

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

УДК 62 - 83:681.51(075.8)

АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА СИНХРОНИЗАЦИИ ТРЕХФАЗНОГО МОСТОВОГО РЕВЕРСИВНОГО ТИРИСТОРНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Л.И. Цытович, А.В. Качалов, М.М. Дудкин, Р.М. Рахматулин
г. Челябинск, ЮУрГУ

THE DECISION OF THE TASK OF STRUCTURAL IDENTIFICATION OF MATHEMATICAL MODEL OF HEATING INSTALLATION

L.I. Tsitovich, A.V. Kachalov, M.M. Dudkin, R.M. Rakhmatulin
Chelyabinsk, SUSU

Рассмотрен принцип построения адаптивного к нестабильности напряжения сети канала синхронизации тиристорного преобразователя. Приведены результаты его моделирования в пакете MatLab + Simulink и дана оценка характеристик адаптивного и традиционного принципов синхронизации.

Ключевые слова: тиристорный преобразователь, системы управления, устройство синхронизации, адаптация.

The article considers the aufbau principle of thyristor-based converter's synchronizing channel adaptive to line voltage instability. The results of its simulation the in Matlab + Simulink system are given, characteristics of adaptive and traditional principles of synchronisation are estimated.

Keywords: thyristor-based converter, control systems, synchronisation device, adaptation.

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 тиристорных преобразователей (ТП), но и технологических установок в целом. Поэтому создание систем управления ТП, способных адаптироваться к изменяющимся параметрам сети, является актуальной задачей, направленной на повышение надежности работы всего комплекса электротехнического оборудования промышленных предприятий.

В синхронных системах управления ТП (рис. 1) [1], характеризующихся наиболее высоким быстродействием, каждый из каналов систем импульсно-фазового управления (СИФУ) синхронизирован с соответствующей фазой А, В, С напряжения сети через устройства синхронизации УС-А, УС-В, УС-С, которые формируют сигналы логической «1» на интервале времени, где соответствующий тиристор блока силовых вентилей (БСВ) может быть переведен в открытое состояние.

Для этих целей зачастую используются схемы регенеративных компараторов (рис. 2, а) [2] на основе линейного звена ЛЗ с высоким значением собственного коэффициента усиления и резистивными звеньями $K_{ВХ}$, $K_{ОС}$ на входе и в цепи положительной обратной связи. Ширина петли гистерезиса УС (рис. 2, б) определяется соотношением резисторов R1, R2 (рис. 2, в) и амплитудой $\pm A$ выходных импульсов (ЛЗ) (напряжением источника электропитания, в качестве которого традиционно используется стабилизатор напряжения (СН).

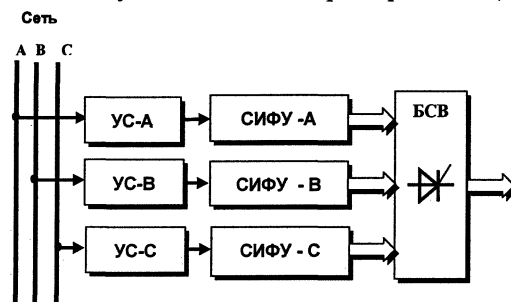


Рис. 1. Функциональная схема синхронной системы управления ТП

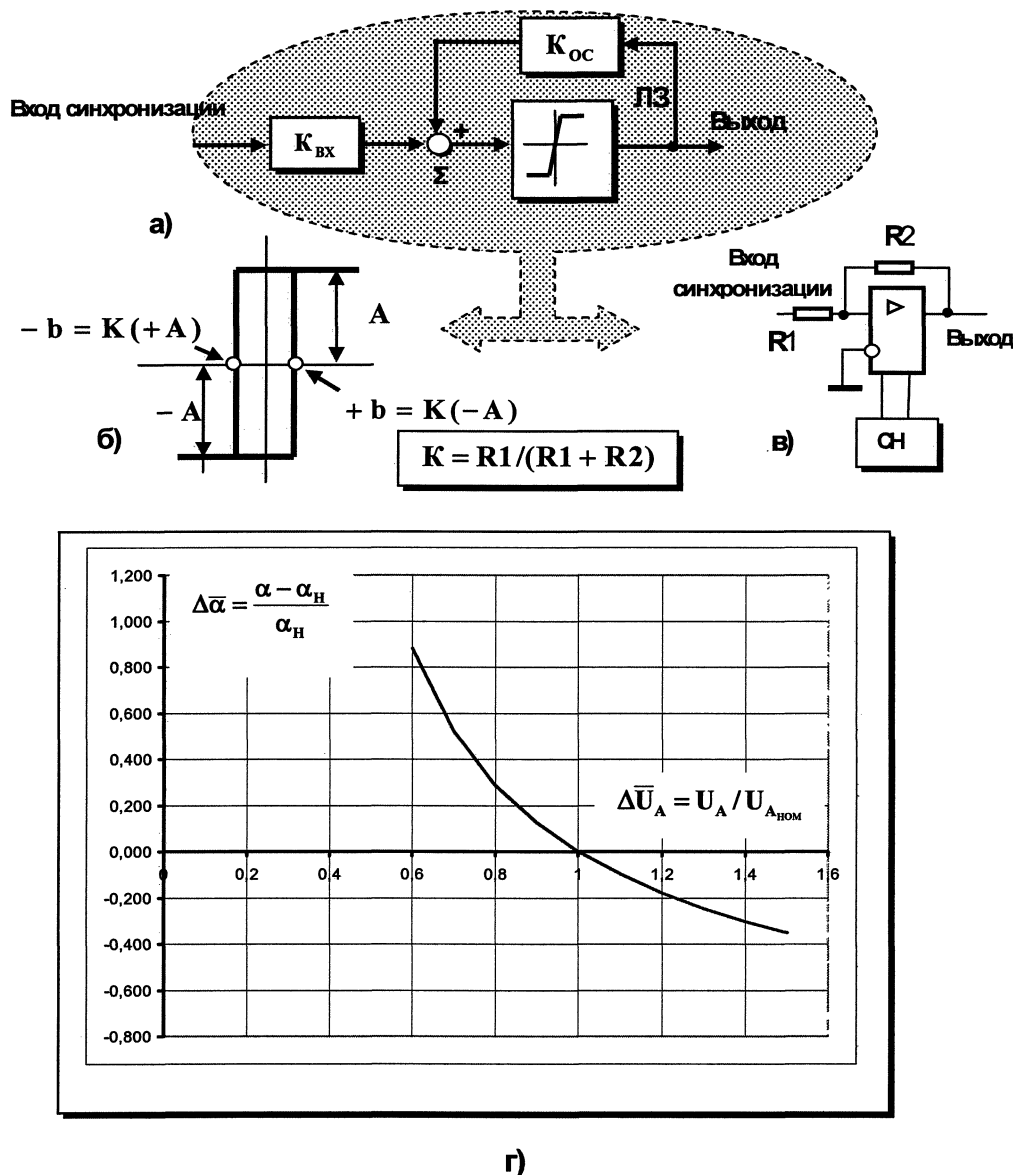


Рис. 2. Обобщенная структурная схема (а), характеристика «вход-выход» (б), пример технической реализации (в) и график погрешности (г) компараторного устройства синхронизации с независимым уровнем фиксации

Ширина петли гистерезиса УС $\pm b$ (см. рис. 2, б) настраивается таким образом, чтобы передний и задний фронты импульса синхронизации совпадали с точками естественной коммутации, в пределах которых разрешается работа соответствующих клапанов БСВ (см. рис. 1).

На рис. 2, г приведен график зависимости $\Delta \bar{\alpha} = f(\Delta \bar{U}_A)$, полученный в результате моделирования процессов в синхронном реверсивном мостовом тиристорном преобразователе (см. рис. 1) в среде MatLab + Simulink при неустойчивости напряжения сети. Здесь: $\Delta \bar{\alpha} = (\alpha - \alpha_H) / \alpha_H$ – нормированная ошибка угла синхронизации α при его начальном заданном значении $\alpha_H = 30$ эл. град; $\Delta \bar{U}_A = U_A / U_{A_{ном}}$ – относительная неустойчивость

амплитуды U_A напряжения сети при ее номинальном значении $U_{A_{ном}}$.

Для этих целей зачастую используются схемы регенеративных компараторов (рис. 2, а) [2] на основе линейного звена ЛЗ с высоким значением собственного коэффициента усиления и резистивными звеньями K_{BX} , K_{OC} на входе и в цепи положительной обратной связи. Ширина петли гистерезиса УС (см. рис. 2, б) определяется соотношением резисторов $R1$, $R2$ (см. рис. 2, в) и амплитудой $\pm A$ выходных импульсов ЛЗ (напряжением источника электропитания, в качестве которого традиционно используется стабилизатор напряжения СН).

Полученные результаты свидетельствуют о том, что применение компараторных УС с постоянным уровнем фиксации синхронизирующего сигнала затруднительно в энергосистемах с неста-

ционной амплитудой напряжения сети. Так, при отклонениях напряжения фазы А (рис. 2, г) в пределах $\pm 10\%$ ошибка $\Delta\bar{\alpha}$ начального угла синхронизации также будет находиться в области $\pm 10\%$, что приведет к значительным искажениям характеристик ТП.

Частично проблемы ТП, связанные с нестабильностью амплитуды сети, могут быть решены путем использования адаптивного компараторного УС (рис. 3, а) [3], которое отличается от традиционной схемы (см. рис. 2, а) наличием демодулятора ДМ n -фазной системы синхронизирующих сигналов $X_{C1}, X_{C2}, \dots, X_{Cn}$, амплитудного модулятора

АМ и сглаживающего фильтра Φ , например первого порядка.

Наличие последнего в структуре УС необходимо только в случае $n=1$. В результате характеристика «вход-выход» УС (рис. 3, б) оказывается нестационарной во времени и изменяется в зависимости от параметров системы синхронизирующих воздействий. На практике подобная структура УС может быть реализована, например, на операционном усилителе с питанием от нестабилизированного выпрямленного напряжения с выхода трехфазного «нулевого» выпрямителя (рис. 3, в). Рассмотрим подробнее режимы работы подобного устройства.

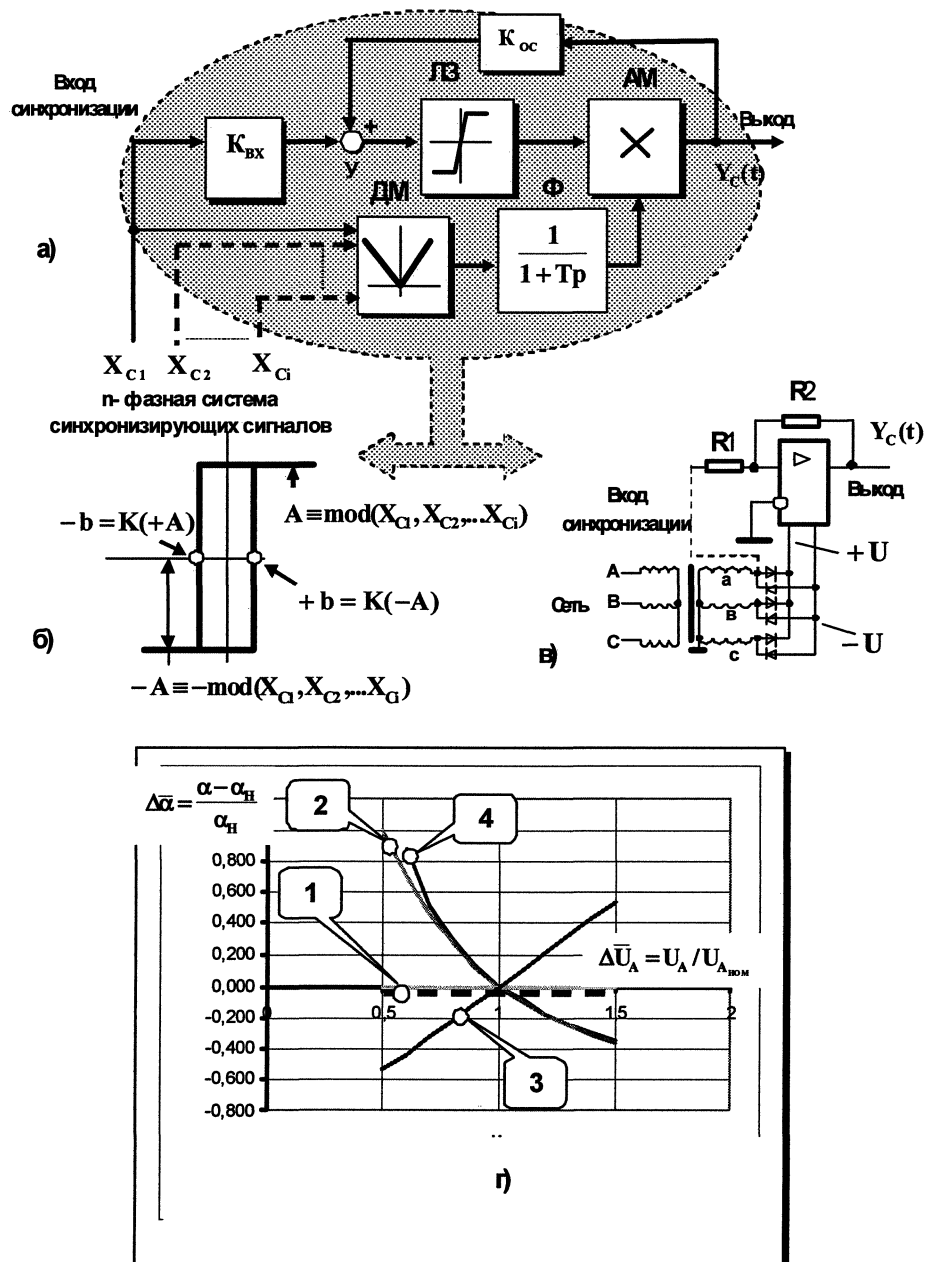


Рис. 3. Обобщенная структурная схема (а), характеристика «вход-выход» (б), пример технической реализации (в) и графики погрешности (г) адаптивного устройства синхронизации с зависимым уровнем фиксации синхронизирующего воздействия

В результате демодуляции трехфазной системы напряжений a, b, c формируются напряжения постоянного знака $+U$ и $-U$ (рис. 4, а), которые определяют закон изменения вершины импульсов на выходе компаратора и, следовательно, характер его порогов переключения. При этом $+U$ формирует порог фиксации $-b(t)$, а напряжение $-U$ – пороговый уровень $+b(t)$ (рис. 4, б). Во времени каждый из пороговых уровней $\pm b(t)$ включает в себя периодическую пульсирующую составляющую фаз a, b, c (рис. 4, б). Путем соответствующего подбора амплитуды, например фазы a обеспечивается переключение УС в точках 1 и 2 (рис. 4, а, б, моменты времени t_1 и t_2 соответственно).

В результате на выходе УС формируется импульсный сигнал $Y_c(t)$ (рис. 4, в, г) с пульсирующей

амплитудой. При синхронном изменении амплитуды фаз напряжения сети (например, увеличении на ΔA , рис. 4, б) происходит пропорциональный рост порогов фиксации $\pm b(t)$ до уровня $\pm b(t) \pm \Delta b$. В результате точки фиксации 1 и 2 перемещаются вертикально в положения 1-1 и 2-2 соответственно (рис. 4, б), однако моменты времени t_1 и t_2 переключения УС сохраняются неизменными. При этом ошибка синхронизации полностью отсутствует как при увеличении, так и при уменьшении амплитуд фаз напряжения сети (см. рис. 3, г, зависимость 1).

При этом схема системы синхронизации ТП (рис. 5) отличается от традиционной (см. рис. 1) тем, что в формировании сигнала синхронизации по каждому из каналов принимают участие две фазы напряжения сети. Так для канала фазы A синхронизирующим воздействием является

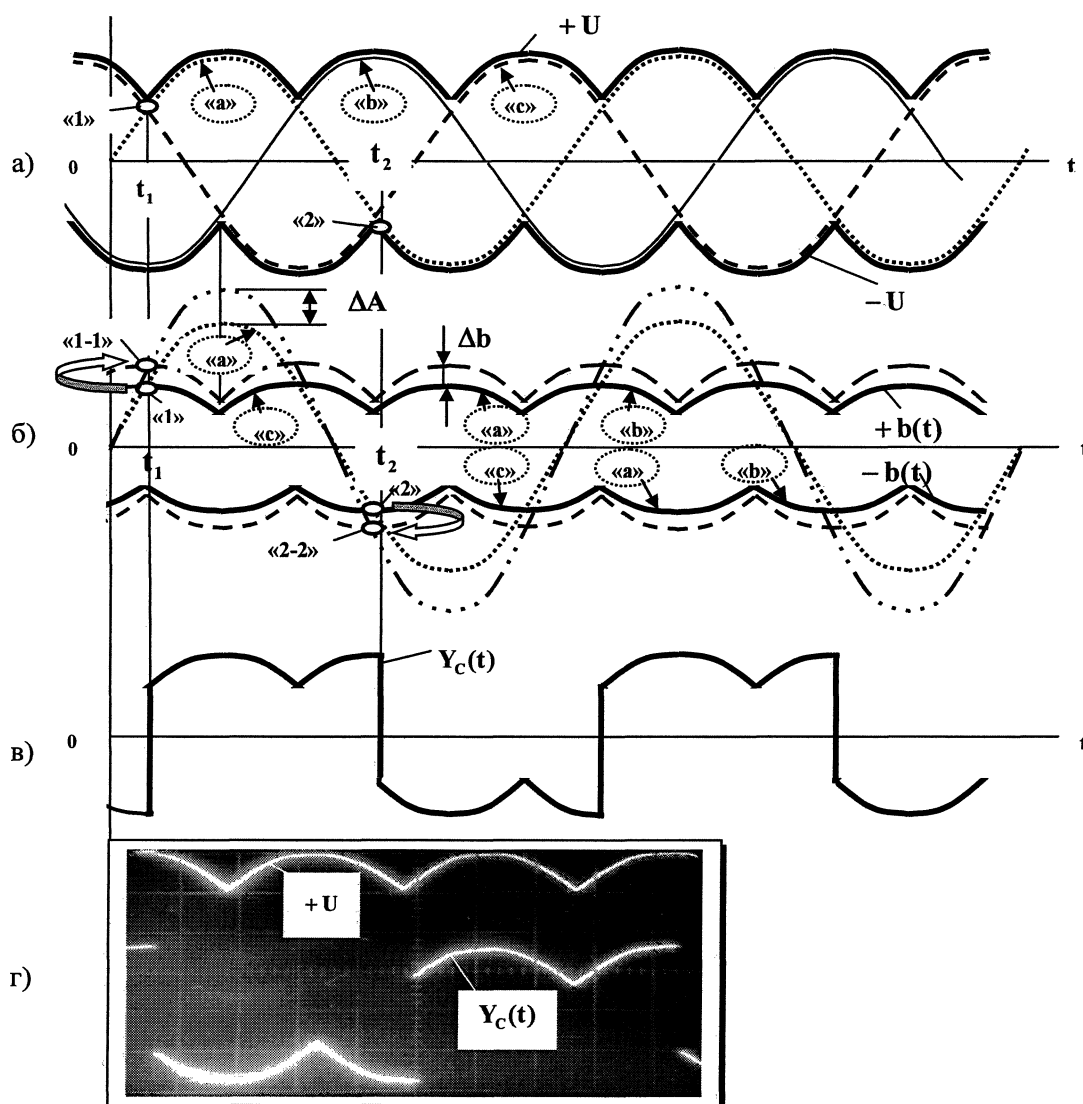


Рис. 4. Временные диаграммы сигналов (а, б, в) и осциллограмма (г) адаптивного устройства синхронизации при симметричной нестабильности фазных напряжений

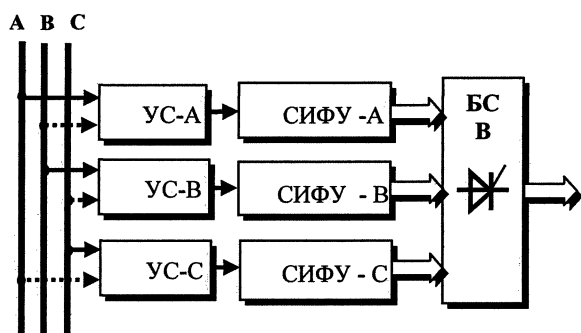


Рис. 5. Функциональная схема адаптивной синхронной системы управления ТП

непосредственно фазой A , а уровень фиксации определяется фазой B . Для канала фазы B уровень фиксации зависит от состояния фазы C , а в канале управления фазы C пороговый уровень диктуется фазой A .

Подобное положение отрицательно сказывается при работе ТП в случае асимметричного изменения амплитуд напряжений фаз сети.

Предположим, что на величину ΔA умень-

шилась амплитуда фазы b (рис. 6 а). Это влечет за собой смещение уровня фиксации компаратора для сигнала синхронизации фазы a (рис. 6 б), в результате чего точки 1 и 2 перемещаются в положения 1-1 и 2-2 соответственно как по горизонтальной, так по вертикальной осям. При этом появляется ошибка синхронизации $\Delta\alpha$ в фазе, амплитудное значение которой соответствует номинальному уровню. Аналогичная ошибка, только с противоположным знаком, будет и в случае, когда на величину ΔA изменилась амплитуда фазы a , а фаза b осталась неизменной (рис. 6 в).

На рис. 3 г приведены результаты моделирования ТП при асимметрии фазных напряжений (зависимости 2, 3), когда только фаза a имеет нестабильную амплитуду.

В этом случае погрешность синхронизации в канале управления фазы a изменяется по кривой 2, а в фазе c соответствует зависимости 3 (кривая 4 соответствует схеме УС на рис. 2 а). Одновременно с этим для фазы b $\Delta\alpha = 0$, так как работа ее канала синхронизации зависит от фаз b и c , которые в данном случае имеют номинальное значение.

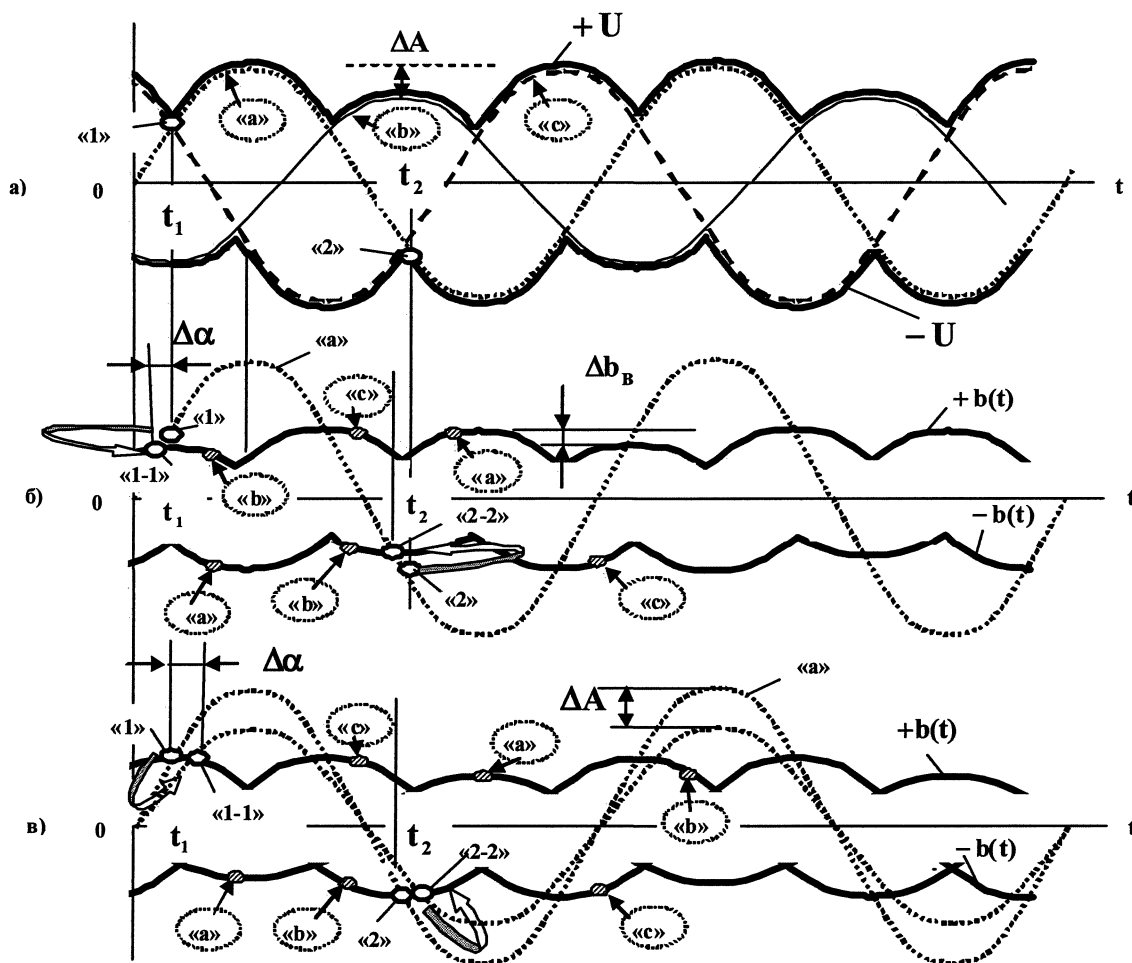


Рис. 6. Временные диаграммы сигналов адаптивного устройства синхронизации при нестабильности амплитуды фазы b и a

ние. Обращает на себя внимание тот фактор, что $\Delta \bar{\alpha}$ для a и c (рис. 3, г, кривые 2, 3) изменяется в противоположных по знаку направлениях, что при определенных схемотехнических решениях в СИФУ и режимах работы ТП может вызвать эффект взаимной компенсации этих ошибок.

В любом случае рассмотренную адаптивную систему синхронизации ТП целесообразно рекомендовать к применению на объектах, где подавляющая доля результирующей нагрузки приходится на трехфазные потребители, когда наблюдается симметричная неустойчивость по всем фазам одновременно.

Литература

1. Управление вентильными электроприводами постоянного тока / Е.Д. Лебедев, В.Е. Неймарк, М.Я. Пистрак, О.В. Слежановский – М.: Энергия, 1970.
2. Волович, Г.И. Схемотехника аналоговых и аналогово-цифровых электронных устройств / Г.И. Волович. – М.: ИД «Додэка-XXI», 2005.
3. А.с. 1731014 СССР, Н02М7/155. Система импульсно-фазового управления / Л.И. Цытович, В.Г. Маурер, Р.М. Рахматулин. – № 4804663/07; заявлено 20.03.90; опублик. 15.04.92, Бюл. № 12.

Поступила в редакцию 20.01.2009 г.

Цытович Леонид Игнатьевич – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой электропривода Южно-Уральского государственного университета. Область научных интересов: информационно-измерительные устройства и комплексы систем управления технологическими процессами.

Контактный телефон: 8-(351) 267-93-85.

Tsitovich Leonid Ignatievich – Doctor of technical science, Professor, Head of the Electric Drive department of South Ural State University, Chelyabinsk. Scientific interests: informational and measuring devices and complexes of control systems.

Contact phone: 8-(351) 267-93-85.

Качалов Андрей Валентинович – аспирант кафедры электропривода Южно-Уральского государственного университета. Область научных интересов: системы управления электроприводов и технологических установок.

Контактный телефон: 8-(351) 267-94-32.

Kachalov Andrey Valentinovich – post-graduate student of the Electric Drive department of South Ural State University, Chelyabinsk. Scientific interests: control systems of electrical drives and installations.

Contact phone: 8-(351) 267-94-32.

Дудкин Максим Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры электропривода Южно-Уральского государственного университета. Область научных интересов: элементы и устройства систем управления силовыми вентильными преобразователями.

Контактный телефон: 8-(351) 267-93-21.

Dudkin Maxim Mihailovich – candidate for a scientific degree in technical sciences, associate professor of the Electric Drive department of South Ural State University, Chelyabinsk. Scientific interests: elements and devices of control systems of power converters.

Contact phone: 8-(351) 267-93-21.

Рахматулин Раис Мухибович – ведущий инженер кафедры электропривода Южно-Уральского государственного университета. Область научных интересов: элементы и устройства систем управления промышленными объектами.

Контактный телефон: 8-(351) 267-91-05.

Rakhmatulin Rais Mukhibovich, leading engineer of the Electric Drive department of South Ural State University, Chelyabinsk. Scientific interests: elements and devices of control systems of industrial installations.

Contact phone: 8-(351) 267-91-05.