

УДК 621.361.925.2.007

Гулаков С.В.¹, Дьяченко М.Д.², Бурлака В.В.³, Дьяченко В.М.⁴

СТАБИЛИЗАТОР ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ МАТРИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Рассмотрена возможность применения матричного преобразователя в стабилизаторе переменного напряжения вольтодобавочного типа. Преимущества такого способа стабилизации – плавность регулирования, простота силовой части и снижение рабочего тока ключевых транзисторов.

Несоответствие пропускной способности современных распределительных сетей требуемой мощности нагрузки приводит к существенному снижению качества питающего напряжения потребителя. При допустимом разбросе напряжения сети, регламентированном в диапазоне $(+5 \% \div -10 \%) \cdot U_{\text{ном}}$ [1], нередки случаи, когда это напряжение изменяется в более широких пределах.

В отдельные периоды у потребителя возможны просадки напряжения более чем до 70 % от номинального, а неисправности распределительных сетей, особенно вследствие коротких замыканий, нередко приводит к превышению напряжения в 1,7 раза. Такое изменение напряжения питающей сети может приводить к выходу из строя оборудования потребителя.

Для минимизации ущерба потребителя от нарушений в работе энергосистемы используют быстродействующие устройства отключения, либо применяют системы стабилизации напряжения непосредственно перед потребителем.

Известно множество топологий схем стабилизаторов сетевого напряжения.

Например, стабилизаторы на основе автотрансформатора с электромеханическим приводом [2]. В них плавное регулирование выходного напряжения, обеспечивается сервоприводом. Основным недостатком таких стабилизаторов является низкая скорость реакции на возмущающие воздействия, а так же наличие громоздкой механической части.

Феррорезонансные стабилизаторы с тиристорной схемой управления просты в исполнении, но имеют высокий коэффициент гармоник выходного напряжения. Это требует установки на его выходе подавляющих фильтров, что резко снижает потребительские качества подобных устройств. Кроме того, такой стабилизатор имеет малый допустимый диапазон изменения входных напряжений и зависимость коэффициента синусоидальности от мощности нагрузки.

Наибольшее распространение, в настоящее время, получили стабилизаторы, построенные на основе автотрансформатора с отводами, переключаемыми симисторными ключами. Характерные недостатки этой схемы: скачкообразное изменение выходного напряжения при переключении отводов трансформатора и значительное время реакции ($20 \div 40$) мс на изменение входного напряжения. Кроме того, в стабилизаторах такого типа максимальная мощность нагрузки пропорциональна входному напряжению (например, 7,5 кВт при напряжении 220 В и снижается до 5 кВт при напряжении 160 В), это обусловлено тем, что через симисторы протекает полный ток нагрузки.

Известны так же стабилизаторы, получившие название “Кондиционер сети” [3]. Это устройство, в котором входное напряжение преобразуется в постоянное, а затем инвертируется в переменное с заданным напряжением, частотой и формой.

¹ПГТУ, д-р техн. наук, проф.

²ПГТУ, канд. техн. наук, доц.

³ПГТУ, аспирант

⁴ПГТУ, аспирант

Преимущество такой схемы – практически мгновенная реакция на изменения входного напряжения, фильтрация гармоник, изоляция сети от влияния нагрузки, а основной недостаток – высокая цена.

Целью настоящей работы является создание быстродействующего высокостабильного стабилизатора переменного напряжения с большим допустимым диапазоном входного напряжения, высоким КПД и качеством выходного напряжения при относительно низкой стоимости устройства.

В предлагаемом стабилизаторе переменного напряжения плавная коррекция выходного напряжения реализована с помощью вольтодобавочного трансформатора, питаемого от непосредственного (матричного) преобразователя.

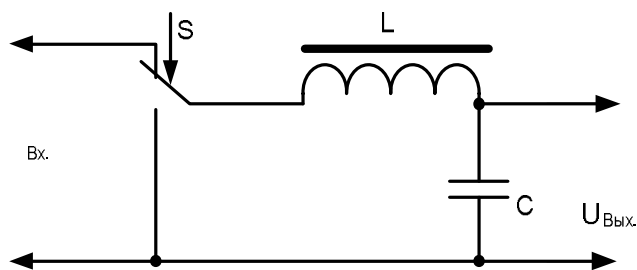


Рис. 1 – Непосредственный преобразователь

Рассмотрим принцип работы непосредственного преобразователя.

Преобразователь состоит из электронного двунаправленного перекидного ключа (S) и фильтра нижних частот (LC) (рис. 1).

Работа ключа описывается выражением [3]:

$$U_k = x \cdot U_{Вх}, \quad (1)$$

где x – управляющий сигнал ключа.

Если $x = 0$, то ключ находится в нижнем (по схеме) положении, если $x = 1$, то в верхнем. Предположим, что в качестве x использована широтно-импульсная модуляция (ШИМ) с частотой, значительно превышающей промышленную частоту и скважностью D , изменяющейся в пределах от 0 до 1 (рис. 2).

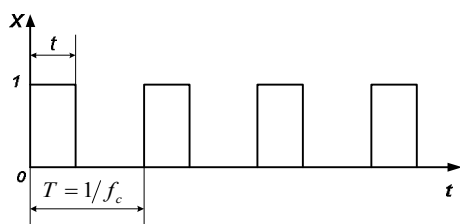


Рис. 2 – ШИМ последовательность

Для этой последовательности справедливо соотношение

$$f_c \int_0^{1/f_c} x dt = D \quad (2)$$

Спектр такого сигнала состоит из ряда гармонических составляющих с частотами f_c , $2f_c$, $3f_c$ и т.д.

Амплитудно-частотная характеристика LC-фильтра описывается уравнением

$$A(f) = \frac{1}{\left(\frac{f}{f_0}\right)^2 - 1}, \quad (3)$$

где f – частота входного сигнала;

f_0 – резонансная частота контура.

Для корректной работы преобразователя необходимо соблюдение условия $50 \text{ Гц} \ll f_0 \ll f_c$. Так как $f_0 \ll f_c$, $A(f_c) \rightarrow 0$, то на выходе фильтра будет присутствовать только постоянная составляющая (2) ШИМ последовательности. Тогда для любого входного сигнала, в спектре которого присутствуют только частоты, значительно меньшие f_0 , можно записать:

$$U_{вых} = f_c \int_0^{1/f_c} (U_{вх} \cdot x) dt = f_c \cdot U_{вх} \int_0^{1/f_c} x dt = U_{вх} \cdot D, \quad (4)$$

т.е. произойдет масштабирование входного сигнала с коэффициентом, равным скважности ШИМ импульсов управления ключом D .

При синусоидальном входном сигнале $U_{Вх}$ выходной сигнал ключа будет иметь вид, показанный линией 1 на рис. 3. Фильтр нижних частот устранил высокочастотные компоненты сигнала с частотами, кратными f_c . В результате на выходе фильтра сформируется напряжение, показанное на рис. 3 линией 2. Этот сигнал по форме представляет собой копию входного напряжения, но с амплитудой, равной $U_{Вх} \cdot D$. Таким образом, меняя скважность, имеется возможность изменения выходного напряжения преобразователя.

Принцип работы предлагаемого стабилизатора основан на управляемом масштабировании входного напряжения методом широтно-импульсной модуляции и подачи его на первичную обмотку вольтодобавочного трансформатора (рис. 1). Напряжение вторичной обмотки после фильтрации складывается, с учетом знака, с входным напряжением и подается в нагрузку.

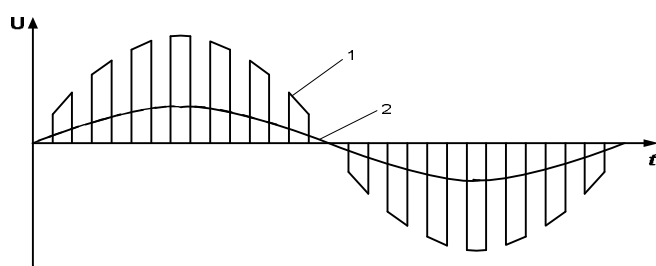


Рис. 3 – Выходной сигнал ключа

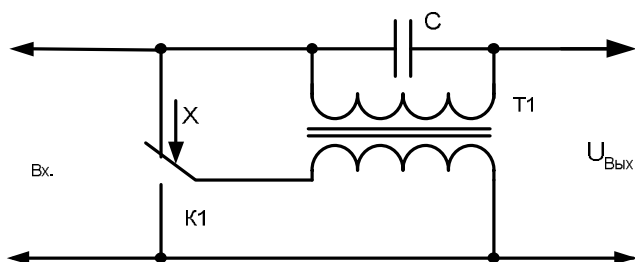


Рис. 4 – Использование индуктивности рассеяния трансформатора

Общая отрицательная обратная связь по выходному напряжению позволяет поддерживать заданное значение выходного напряжения при существенном изменении входного.

В качестве дросселя фильтра используется индуктивность рассеяния вольтодобавочного трансформатора.

Это позволяет значительно упростить схему и привести ее к виду, показанному на рис. 4. Упрощенная электрическая схема устройства приведена на рис. 5.

Перекидной ключ реализован на четырех биполярных транзисторах с изолированным затвором типа IRG4PC50UD (рис. 5).

Управление ими обеспечивается однокристальным микроконтроллером (МК), который на основе информации о входном и выходном напряжениях формирует четыре управляющих сигнала, воздействующих на затворы полевых транзисторов [2, 3].

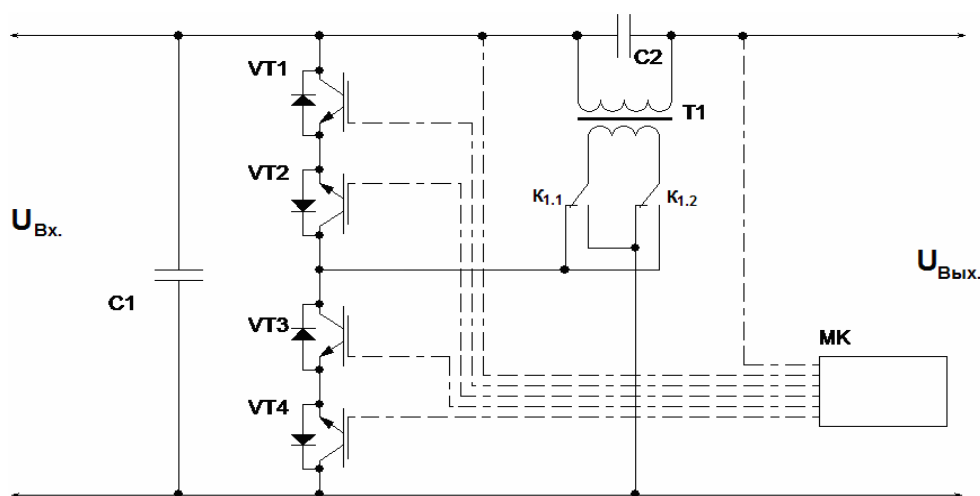


Рис. 5 – Матричный стабилизатор с вольтодобавочным трансформатором

При повышении входного напряжения более чем номинальное посредством реле происходит переворот фазы напряжения вольтодобавки на 180 электрических градусов, в результате чего, схема переходит в режим понижения напряжения.

Трансформатор вольтодобавки имеет параметры 160/60 В, мощностью 2,1 кВА. Максимальный ток нагрузки 35 А (7,5 кВА при 220 В на выходе). Допустимый диапазон входных напряжений 160 – 300 В. Стабильность выходного напряжения не хуже 1 %.

Положительные особенности предлагаемой топологии стабилизатора напряжения можно считать следующее:

- максимальная мощность нагрузки не зависит от входного напряжения;
- ток, протекающий в силовых ключах, меньше тока нагрузки. При максимальной нагрузке в 35 А и трансформатором 160/60 В ток ключей составляет только 13,2 А.

В схемном решении данного стабилизатора переменного напряжения предусмотрено изменение алгоритма управления ключами с целью введения функции подавления гармоник, присутствующих во входном напряжении; решение функции аварийного отключения нагрузки при выходе напряжения питающей сети за предельно допустимый диапазон.

Разработанный стабилизатор показал хорошую работоспособность и высокую стабильность выходного напряжения при изменении в широком диапазоне входного напряжения независимо от мощности потребляемой нагрузкой.

Многочисленное современное оборудование промышленных и коммерческих технологий, используемое в широком диапазоне мощностей, требует трехфазного питания переменного тока с необходимой амплитудой и частотой, на основе предложенной топологии аналогично могут быть построены стабилизаторы для трехфазного исполнения.

Выводы

1. Представленная схема стабилизатора позволяет осуществлять непрерывное регулирование выходного переменного напряжения методом вольтодобавки. При этом рабочий ток силовых транзисторов вольтодобавочного преобразователя значительно ниже тока нагрузки, что облегчает их тепловой режим.
2. Предложенный метод стабилизации напряжения питающей сети позволяет обойтись без автотрансформатора с большим числом отводов, заменив его одним простым двухобмоточным трансформатором.

Перечень ссылок

1. ГОСТ 13109-97 "Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения".
2. *Дьяченко М.Д.* Аппаратурные решения силовых блоков автоматизированных систем диагностирования релейной защиты и автоматики / *М.Д. Дьяченко, А.А. Ляшко, М.А. Люх* // Экономичность, надежность и оптимизация режимов электроэнергетических систем: Межвуз. сб. науч. трудов / Новосиб. электротехнич. ин-т. – Новосибирск: – 1987. – С. 133 – 138.
3. *Alesina A.M.* Venturini Analysis and Design of Optimum – amplitude Nine-switch Direct AC-AC Converters // IEEE Trans. on Power Electronics. – Vol. 4 – V1 – 1989. – С. 27 – 43.
4. *Зиновьев Г.С.* Основы силовой электроники: Учебник *Г.С.Зиновьев.* – Новосибирск: НГТУ, 2000. – Ч. 2. – 197 с.
5. *Дьяченко М.Д.* Опыт применения интеллектуальных силовых модулей фирмы “Mitsubishi” в частотных преобразователях малой мощности / *М.Д. Дьяченко, В.В. Бурлака* // Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту: Зб. наук. пр. – Маріуполь, 2005. – Вип. 15. – С. 157 – 161.
6. <http://www.windside.com/technic/technical.htm>

Рецензент: Ю.Л. Саенко
д-р техн. наук, проф., ПГТУ

Статья поступила 28.02.2008