

# ИНТЕГРИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА СИНХРОНИЗАЦИИ ВЕНТИЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

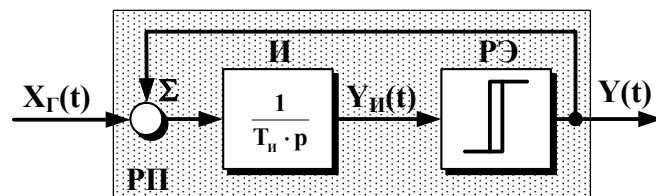
*А.В. Качалов, Л.И. Цытович, Р.М. Рахматулин*

Интегрирующие устройства синхронизации (УС) являются эффективным средством адаптации характеристик вентильных преобразователей (ВП) к нестационарным параметрам источников электроснабжения и повышения надежности работы всего комплекса технологического оборудования в условиях высокого уровня коммутационных искажений напряжения сети [1].

Проведенный на кафедре электропривода ЮУрГУ анализ статических и динамических характеристик основных типов интегрирующих УС на базе пакета «Matlab+Simulink» позволяет сделать следующие основные выводы (рис. 1–5).

Однокаскадное интегрирующее УС (рис. 1) на базе автоколебательного интегрирующего развертывающего преобразователя (РП) [2, 4], содержащего сумматор  $\Sigma$ , интегратор И и релейный элемент РЭ с симметричной относительно «нуля» петель гистерезиса, является наиболее простым типом УС, требующим минимум аппаратных затрат при его реализации. УС работает в режиме внешней синхронизации с частотой напряжения сети  $X_{\Gamma}(t)$ . Глубина синхронизации выбирается на уровне  $\bar{A}_{\Gamma} = 4,0 \dots 6,0$ , что оптимально для сочетания в УС достаточно хороших фильтрующих свойств и быстродействия. Данное УС предназначено для трехфазных ВП с «просадками» амплитуды напряжения сети до 25 %. В противном случае УС может «выйти» из режима внешней синхронизации, что приведет к переходу РП в режим собственных автоколебаний, влекущим за собой аварийное отключение ВП. Достоинством данного УС является низкий уровень ошибок замедленной дискретизации.

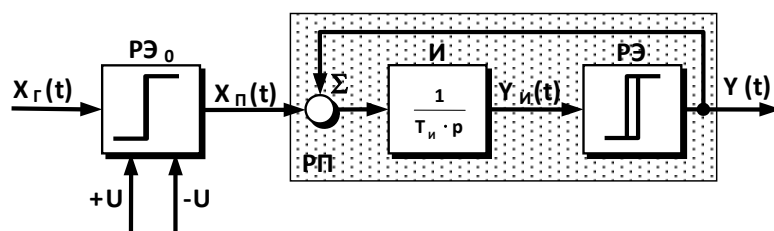
Здесь и далее  $A_{\Gamma}, \bar{A}_{\Gamma} = |A_{\Gamma}/A|$  – амплитуда сигнала синхронизации  $X_{\Gamma}(t)$  и ее нормированное значение соответственно;  $\pm A$  – амплитуда выходных импульсов РЭ1, РЭ2 и РЭ0;  $\Delta\bar{\alpha}_C = 1 - \alpha_C/\alpha_C^*$  – нормированное отклонение заданного значения  $\alpha_C$  угла синхронизации при его реальном значении  $\alpha_C^*$ .



$\Delta\bar{\alpha}_C$ при $\Delta\bar{A}_Г = \pm 20\%$	$\Delta\bar{\alpha}_C$ при $\Delta\bar{f}_Г = \pm 15$ Гц; $A_Г/A = 4,0$	$\Delta\bar{\alpha}_C$ при $\Delta\bar{f}_Г = \pm 15$ Гц; $A_Г/A = 8,0$
$\pm\Delta = 0$	$+\Delta = 0,062$ ; $-\Delta = -0,063$	$+\Delta = 0,038$ ; $-\Delta = -0,038$
<b>Рекомендуемая область применения:</b> трехфазные ВП, работающие в сети с повышенным уровнем высокочастотных помех и коммутационных искажений в системах управления низкой и средней точности.		

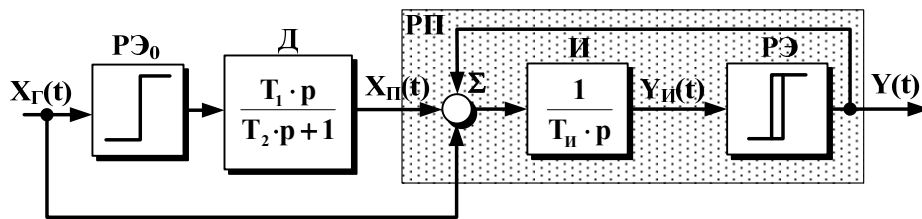
Рис. 1. Интегрирующее УС на базе РЭ

Комбинированные УС [3] (рис. 2, 3) предназначены для ВП, где предъявляются высокие требования к быстродействию каналов синхронизации. Здесь за счет наличия входного релейного элемента РЭ0 глубина синхронизации РЭ может выбираться на уровне  $\bar{A}_Г = 1,2 \dots 1,5$  что снижает инерционность УС по сравнению с однокаскадным РЭ в 3–4 раза. Вместе с тем, данный тип УС имеет повышенный уровень ошибок замедленной дискретизации (примерно на порядок уступает однокаскадному РЭ, рис. 1), что не позволяет применять его в ВП, работающих с высоким уровнем высокочастотных гармоник напряжения сети. Кроме того, схема на рис. 2 не способна даже частично адаптироваться к колебаниям частоты напряжения сети при изменении глубины синхронизации входного релейного элемента РЭ0. Последнее качество делает проблематичным возможность ее применения в ВП автономных системах управления.



$\Delta\bar{\alpha}_C$ при $\Delta\bar{A}_Г = \pm 20\%$	$\Delta\bar{\alpha}_C$ при $\Delta\bar{f}_Г = \pm 15$ Гц; $A_Г/A = 4,0$	$\Delta\bar{\alpha}_C$ при $\Delta\bar{f}_Г = \pm 15$ Гц; $A_Г/A = 8,0$
$\pm\Delta = 0$	$+\Delta = 0,075$ ; $-\Delta = -0,075$	$+\Delta = 0,075$ ; $-\Delta = -0,075$
<b>Рекомендуемая область применения:</b> трехфазные ВП с повышенным быстродействием канала синхронизации, работающие в сетях с низким уровнем высокочастотных помех и провалах амплитуды сети (не более 5%). САУ низкой и средней точности.		

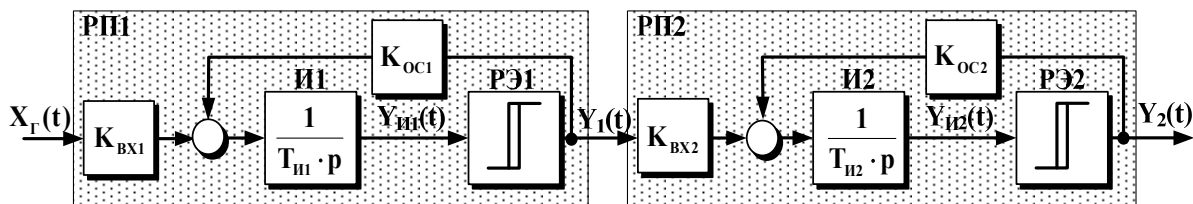
Рис. 2. Комбинированное интегрирующее УС



$\Delta\bar{\alpha}_C$ при $\Delta\bar{A}_Г = \pm 20\%$	$\Delta\bar{\alpha}_C$ при $\Delta\bar{f}_Г = \pm 15$ Гц; $A_Г/A = 4,0$	$\Delta\bar{\alpha}_C$ при $\Delta\bar{f}_Г = \pm 15$ Гц; $A_Г/A = 8,0$
$\pm\Delta = 0$	$+\Delta = 0,075$ ; $-\Delta = -0,075$	$+\Delta = 0,050$ ; $-\Delta = -0,050$
<b>Рекомендуемая область применения:</b> трехфазные ВП с повышенным быстродействием канала синхронизации при работе с сетью с низким уровнем высокочастотных помех и провалах амплитуды (до 50%). САУ низкой и средней точности.		

Рис. 3. Адаптивное комбинированное интегрирующее УС

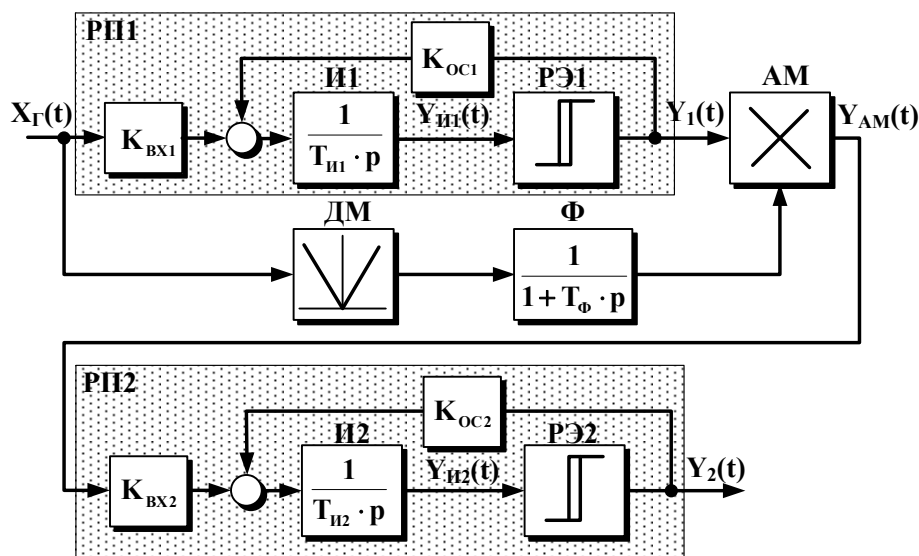
Каскадные УС (рис. 4, 5) в первую очередь отличаются гибкой структурой, позволяющей применять их для управления ВП с любой фазностью напряжения сети. В структуре УС (рис. 4) [4] синхронизация РП2 производится выходным сигналом РП1, который, в свою очередь, синхронизирован напряжением сети. Подобное УС целесообразно использовать в стационарных сетях, где колебания частоты напряжения незначительны.



$\Delta\bar{\alpha}_C$ при $\Delta\bar{A}_Г = \pm 20\%$	$\Delta\bar{\alpha}_C$ при $\Delta\bar{f}_Г = \pm 15$ Гц; $A_Г/A = 4,0$	$\Delta\bar{\alpha}_C$ при $\Delta\bar{f}_Г = \pm 15$ Гц; $A_Г/A = 8,0$
$\pm\Delta = 0$	$+\Delta = 0,138$ ; $-\Delta = -0,138$	$+\Delta = 0,119$ ; $-\Delta = -0,118$
<b>Рекомендуемая область применения:</b> однофазные и трехфазные ВП, работающие в сетях с повышенным уровнем высокочастотных помех. Обладают повышенными функциональными возможностями и гибкой архитектурой, получаемой при цифровой обработке сигналов УС с помощью микропроцессора. САУ низкой и средней точности в сетях со стабильной частотой напряжения.		

Рис. 4. Каскадное УС с двумя последовательными каскадами

Введение канала амплитудной модуляции (рис. 5) на основе амплитудного модулятора АМ, демодулятора ДМ и сглаживающего фильтра Ф [5] частично улучшает работу УС при колебаниях частоты сети, но в целом уровень погрешности работы УС в данном случае превышает аналогичный параметр однокаскадного УС (см. рис. 1) примерно в 2 раза.



$\Delta\bar{\alpha}_C$ при $\Delta\bar{A}_r = \pm 20\%$	$\Delta\bar{\alpha}_C$ при $\Delta\bar{f}_r = \pm 15$ Гц; $A_r/A = 4,0$	$\Delta\bar{\alpha}_C$ при $\Delta\bar{f}_r = \pm 15$ Гц; $A_r/A = 8,0$
$\pm\Delta = 0$	$+\Delta = 0,117$ ; $-\Delta = -0,073$	$+\Delta = 0,081$ ; $-\Delta = -0,022$

**Рекомендуемая область применения:** Однофазные и трехфазные вентильные преобразователи, работающие в энергосистемах ограниченной мощности с повышенным уровнем высокочастотных помех. САУ низкой и средней точности. Также характеризуются гибкой архитектурой в микропроцессорных системах управления.

Рис. 5. Каскадное УС с каналом амплитудной модуляции

Таким образом, в каскадных УС достигается определенная «гибкость» их структуры, позволяющая, например, с использованием интервал-кодированного алгоритма обработки данных [6] синхронизировать с сетью практически любую схему ВП. Однако это достигается ценой ухудшения их метрологических характеристик при колебаниях частоты сети.

Несомненным достоинством всех типов интегрирующих УС является то, что они обладают нулевым уровнем статической ошибки преобразования при нестабильности амплитуды напряжения сети ввиду замкнутого характера своей структуры и наличия интегратора в прямом канале передачи информации.

#### 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. Цытович, Л.И. Развертывающий операционный усилитель с перестраиваемой полосой пропускания / Л.И. Цытович // Приборы и техника эксперимента. – М.: АН СССР, 1979. – № 4. – С. 149–152.
3. Пат. 2400910 Российская Федерация, МПК H02M 1/08. Адаптивное уст-

ройство синхронизации / Л.И. Цытович, М.М. Дудкин, А.В. Качалов, Р.М. Рахматулин. – № 2009113408/09; заявл. 09.04.2009; опубл. 27.09.2009, Бюл. № 27. – 8 с.

4. Качалов, А.В. Интегрирующие устройства синхронизации для систем импульсно-фазового управления вентильными преобразователями / А.В. Качалов, Л.И. Цытович, М.М. Дудкин // Практическая силовая электроника. – 2010. – № 1(37). – С. 42–51.

5. Пат. 2383985 Российская Федерация, МПК H02M 1/08. Устройство синхронизации / Л.И. Цытович, М.М. Дудкин, А.В. Качалов, Р.М. Рахматулин. – № 2008142655/09; заявл. 27.10.2008; опубл. 10.03.2010, Бюл. № 7. – 13 с.

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