

- [1] Самулеев В.И. Судовые электроэнергетические системы: курс лекций / В.И. Самулеев. – Н. Новгород : Изд-во ФГОУ ВПО «ВГАВТ», 2011. 444 с.
- [2] Самулеев В.И. Определение мощности судовой электростанции: учеб. пособие / В.И. Самулеев, В.В. Александров, Т.Н. Гусакова – Н. Новгород : Изд-во ФБОУ ВПО «ВГАВТ», 2013. – 100 с.
- [3] Лейкин В.С. Автоматизированные электроэнергетические системы промысловых судов: учебник / В.С. Лейкин, В.А. Михайлов – М. : Транспорт, 1987. – 327 с.

**В.Г. Сузаков, Ю.С. Малышев, А.А. Тоцев, И.И. Ягжов**  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

## УСТРОЙСТВО КОРРЕКЦИИ ФОРМЫ КРИВОЙ НАПРЯЖЕНИЯ

Качество электрической энергии, устройство коррекции формы кривой напряжения, напряжение, пассивные фильтры, активные фильтры

Рассмотрены существующие системы регулирования напряжения и корректоры напряжения генераторов переменного тока, а так же пассивные и активные фильтры. Выявлены недостатки указанных устройств и, учитывая выявленные недостатки, предложено устройство коррекции формы кривой напряжения, которое корректирует мгновенное значение напряжения, сети приближая его форму к идеальной синусоиде.

В настоящее время известны системы регулирования напряжения и корректоры напряжения генераторов переменного тока [1,2].

Система автоматического регулирования напряжения (САРН) представляет собой, как правило, комбинированные устройства компаундирования и регулятора (или корректора) напряжения. Комбинированные САРН реализуют принципы регулирования по отклонению и по возмущению, и обладают их достоинствами. В таких системах наряду с замкнутым контуром, образованным главной обратной связью, имеется цепь компенсации основного возмущающего воздействия. Такие системы с достаточно высокой точностью поддерживают величину выходного напряжения, однако недостатком существующих систем регулирования напряжения и корректоров напряжения генераторов переменного тока является невозможность сохранения синусоидальной формы кривой напряжения при работе на нелинейную нагрузку, вызывающую высшие гармонические составляющие.

Для устранения высших гармонических составляющих, как правило, применяют пассивные и активные фильтры [3], подавляющие высшие гармонические составляющие и улучшающие форму кривой напряжения в сети генераторов переменного тока автономных источников электрической энергии. Они работают по принципу измерения и передачи в сеть высших гармоник тока или напряжения, находящихся в противофазе с высшими гармониками сети.

Недостатком фильтров является недостаточная эффективность, обусловленная неидеальностью реальных фильтров, у которых частота среза не совпадает с частотой задерживания, и нестабильностью частоты автономных источников электрической энергии. Кроме того, фильтры настроены на определенный спектр гармонических составляющих, что не позволяет добиться достаточного качества формы кривой напряжения.

Учитывая недостатки проанализированных выше систем, предлагается устройство, которое позволяет корректировать форму кривой напряжения.

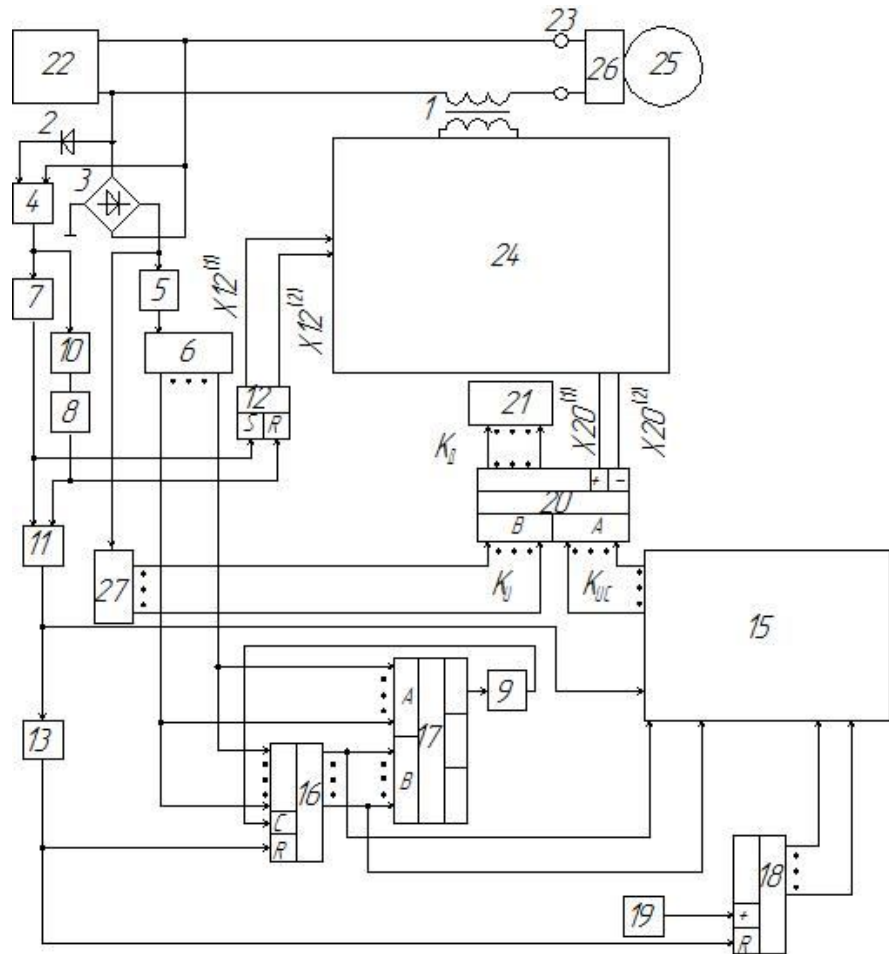


Рис. 1. Схема устройства коррекции кривой напряжения: 1 – вольтодобавочный трансформатор, 2 – однофазный однополупериодный первый выпрямитель, 3 – однофазный мостовой выпрямитель, 4 – формирователь-ограничитель, 5 – фильтр низких частот, 6, 27 – аналого-цифровой преобразователь (АЦП), 7, 8, 9 – формирователь коротких импульсов, 10 – логический элемент НЕ, 11 – логический элемент ИЛИ, 12 – RS-триггер, 13 – элемент задержки, 15 – блок формирования эталонной кривой напряжения, 16 – регистр памяти, 17 – числовой компаратор, 18 – суммирующий счетчик, 19 – генератор стабильных импульсов, 20 – вычитатель, 21 – цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП), 22 – нагрузка, 23 – шины источника, 24 – коммутатор, 25 – генератор переменного тока, 26 – система регулирования возбуждения.

Устройство работает следующим образом. При появлении положительной полуволны напряжения  $u(t)$  на нагрузке 22 она проходит через выпрямитель 2 и поступает на вход ограничителя-формирователя 4. На выходе ограничителя-формирователя 4 появляется прямоугольный импульс, длительность которого равна полупериоду напряжения  $u(t)$  на нагрузке 22 и напряжения  $u_c(t)$  на шинах источника 23. По фронту этого импульса формирователь 7 выдает короткий импульс, который проходит через логический элемент ИЛИ 11 и элемент задержки 13. Импульсом с выхода элемента задержки 13 обнуляются регистр памяти 16 и счетчик 18, подготавливая схему к измерению амплитуды и полупериода напряжения источника  $u(t)$ .

Одновременно напряжение  $u(t)$  с нагрузки 23 поступает на вход второго выпрямителя 3 и на его выходе появляется пульсирующее напряжение  $|u(t)|$ . Из его состава

ва исключаются высшие гармонические составляющие фильтром 5 и на вход первого АЦП 6 поступает гладкая положительная полуволна напряжения  $u(t)$ . На выходе АЦП 6 появляется код  $K_U$  мгновенного напряжения  $u(t)$ , который поступает на первый вход компаратора 17, и связан с напряжением  $u(t)$  выражением

$$K_U = u(t) / \Delta U_6, \quad (1)$$

где  $\Delta U_6$  – шаг квантования АЦП 6 и АЦП в составе блока формирования эталонной кривой напряжения 15.

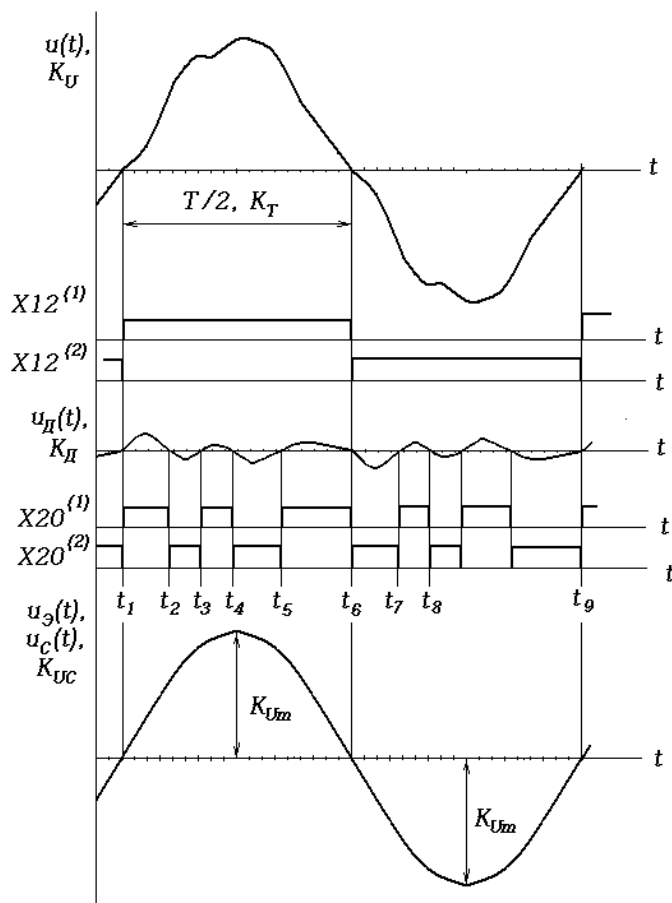


Рис. 2. Эпюры сигналов на основных элементах схемы.

Далее в регистре памяти 16 через компаратор 17 и формирователь 9 происходит процесс перезаписи кода мгновенного значения напряжения  $u(t)$ . Перезапись происходит до момента записи в регистр 16 кода  $K_{Um}$  амплитудного значения напряжения  $u(t)$ , который поступает на разряды информационного входа регистра 14 и связан с амплитудой  $U_m$  напряжением  $u(t)$  выражением

$$K_{Um} = U_m / \Delta U_6, \quad (2)$$

Одновременно с появлением положительной полуволны напряжения  $u(t)$  после обнуления счетчика 18, он начинает подсчет числа импульсов стабильной частоты, поступающих с выхода генератора 19. На выходе счетчика 18 формируется код  $K_T$  полупериода напряжения  $u(t)$ , который связан с периодом  $T$  напряжения  $u(t)$  выражением

$$T=2 T_{\text{Э}} \cdot K_T, \quad (3)$$

где  $T_{\text{Э}}$  – период следования стабильных импульсов с выхода генератора 19.

По окончании положительной полуволны и приходом отрицательной полуволны напряжения  $u(t)$  исчезает сигнал на выходе формирователя 4 и появляется сигнал на выходе логического элемента НЕ 10. После записи кодов амплитуды и полупериода в регистры 14 и 15, регистр 15 и счетчик 18 обнуляются импульсом с выхода элемента задержки 13 и начинается процесс формирования очередных кодов амплитуды и полупериода. Вместе с тем по ранее полученным кодам осуществляется коррекция кривой напряжения, для чего на третий вход адреса блока памяти 22 с выхода счетчика 18 подается возрастающий код  $K_t$  текущего времени  $t$ , которое связано с кодом выражением

$$t = T_{\text{Э}} \cdot K_t, \quad (4)$$

В ячейках блока памяти 22 записаны коды  $K_{UC}$  мгновенных значений эталонного напряжения  $u_{\text{Э}}(t)$  с идеально синусоидальной формой, которые связаны выражением

$$K_{UC} = u_{\text{Э}}(t) / \Delta U_6, \quad (5)$$

где

$$u_{\text{Э}}(t) = U_m \sin(2\pi t/T), \quad (6)$$

В зависимости от текущего времени, амплитуды и периода напряжения  $u(t)$  на выходе блока памяти 22 появляется соответствующий код  $K_{UC}$  эталонного напряжения, который поступает на вход уменьшаемого вычитателя 20. На его входе вычитаемого присутствует код  $K_U$  текущего напряжения на нагрузке, который формируется на выходе второго АЦП 27 связан с напряжением  $u(t)$  выражением (1). На выходе вычитателя 20 появляется код  $K_D$  разности или отклонения мгновенного значения напряжения нагрузки от эталонного напряжения

$$K_D = |K_{UC} - K_U|, \quad (7)$$

Этот код  $K_D$  поступает на вход ЦАП 21, и на его выходе появляется напряжение

$$U_{21} = K_D \cdot \Delta U_{21}, \quad (8)$$

где  $\Delta U_{21}$  – шаг квантования ЦАП 21

$$\Delta U_{21} = K_{ВД} \cdot \Delta U_6, \quad (9)$$

$K_{ВД}$  – коэффициент трансформации вольтодобавочного трансформатора 1.

$$K_{ВД} = U_{21} / U_D, \quad (10)$$

$U_D$  – напряжение на вторичной обмотке трансформатора 1.

Мгновенное значение напряжения  $u_{21}(t)$  с выхода ЦАП 21, поступает на коммутатор 24, который задает направление коррекции напряжения, путем изменения полярности напряжения  $u_{21}(t)$  таким образом, что в любой момент времени на вторичной обмотке трансформатора 1 появляется напряжение  $u_D(t)$ , которое корректирует мгновенное значение напряжение сети  $u_C(t)$  приближая его форму к идеальной синусоиде  $u_{\text{Э}}(t)$

$$u(t) + u_D(t) = u_C(t) = u_{\text{Э}}(t). \quad (11)$$

Таким образом, предложенное устройство обеспечивает форму кривой напряжения близкой к идеальной синусоиде, при этом погрешность кривой напряжения зависит от разрядности цифровых элементов входящих в схему устройства. Например, при  $N=10$  погрешность не превышает 0,001. Кроме того устройство обладает высоким

быстродействием так как отсутствуют блоки вычисления которые заменены трехкоординатным блоком памяти.

#### Список литературы:

- [1] Сугаков В.Г. Системы автоматического регулирования параметров электрической энергии судовых электростанций. Ч. 2. Автоматическое регулирование напряжения судовых источников электрической энергии : учеб. пособие / В.Г. Сугаков, О.С. Хватов. – Н. Новгород :Изд-во ФГОУ ВПО «ВГАВТ», 2011. 180 с.
- [2] Патент на изобретение № 25233005 по заявке 2013108756 от 27.02.2013, кл. H02P 9/14.
- [3] Лачин В.И. Электроника : учеб. пособие / В.И. Лачин, Н.С. Савёлов. – Изд. 7-е. – Ростов н/Д : Феникс, 2009. – с. 267–287.
- [4] Emadi, Ali. Uninterruptible power supplies and active filters/ Ali Emadi, Abdolhosein Nasiri, Stoyan B. Bekairov, p.cm.- (Power electronics and application series), ISBN 0-893-3035-1, ТК1005/E49 2005 – pp. 80-81.

*И.В. Сычушкин, В.Н. Гуляев, Ю.С. Малышев*  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

## ПРИМЕНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ В СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ В УСЛОВИЯХ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ

В настоящее время ведущие российские разработчики и производители продукции микроэлектроники, в том числе, специального применения, предлагают не только широкий ассортимент микроконтроллеров позволяющих реализовывать системы управления различных электроприводов, но и элементы силовой части – IGBT-транзисторы.

Современные электропривода это совокупность силового преобразователя, устройства управления и электромеханического преобразователя энергии (двигателя). Области применения электрического привода в промышленности, на транспорте и в быту постоянно расширяется, а значит, эффективность энергосберегающих технологий в значительной мере определяется эффективностью электропривода. Разработка высокопроизводительных, экономичных и компактных систем привода является приоритетным направлением развития современной техники.

Развитие биполярных транзисторов с изолированным затвором (IGBT), и микроконтроллеров имеющих встроенный набор специализированных периферийных устройств, сделали необратимой тенденцию массовой замены аналоговых систем управления приводами на системы прямого цифрового управления.

Под прямым цифровым управлением понимается не только непосредственное управление от микроконтроллера каждым ключом силового преобразователя (инвертора и управляемого выпрямителя, если он есть), но и обеспечение возможности прямого ввода в микроконтроллер сигналов различных обратных связей (независимо от типа сигнала: дискретный, аналоговый или импульсный) с последующей программно-аппаратной обработкой внутри микроконтроллера. Таким образом, система прямого цифрового управления ориентирована на отказ от значительного числа дополнительных интерфейсных плат и создание одноплатных контроллеров управления приводами.

Микроконтроллер иностранного производства с 32-разрядным процессорным ядром ARM Cortex-M0, а также с аналоговой периферией и блоком управления питанием, позволяет организовать интеллектуальное управление двигателем по доступной