

Осипов Вячеслав Семёнович,  
Самарский государственный технический университет,  
г. Самара

## СИСТЕМА ИМПУЛЬСНО-ФАЗОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ТИРИСТОРНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ С УВЕЛИЧЕННОЙ ЗОНОЙ НАСТРОЙКИ ФАЗЫ УПРАВЛЯЮЩИХ ИМПУЛЬСОВ

**Аннотация:** Основными задачами системы импульсно-фазового управления (СИФУ) являются формирование управляющих прямоугольных импульсов достаточной длительности и регулирование выходного напряжения тиристорного преобразователя путем изменения фазы управляющих импульсов. Фаза которых относительно силового напряжения на тиристорах изменяется пропорционально напряжению, поступающему на вход СИФУ. СИФУ применяются в электроприводах постоянного тока, при ограничении пускового тока силовых трансформаторов, при плавном пуске асинхронных двигателей. Проблеме нормального функционирования СИФУ посвящено много патентов на изобретение и научных статей [1-6].

**Ключевые слова:** тиристор, симистор, генератор пилообразного напряжения, компаратор, трансформатор, управляющий импульс.

*Рассмотрим кратко результаты исследований в литературных источниках.*

В [1] приведено изобретение, где показано, что полезная модель относится к электротехнике, в частности к преобразовательной технике, и может быть использована в системах управления трехфазными тиристорными выпрямителями. Задачи полезной модели: обеспечение точности регулирования при высоких динамических показателях, поддержание высокой степени симметрии управляющих импульсов, снижение массогабаритных показателей, возможность программной реализации с помощью микроконтроллера или программируемой логической интегральной схемы. Далее приводится описание устройства.

В [2] показано, что современные силовые преобразователи являются, как правило, полупроводниковыми, и в них используются главным образом силовые транзисторы, диоды, тиристоры и их разновидности.

Двигатели серии 2П в диапазоне мощностей от 0,13 до 200 встроенный датчик скорости - тахогенератор и ориентированы на питание от тиристорных преобразователей.

Изменяя с помощью СИФУ интервал между управляющими импульсами тиристоров VS1 и VS2, можно обеспечить импульсное регулирование напряжения на двигателе.

В последние годы в связи с появлением разнообразных средств управления, и в первую очередь полупроводниковых силовых преобразователей, регулируемый ЭП переменного тока начал быстро развиваться.



Преобразование [3] электроэнергии переменного тока в постоянный (выпрямители), переменного тока в переменный (инверторы, ведомые сетью) и постоянного тока в переменный (автономные инверторы) требует наличие устройства управления, синхронизированного с питающей сетью, обеспечивающие преобразование управляющий «сигнал – фаза». Силовые полупроводниковые преобразовательные агрегаты, как правило, требуют импульсного управления и содержат только два устойчивых стационарных состояния силовых управляемых элементов: включено и выключено – состояние малого сопротивления и пропускание тока и состояние большого сопротивления и практическое отключение на этот момент потребителя энергии соответственно. Такие принципы применяются при управлении полууправляемыми вентилями (тиристорами), двухоперационными вентилями, и силовыми транзисторами.

В [4] показано, что выходные сигналы СИФУ представляют собой импульсы, параметры которых выбираются в соответствии с параметрами управляющих цепей тиристоров и силовой схемой ТП.

Системы импульсно фазового управления тиристорными преобразователями должны удовлетворять целому ряду требований, таких как надёжность, помехозащищённость и др. Специфические требования к СИФУ могут быть разделены на две группы:

- 1) требования, относящиеся непосредственно к управляющему импульсу;
- 2) требования, обусловленные схемой выпрямления и используемыми режимами работы ТП.

Рассмотрим первую группу требований.

Для надёжного открывания тиристора на его управляющий электрод нужно подать импульс определённой полярности, амплитуды и длительности.

Ток и напряжение управления не должны превышать некоторых предельно допустимых значений. Кроме того, мощность потерь, выделяемая в промежутке управляющий электрод—катод, также ограничивается максимально допустимым значением.

Минимально необходимая длительность управляющего импульса должна быть больше времени включения тиристора, которое составляет 5 - 20 мкс. Кроме того, за время существования управляющего импульса, ток в анодной цепи должен успеть нарасти до тока удержания. Последнее требование особенно существенно для цепей с большой индуктивностью, где ток нарастает сравнительно медленно. Обычно применяют импульсы длительностью 8 - 10°, что составляет 440 - 550 мкс.

Крутизна переднего фронта напряжения управляющего импульса должна быть высокой для обеспечения быстрого нарастания тока управления, чёткого открывания тиристора и уменьшения потерь при включении.

Системы импульсно-фазового управления имеют следующие технические данные: максимальное напряжение управления, В, не более 8 - 10

входной ток, мА, не более 5 , напряжение синхронизации с питающей сетью трёхфазное, В 380 или 100 , диапазон изменения угла , град 5 – 170, асимметрия импульсов отдельных каналов, град, не более  $\pm 3$ .



Необходимый максимальный диапазон регулирования угла управления для преобразователя, работающего как в выпрямительном, так и в инверторном режиме, теоретически составляет  $180^\circ$ .

Поскольку максимальный угол регулирования в инверторном режиме ограничивается, то, как правило, требуемый диапазон регулирования, составляет  $150 - 160^\circ$ .

СИФУ должна обеспечивать симметрию импульсов по фазам. Асимметрия вызывает неравномерную загрузку тиристорных из-за различной продолжительности их работы и приводит к ухудшению условий работы питающего трансформатора и СД, поэтому СИФУ имеет асимметрию импульсов управления не более  $3^\circ$ .

В [5] приводятся комплектные электроприводы типа «КЕМТОР» и другие тиристорные приводы, показаны схемы СИФУ и описание их работы и привода.

В [6] приводится описание изобретения в котором введены в первый, второй и третий блоки логической функции «Исключающее ИЛИ», блок функции «ЗИЛИ», четвертый и пятый одновибраторы, а также три идентичных блока логики, содержащих логические элементы «НЕ», «ЗИЛИ-НЕ», «ЗИ-НЕ», «ЗИЛИ» и два блока «ЗИ-НЕ» и т. д.

В [7] система импульсно-фазового управления ТП должна создавать синхронизированную с напряжением сети систему импульсов, сдвигаемую во времени в зависимости от величины управляющего воздействия, с целью регулирования выходного напряжения (тока).

Требования, предъявляемые к СИФУ, определяются рядом факторов:

- 1) физическими процессами в полупроводниковых приборах,
- 2) особенностями самой схемы преобразователя,
- 3) особенностями нагрузки.

Также приводятся требования аналогичные как в [4].

Кроме того в литературных источниках приводится много силовых схем требующих применения СИФУ.

**Таким образом,** как правило, диапазон регулирования управляющих импульсов в приведённых схемах, составляет приблизительно  $5^\circ - 165^\circ$ . При

этом амплитуда импульса напряжения на нагрузке при напряжении  $220\text{ В}$  будет:

$$U_{MAX} = \sqrt{2} \cdot 220 \cdot \sin 165^\circ = 80,28\text{ В}$$

Величина такого напряжения приведёт к большим пусковым токам включения силовых трансформаторов и при плавном пуске асинхронных двигателей, что недопустимо. Если с помощью входной цепи  $RC$  увеличить фазу и максимальный угол регулирования до  $175^\circ$ , то возрастёт минимальный угол до  $15^\circ$ , что также нежелательно.

**В данной работе** приводится разработанная СИФУ с увеличенной зоной настройки фазы управляющих импульсов, что позволяет производить регулирование угла открывания тиристорных от  $0^\circ$  до  $180^\circ$ . Принципиальная схема СИФУ приведена на рис. 1, где показаны два канала формирования управляющих импульсов для отрицательных и положительных полувольт сетевого напряжения (т. е. для двух тиристорных).



Для отрицательной полуволны переменное напряжение 6 вольт от трансформатора цепей управления подаётся на вход операционного усилителя  $DA1$ , где с помощью  $R3$  напряжение на выходе  $DA1$  смещается в отрицательную область и подаётся на вход не инвертирующего компаратора  $DA2$ . В результате напряжение на  $VD1$  будет отрицательной прямоугольной формы с расширенной фазой.

Для положительной полуволны переменное напряжение 6 вольт от трансформатора цепей управления подаётся на вход операционного усилителя  $DA1$ , где с помощью  $R3$  напряжение на выходе  $DA1$  смещается в положительную область и подаётся на вход инвертирующего компаратора  $DA2$ .

В результате напряжение на  $VD1$  будет отрицательной прямоугольной формы с расширенной фазой. Графики напряжений приведены на рис. 2, 3.

Эти импульсы прямоугольной формы поступают на базу  $VT1$ , который включен в цепь обратной связи интегратора, выполненного на  $DA3$ .

Когда  $VT1$  закрывается то на выходе  $DA3$  будет линейно возрастающее напряжение положительной полярности. Скорость нарастания зависит от величины емкости  $C1$ , величины резистора  $R8$  и величины отрицательного напряжения с делителя  $R9, R10$ .

Пилообразное напряжение подается на вход компаратора  $DA4$  (нуль-орган), где оно сравнивается с напряжением смещения  $U_{см}$  с  $R34$  и с напряжением  $U_{вх}$  с  $R36$  на входе СИФУ.

Величиной  $U_{см}$  устанавливается начальный угол открывания тиристоров, равный 180, при  $U_{вх}=0$ . Увеличение  $U_{вх}$  приводит к изменению моментов переключения нуль-органа  $DA4$ .

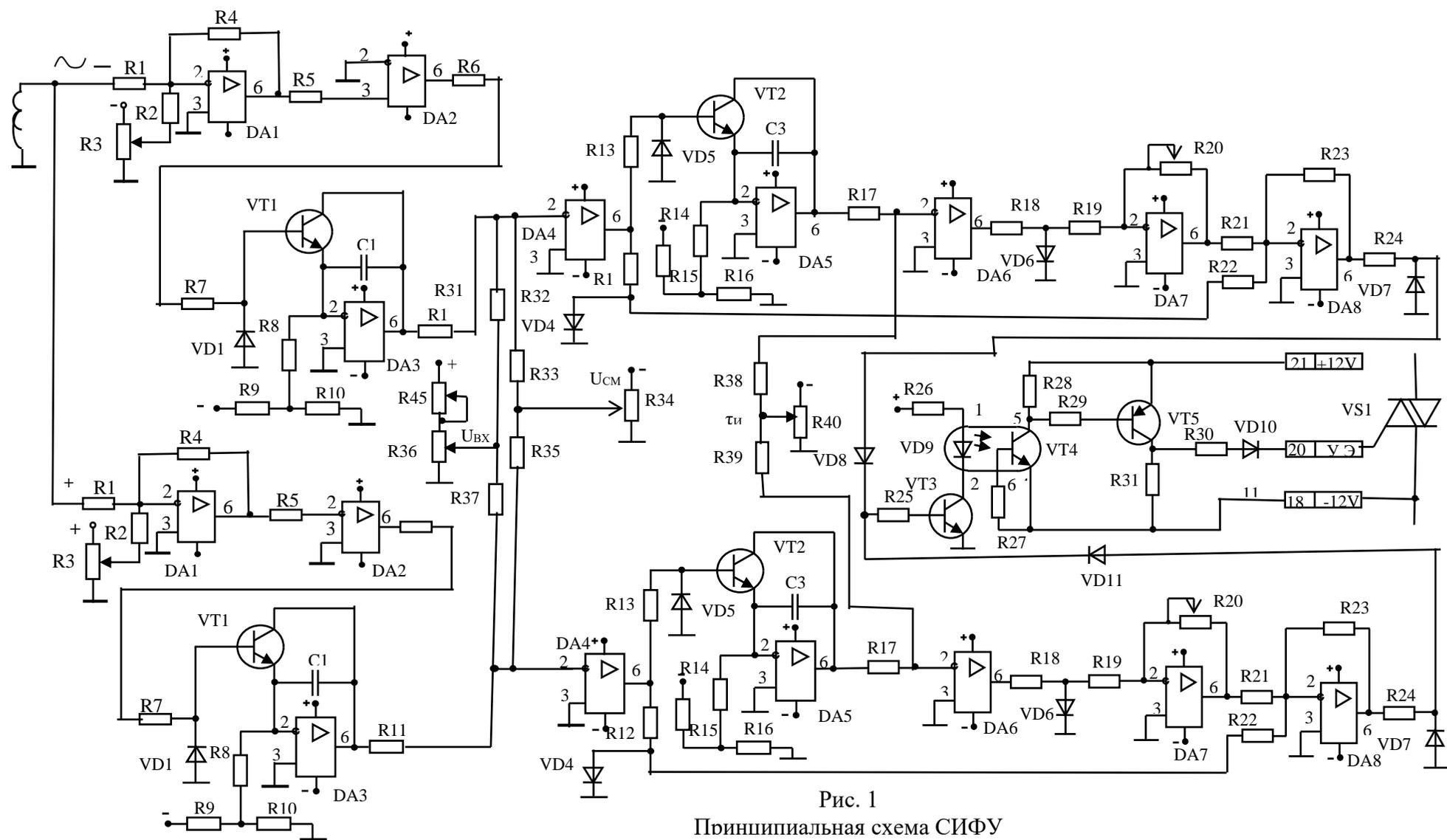
На выходе  $DA4$ , при  $U_{вх}>0$ , будут разнополярные прямоугольные импульсы. Эти импульсы цепью  $R13$ ,  $VD5$  преобразуются в однополярные положительные, а цепью  $R12$ ,  $VD4$  в однополярные отрицательные.

С  $VD5$  импульсы поступают на базу транзистора  $VT2$ , включенного в цепь обратной связи второго генератора пилообразного напряжения, выполненного на  $DA5$ , который предназначен для формирования длительности импульсов.

Пилообразное напряжение с  $DA5$  сравнивается с напряжением с  $R40$  на входе компаратора  $DA6$ . Напряжение с  $DA6$  преобразуется цепью  $R18$ ,  $VD6$  в отрицательные прямоугольные импульсы, которые инвертируются усилителем

$DA7$ . С помощью  $R20$  может регулироваться амплитуда импульсов. Импульсы с  $DA7$  суммируются (вычитаются) с импульсами с  $VD4$  на входе  $DA8$ . В результате на выходе  $DA8$ , получаем импульсы необходимой длительности, после  $R24$ ,  $VD7$ , положительной полярности. Затем эти импульсы, после гальванической развязки  $VD9$ ,  $VT4$ , усиливаются по мощности транзистором  $VT5$  и подаются на управляющий электрод симистора. Графики напряжений поясняющие работу СИФУ приведены на рис. 5 и 6.





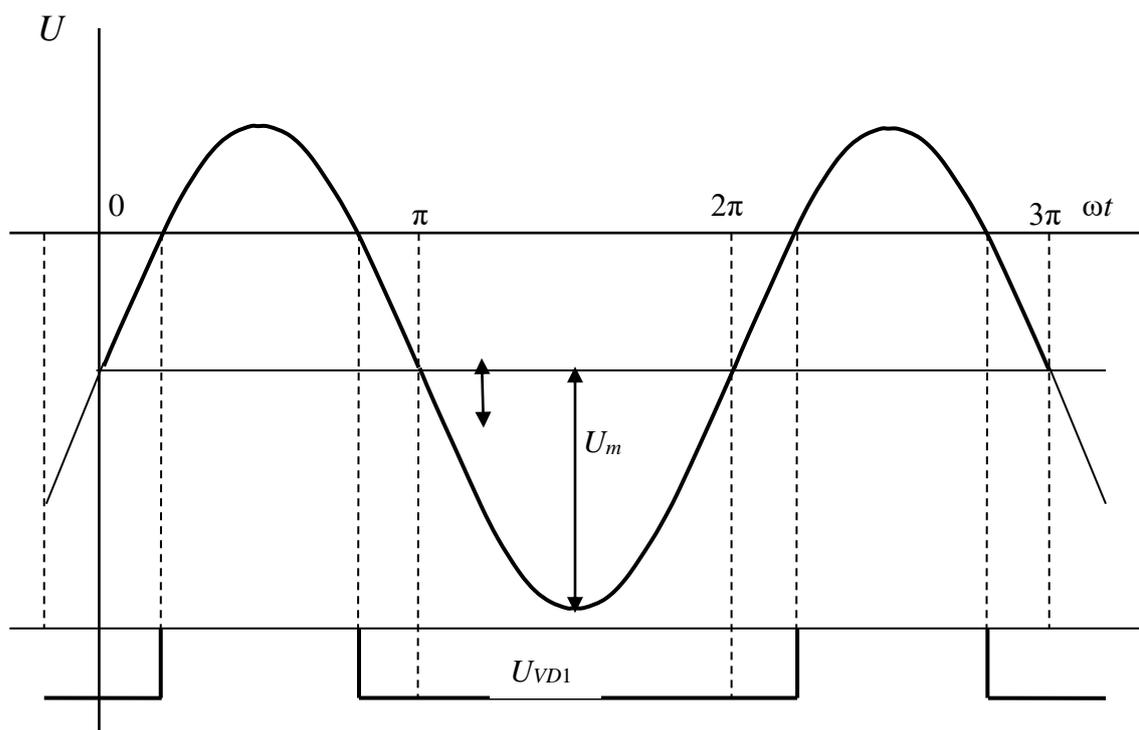


Рис. 2  
Отрицательная полуволна напряжения

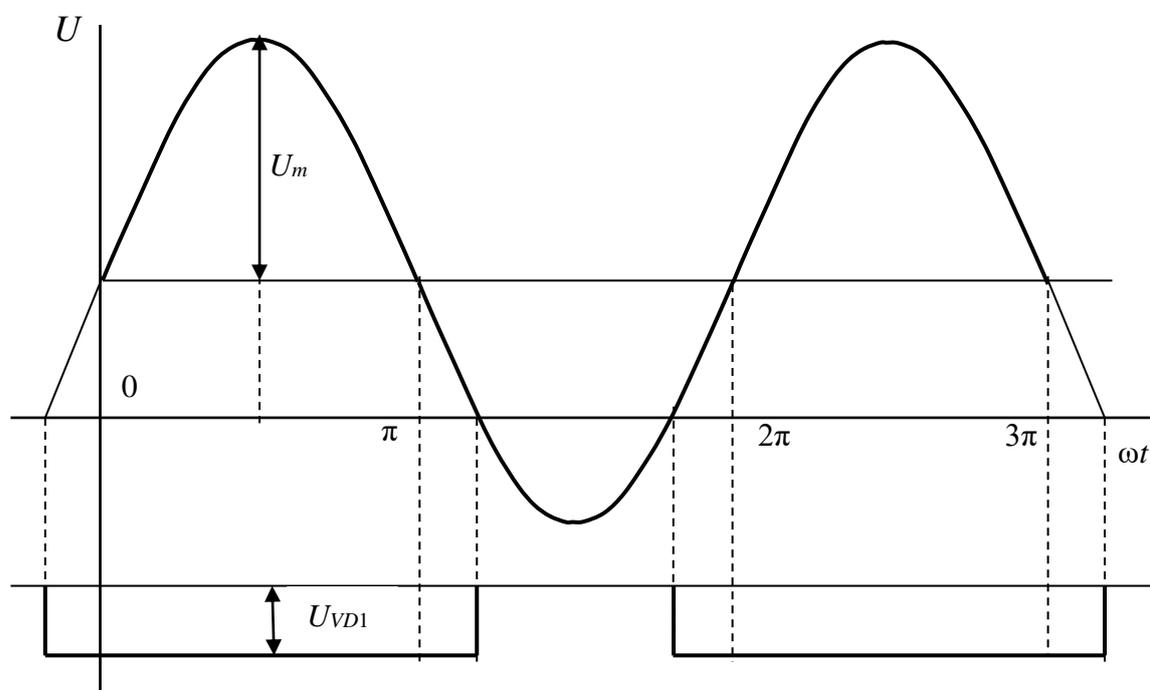


Рис. 3  
Положительная полуволна напряжения



**Замечание:** кроме приведённого способа формирования импульсов возможно применение генераторов импульсов на микросхеме КР1006ВИ1, которая включается на выходе компаратора DA4, исключая при этом DA5 – DA8. Эта микросхема (рис. 4) может работать в импульсном режиме, позволяет сформировать необходимые управляющие импульсы когда импульс с DA4 больше длительности требуемой величины. Однако практическое исследование показало, что после основного управляющего импульса, когда тиристор открыт, появляется ещё один такой же импульс соответствующий концу импульса с DA4, что может привести к дополнительному нагреву управляющего перехода тиристора.

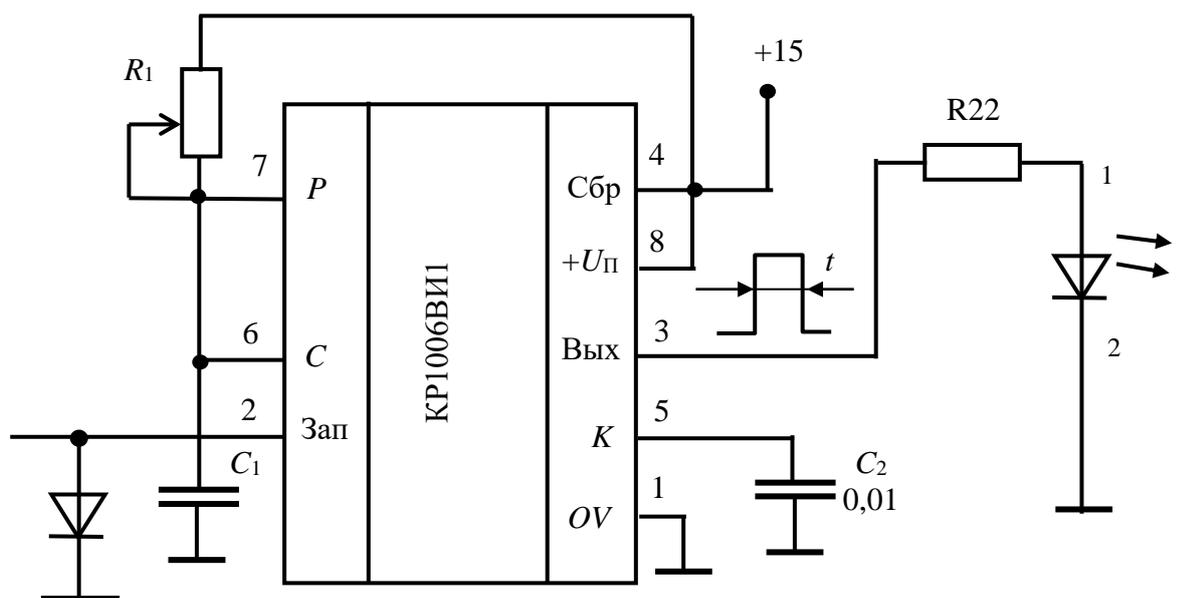


Рис. 4  
Микросхема КР1006ВИ1 в импульсном режиме

Таким образом увеличенная зона настройки фазы управляющих импульсов позволяет получить управляющие импульсы необходимой длительности  $15^\circ$ , и регулировать фазу их действия в пределах от 0 до 180 градусов, т. е. во всём диапазоне. При этом величина напряжения  $U_{вх}$  ограничивается переменным сопротивлением R45 на некотором максимальном уровне, чтобы угол открывания тириستоров не был меньше нуля.



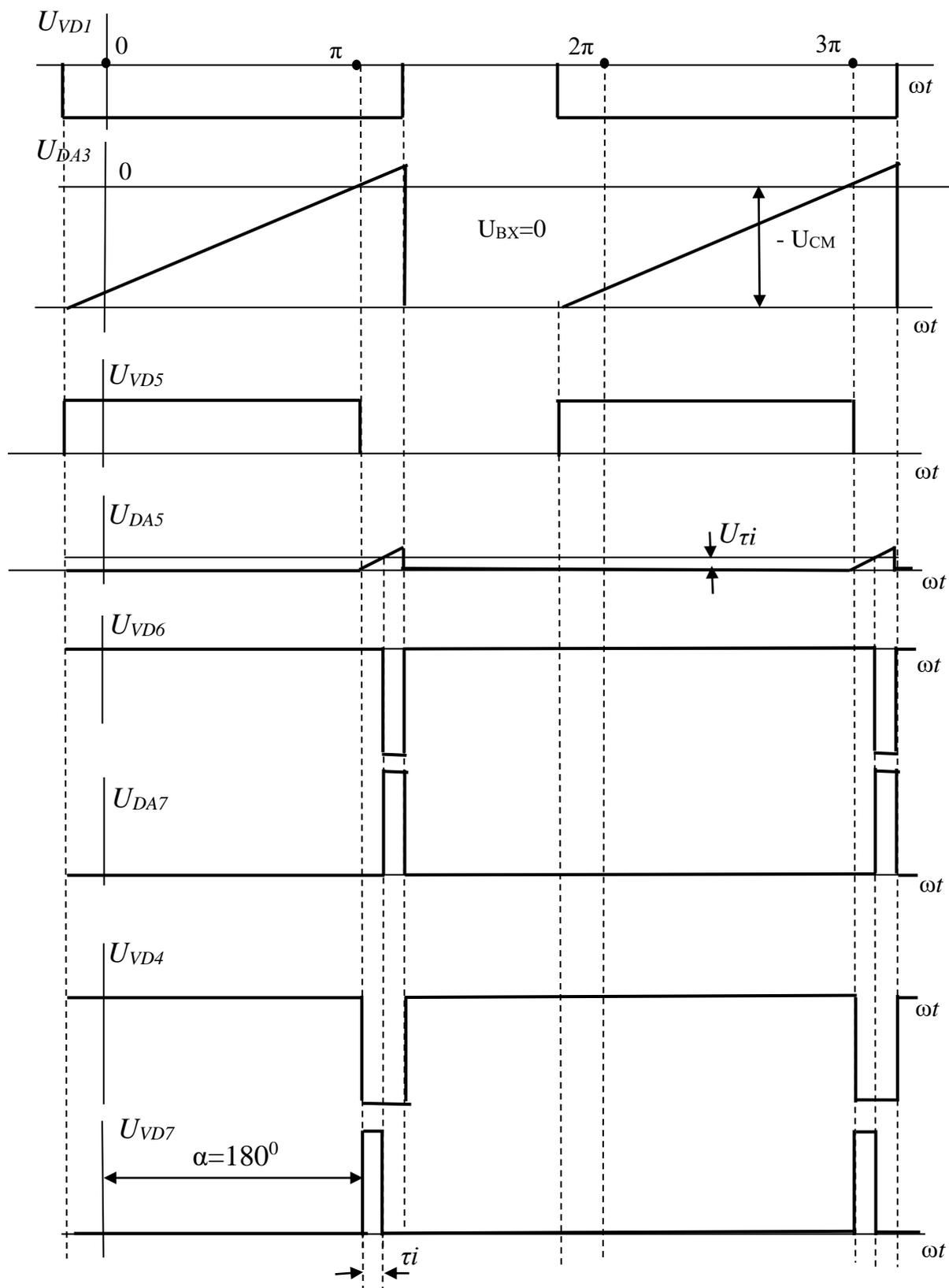


Рис. 5  
Диаграмма напряжений при  $U_{BX}=0$



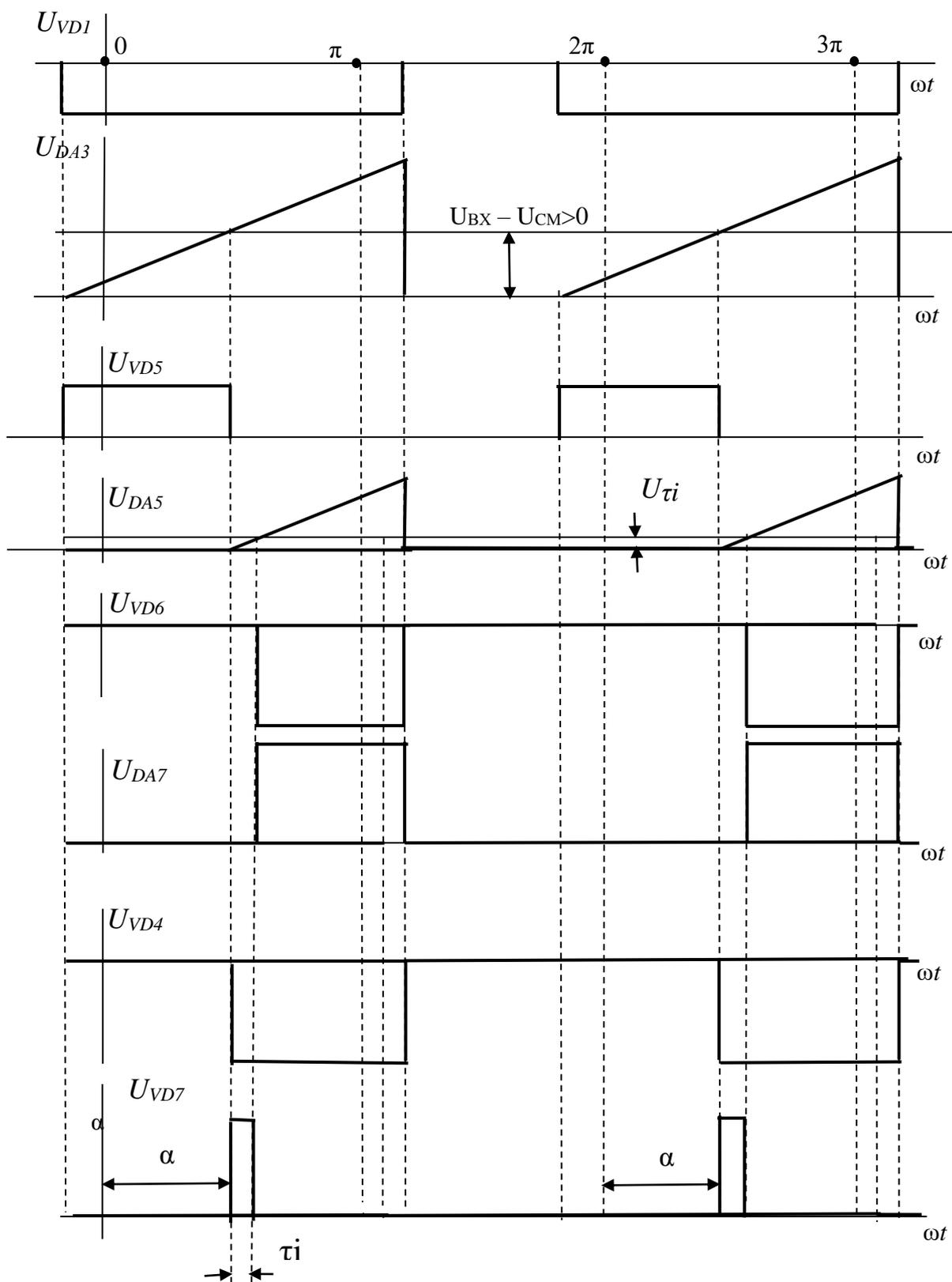


Рис. 6  
Диаграмма напряжений при  $U_{VX} > 0$



*Список литературы:*

1. Авторы: Пиксаев В. М., Третьяков Д. А., Егоркин Д. В. Система импульсно-фазового управления тиристорным выпрямителем и фазосдвигающее устройство в его составе. Опубликовано: 2013.06.10, Патентообладатели: Открытое акционерное общество "Электровыпрямитель"
2. Москаленко В.В. Электрический привод: Учебное пособие. – М.: Энергоатомиздат, 2004. – 416 с.
3. Авторы: Модзелевский Д. Е., Островляничик В. Ю. Принципы построения микропроцессорных систем импульсно-фазового управления.  
Источник: Сибирский государственный индустриальный университет г. Новокузнецк / Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых / Под общей редакцией Л.П. Мышляева; СибГИУ. – Новокузнецк, 2008. – Вып. 12. – Технические науки. – с. 43-46.
4. Лалетин В.И. Силовая электроника. Курсовое проектирование преобразовательных устройств: Учебно-методическое пособие/ В.И. Лалетин – Киров: ФГБОУ ВПО «ВятГУ», 2014. – 136 с.: ил. В учебном пособии излагаются вопросы расчета тиристорных преобразователей для электроприводов постоянного тока.
5. Чернов Е. А., Кузьмин В. П. Комплектные электроприводы станков с ЧПУ. Справочное пособие. – Горький: Волго – Вятское кн. изд – во. 1989. – 320 с. ил.
6. Качалов А. В., Рахматулин Р. М., Дудкин М. М., Цытович Л. И. Система импульсно-фазового управления. Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Южно-Уральский государственный университет". Публикация патента: 10.08.2010
7. Гельман М.В., Дудкин М.М., Преображенский К.А. Преобразовательная техника. Учебное пособие. Челябинск. Издательский центр ЮУрГУ, 2009.

