979, 80 p.
10. Enache S., Campeanu A., Vlad I., Enache M.-A. Method and device of synchronization for determination of squirrel cage asynchronous motors parameters. *Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE)*, 2013. 8th International Symposium, 2013, pp. 1-4.
11. Chernov E.A., Kuzmin V.P. *Kompleknyie elektroprirodyi stankov s CHPU* [Unitized electric drives for CNC machines]. Gorkiy, 1989. 320 p.
12. Temnikov F.E., Slavinskiy V.E. *Matematicheskie razvertyvayushchie sistemy* [Mathematical deploy systems]. Moscow: Energiya, 1970, 120 p.
13. Tsyitovich L.I., Brylina O.G. *Mnogozonnyie integriruyushchie sistemy upravleniya kaskadami «ventilnyiy preobrazovatel – ispolnitelnyiy mehanizm» dlya obyektov s parallelnymi kanalami regulirovaniya* [Multi-zone integrated control system for control the cascades "converter valve - actuator" for objects with parallel channel regulation]. *Prakticheskaya silovaya elektronika* [Practical power electronics], 2009, no.36/2009, pp. 23-30.
14. Tsyitovich L.I., Dudkin M.M., Tereschina O.G., Loginova N.A. *Integriruyushchie razvertyvayushchie preobrazovateli s povyishennoy temperaturnoy stabilnostyu harakteristik* [Integrating deploying inverters with high temperature stability characteristics]. *Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol, diagnostika* [Instruments and systems. Management, monitoring, diagnostics]. 2010, no. 10, pp. 38-43.
15. Tsyitovich L.I., Brylina O.G. *O dinamike mnogozonnogo integriruyushhego regulatora s chastotomulevym sopryazheniem moduljacionnykh zon* [Dynamics of a multizone integrating regulator with frequency-zero junction of modulation zones]. *Elektrotehnika* [Russian Electrical Engineering]. 2014, vol. 85, no. 7, pp. 434-442.
16. Tereschina O.G. *Filtry s diskretno perestraivaemyimi v funktsii signala upravleniya dinamicheskimi harakteristikami na osnove mnogozonnogo integriruyushhego razvertyvayushchego preobrazovatelya* [Filters with discretely reconfigurable in function of a control signal of the dynamic characteristics on the basis of the multizone integrating sweep converter]. *Trudy 14 mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii «Jelektroprirodyi peremennogo toka»* [Proceeding of the 14 international scientific-technical conference "Alternating current electrical drives"]. Ekaterinburg, 2007, pp. 51-54.
17. Tsyitovich L.I., Maurer V.G., Tsyitovich P.L. *Shiroimpulsnyiy integriruyushchiy razvertyvayushchiy preobrazovatel s konturom amplitudnoy korrektsii dinamicheskikh harakteristik* [Width-pulse integrating scanning converter circuit amplitude correction of dynamic characteristics]. *Pribory i tekhnika eksperimenta* [Instruments and Experimental Techniques], 1997, no. 3, pp. 89-93.
18. Tsyitovich L.I., Kachalov A.V. *Integriruyushchaya intervalo-kodovaya sinhronizatsiya reversivnykh tiristornyykh preobrazovateley* [Integrating interval-code synchronization of reversible thyristor converters]. *Vestnik Juzhno-ural'skogo Gosudarstvennogo Universiteta. Seriya: energetika* [Bulletin of the South Ural State University. Series "Power Engineering"]. 2010, vol. 13, no. 14 (190). pp. 36-39.
19. Sidorov S.N., Mironov D.S. *Reversivnyy tiristornyy preobrazovatel bez uravnitel'nykh reaktorov* [Reversible thyristor converter without paralleling reactors]. Patent RUS 2444112 26.11.2010.
20. Usyinin Yu.S., Grigor'ev M.A., Shishkov A.N. *Ventil'nyy jelektropriwod s sinhronnoy reaktivnoy mashinoy nezavisimogo vozbuzhdeniya* [Electric drive with a field-regulated reluctance machine]. *Elektrotehnika* [Russian Electrical Engineering]. 2013, vol. 84, no. 3, pp. 149-154.