

УДК 621.317.33

**РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ДВЕНАДЦАТИИМПУЛЬСНОГО
РЕГУЛИРУЕМОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ
ДЛЯ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ**

Инж. НАСИРОВ Ш. Н.

Азербайджанский технический университет

В статье рассматривается двенадцатиимпульсный регулируемый выпрямитель для применения на тяговых подстанциях постоянного тока. Как известно, источником питания электрифицированной железной дороги Азербайджанской Республики является постоянный ток с номинальным напряжением 3,3 кВ, причем максимальное напряжение в контактной сети не должно превышать 4,0 кВ.

Подобные выпрямители разрабатываются с учетом нормируемых перегрузок: 1,25-кратное значение тока I_{dnom} в течение 15 мин один раз в 2 ч; $1,5I_{dnom}$ в течение 2 мин один раз в 1 ч; $2,0I_{dnom}$ в течение 10 с один раз в 2 мин и должны выдерживать перенапряжения 9000 В на стороне выпрямленного напряжения [2].

Выпрямительные устройства для тяговых подстанций должны отвечать требованиям, обусловленным характером тяговой нагрузки, пиковыми нагрузками и перегрузками в нормальном, утяжеленном и аварийном режимах, коммутационными и атмосферными перенапряжениями, климатическими условиями, качеством преобразования электроэнергии, экономичностью и эксплуатационной надежностью. Перечисленным требованиям частично отвечают неуправляемые выпрямители, которые наиболее просты, надежны, удобны в эксплуатации и имеют относительно высокий коэффициент мощности.

Однако для обеспечения наилучшего режима электроснабжения поездов и экономичности тяги требуются плавное регулирование напряжения и бесконтактное отключение нагрузки по цепи управления тиристорами [1, 2]. Применение управляемых выпрямителей сопряжено со снижением коэффициента мощности и ухудшением гармонических составляющих в тяговой сети при пониженных выпрямленных напряжениях. Регулирование напряжения осуществляется в зоне, близкой номинальному значению, когда эти ухудшения не так сильно отражаются на энергетических показателях.

Переход от шестиимпульсной схемы на двенадцатиимпульсную способствует снижению коэффициента пульсации от 0,057 до 0,014, что резко облегчает работу установленного на тяговой подстанции силового фильтра, а также работу самого тягового двигателя электровоза.

На рис. 1 приведена принципиальная схема регулируемого преобразователя трехфазного переменного напряжения в двенадцатиимпульсное постоянное. Преобразователь выполнен на трехфазном двухобмоточном трансформаторе (Тр) с обратной в каждой фазе первичной обмоткой. Соотношение чисел витков секций первичных и вторичных фазных обмоток трансформатора: $W_1 : W_2 = 1 : (\sqrt{3} - 1)$ при изменении величины выпрямленного напряжения только в сторону повышения, или $W_2 : W_1 = 1 : (\sqrt{3} - 1)$ при изменении величины выпрямленного напряжения в сторону как понижения, так и повышения.

В случае, когда $W_2 : W_1 = 1 : (\sqrt{3} - 1)$, устройство работает следующим образом: двенадцатиимпульсное выпрямленное напряжение на выходе преобразователя формируется 12 выпрямляемыми напряжениями, шесть из которых образованы линейными напряжениями сети минус напряжение соответствующей фазы первичной обмотки трансформатора с числом витков w_3 или, что то же самое, линейными напряжениями первичной обмотки с числом витков w_1 . Другие шесть напряжений, сдвинутые по фазе относительно первых шести на 30 эл. град., образованы суммой напряжений одноименных фаз сети и вторичной обмотки с числом витков w_2 минус

напряжение соответствующей фазы первичной обмотки с числом витков W_3 .

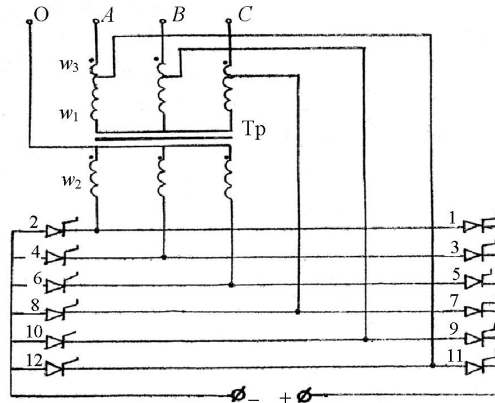


Рис. 1. Схема двенадцатипульсного регулируемого преобразователя

Очередность включения вентиляй следующая:

11–10, 11–2, 11–8, 5–8, 9–8, 9–4, 9–12, 1–12, 7–12, 7–6, 7–10, 3–10.

Наибольший уровень выходного напряжения в схеме преобразователя с соотношением $W_1 : W_2 = 1 : (\sqrt{3} - 1)$ получается при коэффициенте превышения расчетной мощности трансформатора, равном единице.

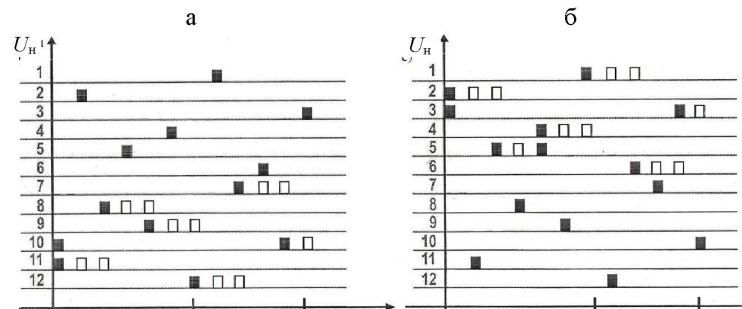
Если же соотношение составляет $W_2 : W_1 = 1 : (\sqrt{3} - 1)$, то наибольший уровень выходного напряжения в 1,37 раза больше, чем в первом случае.

Во втором случае двенадцатипульсное выпрямленное напряжение на выходе преобразователя формируется 12 напряжениями, шесть из которых образованы линейными напряжениями вторичной обмотки трансформатора с числом витков w_2 . Другие шесть напряжений сдвинуты по фазе относительно первых шести на 30 эл. град. и образованы суммой напряжений одноименных фаз сети и вторичной обмотки с числом витков w_2 минус напряжение той же фазы первичной обмотки с числом витков w_3 .

Очередность включения вентиляй следующая:

3–2, 11–2, 5–2, 5–8, 5–4, 9–4, 1–4, 1–12, 1–6, 7–6, 3–6, 3–10.

На рис. 2 приведены диаграммы импульсов управления, подаваемых на тиристоры 1–12 с указанной выше последовательностью соответственно для первого и второго случаев в диапазоне изменения угла отпирания $0^\circ \leq \alpha \leq 105^\circ$. Подача на тиристоры только зачерненных импульсов обеспечивает регулирование напряжения в диапазоне $0^\circ \leq \alpha \leq 75^\circ$, что упрощает систему управления выпрямителем, в частности распределение импульсов, при ограничении глубины регулирования до 74 %.



0 π 2π ωt 0 π 2π ωt

Рис. 2. Диаграммы управления двенадцатипульсным преобразователем

Данное техническое решение позволяет получить величину коэффициента превышения расчетной мощности трансформатора меньше единицы за счет того, что некоторая часть потребляемой мощности «забирается» непосредственно от сети, минуя трансформатор, т. е. имеет место использование автотрансформаторного эффекта при двенадцатипульсном выпрямлении.

В схеме (рис. 1) имеется нежелательная связь между первичными и вторичными цепями.

В схеме (рис. 3) такая связь отсутствует. Преобразователь выполнен на трехфазном трехобмоточном трансформаторе, дополнительно содержит уравнивательный реактор с тремя индуктивно связанными обмотками. Обмотки уравнивательного реактора разделены промежуточными выводами на три секции, где отношение числа витков между крайними и средними секциями равно $1:\sqrt{3}$.

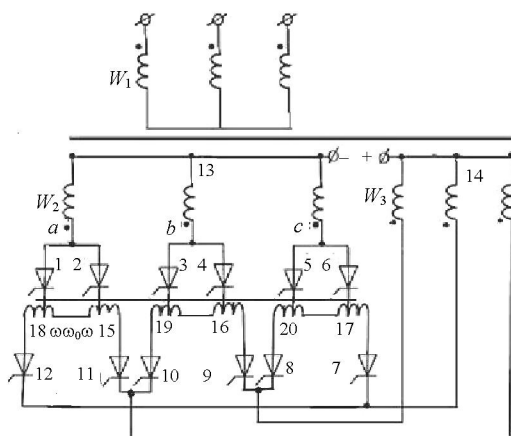


Рис. 3. Преобразователь трехфазного переменного напряжения (двенадцатипульсное выпрямленное)

Проследим за работой устройства. Допустим, что в интервале 30 эл. град. потенциал начала фаз вторичных обмоток 13 и 14 положителен, мгновенное значение линейного напряжения U_{ab} больше U_{ac} . В этом интервале времени включены вентили 1–11–12. К обмотке 15 уравнивательного реактора (УР) прикладывается разность $U_{ab} - U_{ac}$, причем большая часть этого напряжения прикладывается к секции с меньшим числом витков, а меньшее – к остальным двум секциям. ЭДС взаимоиндукции УР выравнивает U_{ab} и U_{ac} , при этом огибающая результирующего напряжения на нагрузке R_H имеет фазовое отставание 15 эл. град. относительно огибающей напряжения U_{ab} . Ток нагрузки замыкается по цепи: фаза a , обмотка 13, вентиль 1, далее разветвляется на две неравные части по величине и обратно пропорциональные числам витков соответствующих секций обмотки 15 УР, одна из которых проходит через вентиль 12 и фазу b , а другая – через вентиль 11 и фазу c обмотки 14.

В следующем интервале с длительностью 30 эл. град. потенциал начала фазы a вторичных обмоток 13 и 14 положителен, а потенциалы начал фаз b и c отрицательны, поэтому мгновенное значение линейного напряжения между выводами a и c больше, чем между выводами a и b , т. е. происходит перемена полярности напряжения в обмотке 15, причем U_{ab} прикладывается к секции с меньшим числом витков, а U_{ca} – к остальным двум секциям. Если же в начале этого интервала включается вентиль 2, то запирается вентиль 1 и аналогично предыдущему интервалу ток нагрузки замыкается по цепи: фаза a обмотки 13, вентиль 2, далее разветвляется на две неравные части, большая проходит через секцию обмотки 15, вентиль 11 и фазу c обмотки 14, а меньшая – через остальные две секции обмотки 15, вентиль 12 и фазу b обмотки 14, далее ток вновь проходит по цепи нагрузки R_n . Огибающая формируемого при этом напряжения на нагрузке опережает по фазе на 15 эл. град. огибающую U_{ac} .

В начале следующего интервала, когда включаются вентили 4, 10, 12, потенциалы фаз a и b становятся положительными, а фазы c – отрицательными ($U_{ca} > U_{bc}$). Реактор выравнивает эти напряжения, большая часть тока нагрузки проходит через секцию обмотки 15, а меньшая – через две секции обмотки 18. Величины тока в соответствующих секциях обмоток УР устанавливаются автоматически в соответствии с естественным требованием к соблюдению баланса ампервитков, т. е. с подмагничивающим потоком.

Аналогично формируются и остальные пульсации, образуя симметричное двенадцатиимпульсное напряжение. При этом очередность работы вентилях следующая:

1–12–11, 2–12–11, 2–11–4–10, 3–10–1–11, 3–10–9, 4–10–9,
4–9–6–8, 5–8–3–9, 5–8–7, 6–7–8, 6–7–2–12, 1–12–5–7.

На рис. 4 приведена диаграмма импульсов управления, подаваемых на тиристоры 1–12, с указанной выше очередностью в диапазоне изменения угла отпирания $0^\circ \leq \alpha \leq 105^\circ$.

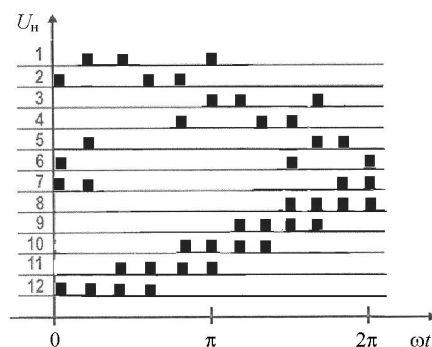


Рис. 4. Диаграмма импульсов управления

Следует отметить, что двенадцатиимпульсные регуляторы с индуктивно связанными обмотками уравнивающего реактора по суммарной типовой мощности трансформатора и уравнивающего реактора несколько лучше. Меньше и активные потери в трансформаторе. Отсутствие в потребляемом токе 3-, 5- и 7-й гармоник благоприятно для питающей сети, которая наря-

ду с этим также не загружается дополнительной мощностью, выделяемой при протекании тока нулевой последовательности. Схема обеспечивает равные углы коммутации из-за отсутствия некомпенсированных гармоник. Следует также отметить, что с увеличением угла регулирования напряжение на уравнительном реакторе не возрастает как обычно, а наоборот, снижается, что свидетельствует об уменьшении типовой мощности реактора при его работе с большими углами регулирования.

В блоке выпрямителей с воздушным охлаждением используются мощные таблеточные тиристоры. Для обеспечения контроля и защиты тиристорной секции предусматривается осуществление управления с помощью микропроцессорного контроллера.

Важным преимуществом двенадцатиимпульсных выпрямителей является возможность применения более простых и экономичных однозвенных апериодических или резонансно-апериодических сглаживающих фильтров.

ВЫВОД

Для наилучшего режима электроснабжения подвижного состава, экономичности тяги поездов желательно применять двенадцатиимпульсные регулируемые выпрямители, обеспечивающие плавное регулирование напряжения, бесконтактное отключение нагрузки по цепи управления тиристором с помощью более простых и экономичных сглаживающих фильтров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б у р к о в, А. Т. Электронная техника и преобразователи / А. Т. Бурков. – М.: Транспорт, 2001. – 464 с.
2. М а р к в а р д т, К. Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог / К. Г. Марквардт. – М.: Транспорт, 1982. – 528 с.

Представлена кафедрой
эксплуатации железнодорожного транспорта

Поступила 30.10.2009

УДК 621.318.38

УЛУЧШЕННАЯ КОНСТРУКЦИЯ ПОДЪЕМНОГО УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ ПОСТОЯННОГО МАГНИТА

Докт., инж. СТОЯНОВА С. С., проф., докт. техн. наук, инж. КОЗАРОВ А. С.

*Технический колледж университета «Проф., докт. Асен Златаров»
(Бургас, Республика Болгария)*

Описание конструкции. Подъемные сооружения ферромагнитных грузов могут быть конструированы с использованием электромагнитов и постоянных магнитов [1]. Второй вид находит все более широкое применение преимущественно из-за более низкого потребления электриче-