

УДК 621.314.6 + 621.316.722 + 621.311

УСТРОЙСТВА СИНХРОНИЗАЦИИ ВЕДОМЫХ СЕТЬЮ ВЕНТИЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С АДАПТАЦИЕЙ К НЕСТАБИЛЬНОСТИ АМПЛИТУДЫ НАПРЯЖЕНИЯ СЕТИ

Л.И. Цытович, М.М. Дудкин, А.С. Нестеров, А.В. Тюгаев

Рассматриваются варианты адаптивных к неустойчивости амплитуды напряжения сети устройств синхронизации для ведомых сетью силовых вентильных преобразователей. Приведены временные диаграммы сигналов устройств синхронизации, рекомендации по выбору параметров их элементов.

Ключевые слова: вентильный преобразователь, сглаживающий фильтр, компаратор, дешифратор, релейный элемент, интегратор, напряжение сети, синхронизация, адаптивный фильтр.

Введение

Современные энергосистемы как стационарного, так и автономного базирования характеризуются высоким уровнем искажений с трудно предсказуемыми параметрами, зачастую выходящими за допустимые нормы искажений и играющими роль дестабилизирующих факторов в работе не только вентильных преобразователей (ВП), но и технологических установок в целом [1, 2]. Поэтому создание систем управления ВП, способных частично или полностью адаптироваться к изменяющимся параметрам сети, является актуальной задачей, направленной на повышение надежности работы всего комплекса электротехнического оборудования промышленных предприятий.

Одним из наиболее уязвимых с позиций помехоустойчивости каналов систем управления ВП являются устройства синхронизации (УС), 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 (« Φ –РЭ») [2, 3].

При изменениях амплитуды и/или частоты напряжения сети заданный угол синхронизации в « Φ – РЭ» существенно меняется, что отрицательно сказывается на характеристиках ВП в целом.

Ниже рассматриваются УС, обладающие свойством адаптации к неустойчивости амплитуд фазных напряжений.

1. Устройство синхронизации со следящей фиксацией точек естественной коммутации напряжения сети

В состав УС (рис. 1) [4] входят апериодические фильтры первого порядка Φ -А, Φ -В, Φ -С, компараторы К1–К6, двоично-десятичные дешифраторы DC1, DC2 и логические элементы Л1–Л3 функции «И-ИЛИ».

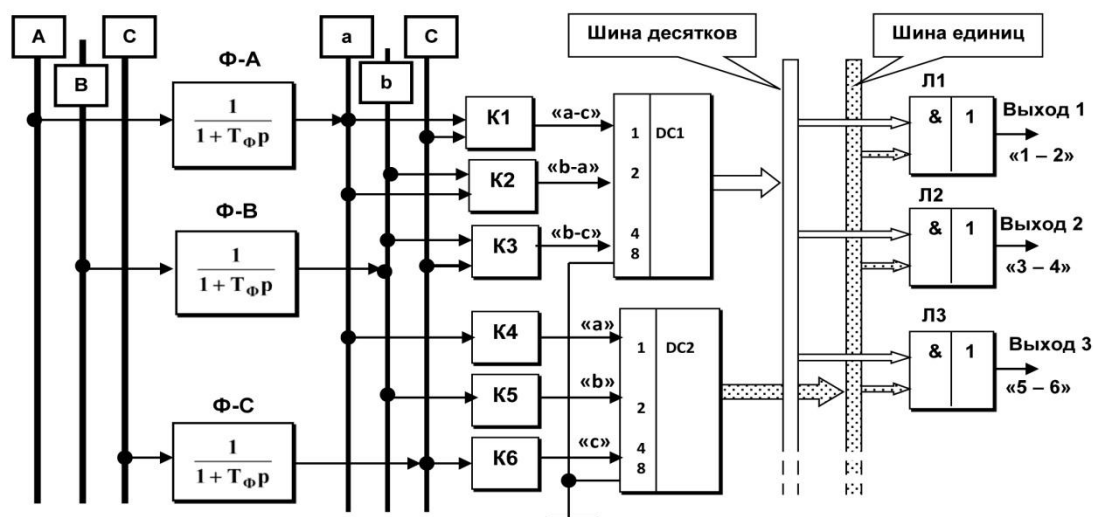


Рис. 1. Структурная схема адаптивного компараторного интервало-кодowego устройства синхронизации со следящей фиксацией точек естественной коммутации напряжения сети

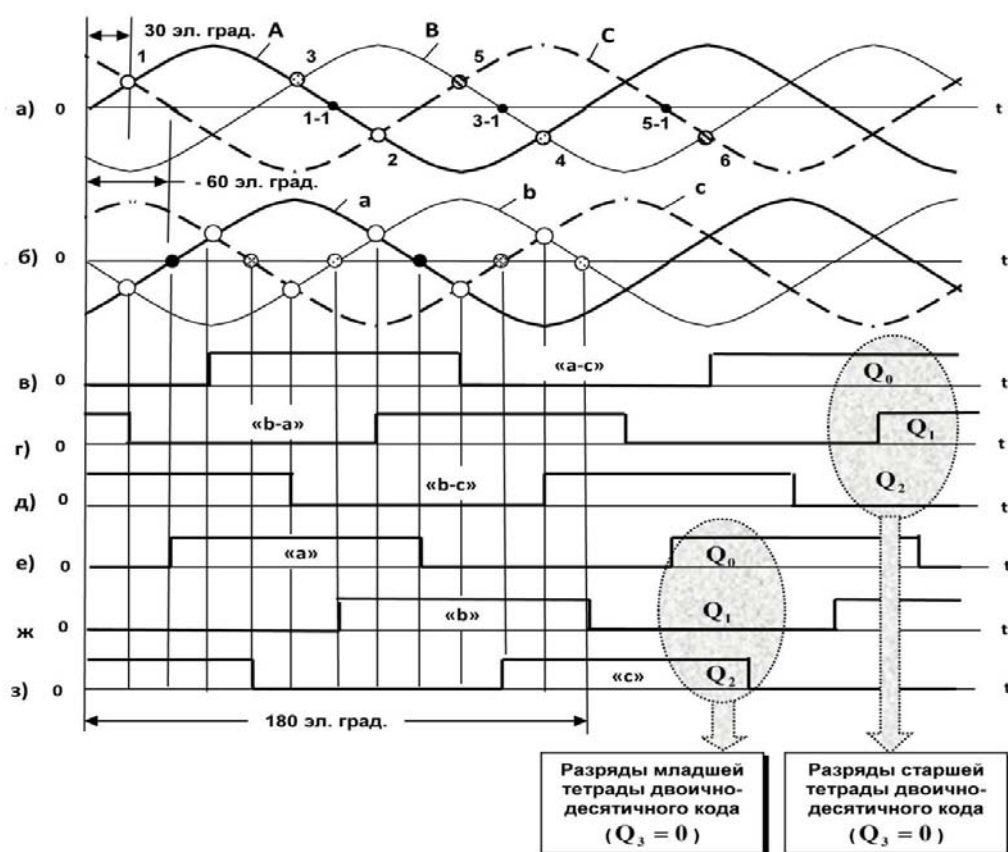
Фильтры Ф-А, Ф-В, Ф-С предназначены для подавления помех со стороны сети и образуют трехфазную систему напряжений «а», «b», «с» (рис. 2б), сдвинутую относительно основной А, В, С (рис. 2а) на -60 эл. град. Практика показывает, что фильтра с такой постоянной времени достаточно для подавления импульсных и коммутационных помех со стороны напряжения сети. В сетях с малым уровнем искажений этот фазовый сдвиг может быть выбран, равным -30 эл. град.

Компараторы К1–К3 осуществляют попарное сравнение сигналов разверток «а», «b», «с» (рис. 2б–г), в результате чего между соответствующими точками естественной коммутации системы «а», «b», «с» формируется сигналы логической «1». Данной последовательности «0» и «1» в дальнейшем присваиваются значения разрядов $Q_0, Q_1, Q_2, Q_3 = 0$ старшей тетрады двоично-десятичного кода.

С помощью компараторов К4–К6 фиксируются моменты времени перехода сигналами «а», «b», «с» через нулевое значение (рис. 2б), и образуется вторая последовательность логических переменных (рис. 2е–з). Этой последовательности присваиваются соответствующие разряды $Q_0, Q_1, Q_2, Q_3 = 0$ младшей тетрады двоично-десятичного кода.

В результате каждый из участков в 30 эл. град. напряжений А, В, С характеризуется своим двоично-десятичным кодом (или десятичным числом), общая последовательность которых на интервале 180 эл. град. имеет вид «64 – 44 – 45 – 55 – 51 – 11 – 13 – 33 – 32 – 22 – 26 – 46» (рис. 2и).

Таким образом, с помощью выходных блоков Л1 – Л3 можно выделить сигнал «1», продолжительность которого будет соответствовать требуемому интервалу управления силовыми вентилями ВП.



и) Последовательность десятичных чисел на интервале 180 эл. град.

64	44	45	55	51	11	13	33	32	22	26	46
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Рис. 2. Временные диаграммы сигналов (а–з) и таблица последовательности десятичных чисел (и) адаптивного компараторного интервало-кодового устройства синхронизации со следящей фиксацией точек естественной коммутации напряжения сети

Например, для трехфазного «нулевого» нереверсивного ВП (рис. 2а):

Интервал «1» – «1-1»					Интервал «3» – «3-1»					Интервал «5» – «5-1»				
44	45	55	51	11	11	13	33	32	22	22	26	46	64	44

Для трехфазного мостового реверсивного ВП:

Интервал «1» – «2»						Интервал «3» – «4»						Интервал «5» – «6»					
44	45	55	51	11	13	11	13	33	32	22	26	22	26	46	64	44	45

Кроме того, для систем управления, например, электроприводом постоянного тока с независимым возбуждением подобное УС может использоваться в качестве магистрального канала синхронизации, формирующего одновременно сигналы синхронизации для трехфазного ВП якоря электродвигателя и однофазного ВП его цепи возбуждения. При этом в схему УС (рис. 1) будут лишь добавлены дополнительные блоки «И-ИЛИ», обеспечивающие выделение требуемых интервалов синхронизации для второго ВП.

При этом как симметричное, так и асимметричное изменение амплитуд фазных напряжений не вносит ошибку в процесс синхронизации, так как в УС происходит попарная (следящая) фиксация точек естественной коммутации сигналов разверток «а», «b», «с» и моментов их перехода через нулевой уровень (рис. 2б).

На рис. 3 приведена характеристика $\Delta\bar{\alpha}_c = f(\bar{A}_c, \Delta\bar{f}_c)$, полученная путем моделирования УС в пакете «Matlab + Simulink», которая показывает, что погрешность процесса синхронизации не зависит от амплитуды сигнала синхронизации, а определяется только частотой напряжения сети, причиной чего являются фильтры Ф-А, Ф-В, Ф-С.

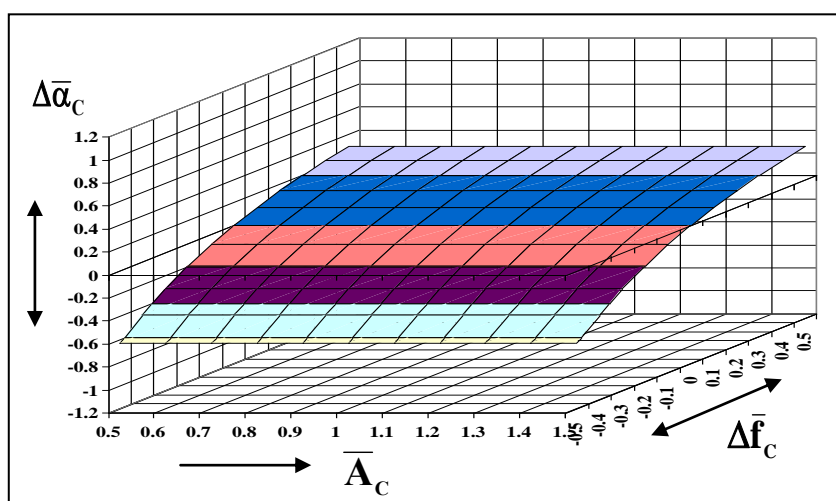


Рис. 3. Характеристика $\Delta\bar{\alpha}_c = f(\bar{A}_c, \Delta\bar{f}_c)$ адаптивного компараторного интервало-кодowego устройства синхронизации со следящей фиксацией точек естественной коммутации напряжения сети

Здесь: $\Delta\bar{\alpha}_c = (\alpha_c^* / \alpha_c) - 1$ – нормированное значение фактического угла синхронизации α_c^* по отношению к заданному $\alpha_c = 30$ эл. град.; $\bar{A}_c = A_c^* / A_c$ – нормированная амплитуда сигнала синхронизации A_c^* (напряжения сети) по отношению к его номинальному значению A_c ; $\Delta\bar{f}_c = (f_c^* / f_c) - 1$ – нормированная ошибка частоты сети f_c^* по отношению к ее номинальной величине f_c .

2. Интегрирующее интервало-кодowego устройство синхронизации

В системах с аномально искаженной сетью, например, на объектах с автономными энергетическими установками целесообразно использовать УС, в основе которого лежит принцип интегрирующего развертывающего преобразования [5]. Рассмотрим данный вариант построения УС (рис. 4) применительно к трехфазному мостовому выпрямителю, например, с раздельным управлением [5, 6].

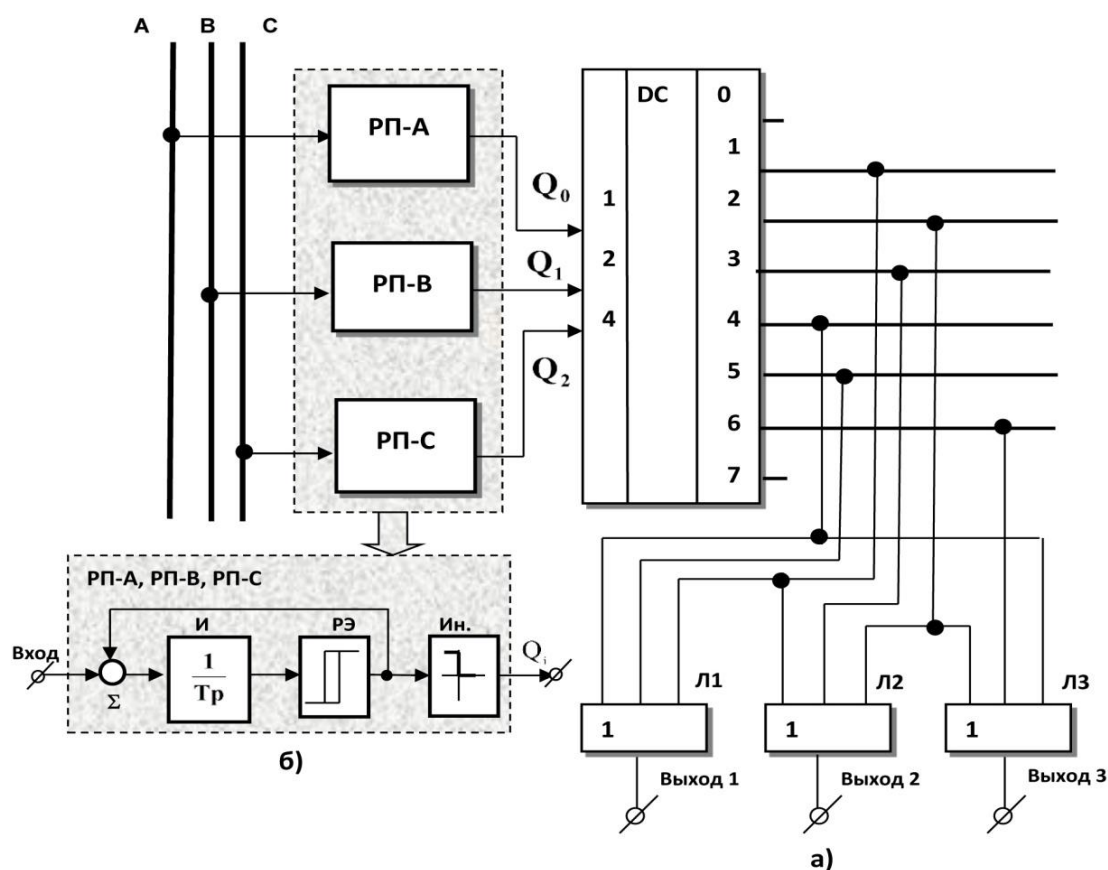


Рис. 4. Структурная схема адаптивного интегрирующего интервало-кодowego устройства синхронизации

Основу УС (см. рис. 4а) составляют идентичные по своей структуре интегрирующие развертывающие преобразователи РП-А, РП-В, РП-С. В их состав входят (см. рис. 4б) сумматор Σ , интегратор И с постоянной времени T и релейный элемент РЭ с неинвертирующей петлей гистерезиса. выходной сигнал РЭ меняется дискретно в пределах $\pm A$. В исходном состоянии РП-А, РП-В, РП-С представляют собой автоколебательные системы с частотно-широтно-импульсной модуляцией [7, 8], где выходной сигнал интегратора И ограничен по амплитуде порогами переключения РЭ и имеет пилообразную форму. Инвертор Ин. введен в схему для согласования выходов РП-А, РП-В, РП-С с последующими элементами цифровой электроники.

При подаче на вход, например, РП-А переменного напряжения сети с амплитудой, превышающей амплитуду выходных импульсов РЭ в 2,0–4,0 раза развертывающий преобразователь переходит в режим внешней синхронизации, когда частота его выходных импульсов оказывается равной частоте напряжения сети. Если частота собственных автоколебаний РП-А выбрана равной частоте напряжения сети, то фазовый сдвиг между сигналом синхронизации и выходными импульсами РЭ (инвертора Ин.) становится

равным -90 эл. град. (см. рис. 2а–г) [9], а сам развертывающий преобразователь приобретает свойства апериодического фильтра первого порядка:

$$W(p) = \frac{1}{1 + T_{\text{э}}p},$$

с постоянной времени:

$$T_{\text{э}} \approx \frac{\pi}{16} T_c \bar{A}_c,$$

где $\bar{A}_c = |A_c / A|$ – относительное значение амплитуды A_c напряжения сети с периодом T_c [10].

Таким образом, РП в режиме внешней синхронизации приобретает свойства фильтра, постоянная времени которого автоматически перестраивается в функции параметров напряжения сети. Следует также учитывать, что, по сравнению с фильтрами Ф-А, Ф-В, Ф-С (см. рис. 1), РП является замкнутой системой с интегратором в прямом канале регулирования, что положительно сказывается на временной и температурной стабильности характеристик каналов синхронизации.

В дальнейшем считаем, что РП-А формирует сигнал Q_0 младшего разряда, а РП-С – сигнал Q_2 старшего разряда двоичного кода (рис. 5б–г), которые поступают на дешифратор DC (рис. 4а).

Тогда каждому из участков «1-2», «2-3», «3-4», «4-5», и «5-6» трехфазной системы напряжений (рис. 5а) будет соответствовать свое десятичное число из ряда «4 – 5 – 1 – 3 – 2 – 6» (рис. 5д).

Объединяя соответствующие числа по функции «ЗИЛИ» с помощью логических элементов Л1–Л3 на выходе УС сформируются импульсы логической «1» (рис. 5е–з), длительность которых соответствует интервалам «1-4», «3-6», и «5-2» точек естественной коммутации фаз А, В, С, в пределах которых осуществляется регулирование угла управления тиристорами в мостовом реверсивном преобразователе.

Характеристика $\Delta \bar{\alpha}_c = f(\bar{A}_c, \Delta \bar{f}_c)$ для УС с РП практически аналогична той, которая приведена на рис. 3. В данном случае при колебаниях амплитуды напряжения синхронизации (сети) интегратор. И стремится поддерживать среднее значение выходных импульсов, равным нулю, в результате чего происходит компенсация ошибки синхронизации.

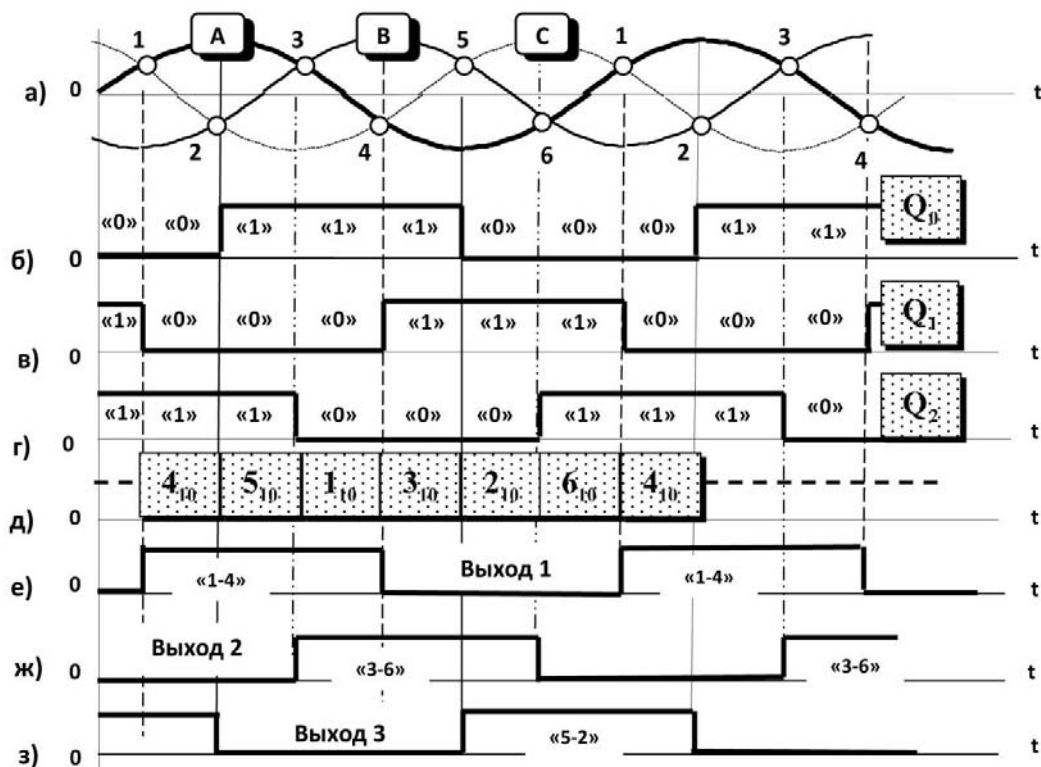


Рис. 5. Временные диаграммы сигналов адаптивного интегрирующего интервало-кодowego устройства синхронизации

Выводы

Предложено устройство синхронизации со следящей фиксацией точек естественной коммутации напряжения сети, где с помощью апериодических фильтров первого порядка создается вспомогательная система трехфазных напряжений, сдвинутая относительно основной на -60 эл. град. В результате попарного сравнения напряжений сети с помощью компараторов получается числовой ряд, из которого выборочно можно получить сигнал синхронизации для требуемой силовой схемы вентильного преобразователя. В сетях с малым уровнем искажений постоянная времени сглаживающих фильтров может быть выбрана на уровне -30 эл. град.

К числу недостатков компараторного УС следует отнести высокую чувствительность компараторов к внешним помехам и разомкнутый характер структуры входных фильтров, что отрицательно влияет на метрологические характеристики каналов синхронизации.

Рассмотрено интегрирующее интервало-кодowego устройство синхронизации, выполненное на основе развертывающих автоколебательных преобразователей, работающих в режиме внешней синхронизации с частотой напряжения сети. При этом каналы синхронизации приобретают свойства адаптивных апериодических фильтров первого порядка с постоянной времени, определяемой параметрами напряжения сети. Даны рекомендации по выбору условий синхронизации.

Интегрирующее интервало-кодое устройство синхронизации обладают более высокими метрологическими характеристиками по причине замкнутого характера своей структуры и наличия интегратора в прямом канале регулирования.

Предложенные УС могут быть рекомендовано для силовых вентильных преобразователей, работающих с энергосистемами, имеющими существенную нестабильность амплитуды напряжения сети.

Библиографический список

1. Осипов, О.И. Техническое диагностирование автоматизированного электропривода постоянного тока: дис. ... д-ра техн. наук / О.И. Осипов. – Челябинск: ЧПИ, 1995. – 405 с.
2. Чернов, Е.А. Комплектные электроприводы станков с ЧПУ: справочное пособие / Е.А. Чернов, В.П. Кузьмин. – Горький: Волго-вятское книжное издательство, 1989. – 320 с.
3. Темников, Ф.Е. Математические развертывающие системы / Ф.Е. Темников, В.Е. Славинский. – М.: Энергия, 1970. – 120 с.
4. Цытович, Л.И. Развертывающие преобразователи для систем управления вентильными электроприводами и технологической автоматикой: дис. ... д-ра техн. наук / Л.И. Цытович. – Челябинск: ЧГТУ, 1996. – 464 с.
5. Цытович, Л.И. Развертывающий операционный усилитель с перестраиваемой полосой пропускания / Л.И. Цытович // Приборы и техника эксперимента. – 1979. – № 4. – С. 149–152.
6. Цытович, Л.И. Тиристорная станция управления интегрирующего типа для плавного пуска асинхронных электродвигателей / Л.И. Цытович, Р.Х. Гафиятуллин, Р.М. Рахматуллин, М.М. Дудкин, С.И. Шкаликов, Ю.Г. Попов, В.А. Тюгаев, А.А. Габорик, С.И. Складов // Наука и технологии. Избранные труды Российской школы «К 70-летию Г.П. Вяткина». – М.: РАН, 2005. – С. 520–526.
7. Дудкин, М.М. Интегрирующие фазосдвигающие устройства для управления силовыми вентильными преобразователями: дис. ... канд. техн. наук / М.М. Дудкин. – Челябинск: ЮУрГУ, 2007. – 225 с.
8. Цытович Л.И. Реверсивный тиристорный преобразователь для систем управления с питанием от сети с нестационарными параметрами / Л.И. Цытович, Р.М. Рахматуллин, М.М. Дудкин, А.В. Качалов // Практическая силовая электроника. – 2009. – № 34. – С. 35–41.

[К содержанию](#)