



ДЕРЖАВНЕ
ПАТЕНТНЕ
ВІДОМСТВО

Л
(19) $\backslash Sf \sim \backslash (II)$ _____ %J
(51) H 02 P 5/08, 5/12

(И)

НА ВИНАХІД

(54) АДАПТИВНИЙ РЕГУЛЯТОР СТРУМУ ДЛЯ КЕРОВАНИХ ВЕНТИЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

(20)94230329,30 08 93

(21)4832348/07 (22)29 05

90 SU (46)28 12 94 Бюл

N* 7-1

(56) 1 Авторское свидетельство СССР

N-898581, кл Н 02 Р 5/12, 1976

2 Авторское свидетельство СССР №

1104529.кл Н 02 Р5/06.1984 (прототип)

(71) Всесоюзный научно-дослідний проект
но-конструкторський та технологічний
інститут силових напівпровідникових при
строїв

(72) Сороченко Микола Іванович, Чудновський
Олександр Михайлович

(73) Український науково-дослідний інститут
силової електроніки "Перетворювач"

(57) Адаптивный регулятор тока для управляемых вентильных преобразователей, содержащий интегральный регулирующий элемент, подключенный к первому входу сумматора, выход которого является выходом устройства, пропорциональный регулирующий элемент, первым входом подключенный к клемме "задание", первый ключевой элемент, RS-триггер режима не прерывных токов, своим выходом подключенный ко входу управления первого ключевого элемента, и формирователь импульсов, отличающийся тем, что в него введены два ключевых элемента, датчик среднего значения тока, первый нелинейный элемент, моделирующий характеристику ЭДС - ток преобразователя, второй нелинейный элемент, корректирующий переходную характеристику преобразователя, третий нелинейный элемент, моделирующий переходную характеристику преобразователя, пять фиксаторов нулевого порядка, два пороговых элемента, два элемента умножения, один элемент деления, три узла сравнения, задатчик уставки и делитель, причем второй вход сумматора объединен с первым входом формирователя

импульсов и через первый ключевой элемент соединен с выходом пропорционального регулирующего элемента и выходом первого элемента умножения, вход интегрального регулирующего элемента через второй ключевой элемент соединен с выходом первого и второго узлов сравнения, входы управления первого и второго ключевых элементов объединены, первые входы первой узла сравнения и первого порогового устройства подключены к клемме "задание", вход датчика среднего значения тока подключен к клемме "обратная связь" и через первый фиксатор нулевого порядка - к первому входу третьего узла сравнения, а выход через второй фиксатор нулевого порядка - ко второму входу первого узла сравнения, выход интегрального регулирующего элемента подключен ко входам первого и второго нелинейных элементов, выход первого нелинейного элемента подключен к первому а выход задатчика уставки - ко второму входу второго элемента умножения, выход которого подключен ко вторым входам пороговых элементов, второму входу элемента деления и через делитель - ко второму входу третьего узла сравнения, выход которого подключен к первому входу второго порогового элемента и ко второму входу пропорционального регулирующего элемента, выход первого порогового элемента подключен к S, а второго - к R входу RS- триггера режима непрерывных токов, первый вход элемента деления через третий ключевой элемент соединен и с клеммой "задание", и с выходом второго фиксатора нулевого порядка, выход элемента деления через третий нелинейный элемент подключен к первому входу элемента умножения, второй вход которого подключен к выходу второго нелинейного элемента а выход через последовательно соединенный третий и четвертый фиксаторы нулевого порядка - к

ел

О

первому входу второго узла сравнения и через пятый фиксатор нулевого порядка - ко второму входу этого узла, второй вход формирователя импульсов подключен к клемме "сумма управляющих импульсов", а его пер-

вый выход - ко входам управления второго, второй - четвертого и пятого, третий - третьего, четвертый - первого фиксаторов нулевого порядка, а пятый выход - ко входу управления третьего ключевого элемента.

Изобретение относится к электротехнике, может быть использовано в системах автоматизированного вентильного электропривода постоянного тока и ориентировано на реализацию программным способом в 5 микропроцессорных системах управления.

Известен адаптивный регулятор для управляемых выпрямителей [1], содержащий триггер наличия тока, измеритель длительности протекания тока, интегральный регулирующей элемент, сумматор, блок коммутации с ключевыми элементами (ключи интегрального регулирующего элемента) и блок коммутации с ключевыми элементами (ключи пропорционального регулирующего 15 элемента). Измеритель длительности протекания тока состоит из ключа, генератора, счетчика, ключей, дешифратора, инвертора и формообразователя импульсов. Выходы измерителя длительности протекания тока подключены к управляющим входам ключей и пропорционального и интегрального регулирующих элементов, а вход соединен с выходом триггера наличия тока, причем триггер наличия тока через ключ соединяет 25 генератор стабильной частоты со счетным входом счетчика» установочный вход которого через формирователь импульса соединен с выходом триггера наличия тока. Выходы счетчика через ключи, управляющие входы 30 которых через логический инвертор соединены с выходом триггера наличия тока, соединены со входами дешифратора выходы которого соединены с ключами.

Недостатком указанного устройства является низкое быстродействие регулятора в режиме прерывистых токов из-за запаздывания корректирующего воздействия и в режиме непрерывных токов из-за влияния пульсации тока на динамический коэффициент преобразователя, а также возможное перерегулирование в токе при выходе из прерывистого режима в непрерывный.

Известен адаптивный регулятор для управления вентилями преобразователями 45 [2], содержащий датчик наличия тока, интегральный и пропорциональный регулирующие элементы, выходы которых связаны с входом сумматора, генератор, связанный через ключевой элемент со счетчиком, и 50 формирователь импульсов, к первому входу которого, объединенному со вторым входом

ключевого элемента, подключены выход датчика наличия тока, а выход формирователя связан со счетчиком, кроме того, адаптивный регулятор содержит цифроаналоговый преобразователь, цифровой вычислитель, элемент памяти, RS-триггер режима непрерывных токов и регистр, причем входы регистра объединены с выходами счетчика, а выход - с первыми входами цифрового вычислителя, вторые входы которого, объединенные с информационными входами счетчика, соединены с выходами элемента памяти, выходы цифрового вычислителя соединены с информационными входами цифроаналогового преобразователя, выход которого соединен входом сумматора, выход переполнения счетчика соединен с входом RS-триггера режима непрерывных токов, S-вход которого объединен с выходом датчика наличия тока, а выход - с третьим входом ключевого элемента и с вторым входом формирователя импульсов, первый выход которого соединен с входом сброса счетчика, второй выход - с входом записи регистра, а третий - с входом записи счетчика.

Недостатками указанного устройства являются низкое быстродействие регулятора в режиме прерывистых токов из-за запаздывания корректирующего воздействия и в режиме непрерывных токов из-за влияния пульсации тока на динамический коэффициент преобразователя, а также низкое быстродействие отработки возмущения в прерывистом режиме.

В основу изобретения поставлена задача повышения быстродействия регулирования тока в режиме прерывистых токов за счет адаптации регулятора к нелинейным характеристикам преобразователя, а в режиме непрерывных токов за счет устранения влияния пульсаций.

Поставленная задача достигается тем, что в адаптивный регулятор тока для управляемых вентильных преобразователей, содержащий регулирующий элемент, подключенный к первому входу сумматора, выход которого является выходом устройства, пропорциональный регулирующий элемент, первым входом подключенный к клемме "задание", первый ключевой элемент, RS-триггер режима непрерывных то-

ков, своим выходом подключенный ко входу управления первого ключевого элемента, и формирователь импульсов, введены два ключевых элемента, датчик среднего значения тока, первый нелинейный элемент, моделирующий 5
 моделирующий характеристику ЭДС-ток преобразователя, второй нелинейный элемент, корректирующий переходную характеристику преобразователя, третий нелинейный элемент, моделирующий пере- 10
 ходную характеристику преобразователя, пять фиксаторов нулевого порядка, два пороговых элемента, два элемента умножения, один элемент деления, три узла сравнения, задатчик уставки и делитель, причем второй 15
 вход сумматора объединен с первым входом формирователя импульсов и через первый ключевой элемент соединен с выходом пропорционального регулирующего элемента, и выходом первого элемента умножения, вход 20
 интегрального регулирующего элемента через второй ключевой элемент соединен с выходом первого и второго узлов сравнения, входы управления первого и второго ключевых элементов объединены, первые входы 25
 первого узла сравнения и первого порогового устройства подключены к клемме "задание", вход датчика среднего значения тока подключен к клемме "обратная связь" и через первый фиксатор нулевого порядка к 30
 первому входу третьего узла сравнения, а выход - через второй фиксатор нулевого порядка ко второму входу первого узла сравнения, выход интегрального регулирующего элемента подключен ко входам первого и 35
 второго нелинейных элементов, выход первого нелинейного элемента подключен к первому, а выход задатчика уставки - ко второму входу второго элемента умножения, выход которого подключен ко вторым вхо- 40
 дам пороговых элементов, второму входу элемента деления и через делитель - ко второму входу третьего узла сравнения, выход которого подключен к первому входу второго порогового элемента и ко второму входу 45
 пропорционального регулирующего элемента, выход первого порогового элемента подключен к S, а второго - к R входу RS-триггера режима непрерывных токов, первый вход элемента деления через третий ключевой 50
 элемент соединен и с клеммой "задание", и с выходом второго фиксатора нулевого порядка, выход элемента деления через третий нелинейный элемент подключен к первому входу элемента умножения, второй вход ко- 55
 торого подключен к выходу второго нелинейного элемента, а выход через последовательно соединенные третий и четвертый фиксаторы нулевого порядка - к первому входу второго узла сравнения и через

пятый фиксатор нулевого порядка ко второму входу этого узла, второй вход формирователя импульсов подключен к клемме "сумма управляющих импульсов", а его первый выход - ко входам управления второго, второй - четвертого и пятого, третий - третьего, четвертый-первого фиксаторов нулевого порядка, а пятый выход - ко входу управления третьего ключевого элемента.

Сущность изобретения поясняется чертежами.

Структурная схема предлагаемого устройства представлена на фиг. 1

На фиг. 2 представлена переходная характеристика первого нелинейного элемента устройства, идентичная зависимости величины гранично-непрерывного тока преобразователя от ЭДС.

На фиг. 3 представлена передаточная характеристика системы импульсно-фазового управления и преобразователя

На фиг. 4 представлена диаграмма генерирования импульсов формирователя импульсов

Из фиг 5 представлен один из вариантов возможной реализации устройства формирования сигнала У4

На фиг. 6 представлена переходная характеристика второго нелинейного элемента устройства, идентичная переходной характеристике преобразователя в зоне прерывистых токов при ЭДС равной нулю.

На фиг. 7 представлена переходная характеристика третьего нелинейного элемента устройства, которая позволяет учитывать зависимость кривой, представленной на фиг. 6, от ЭДС.

На фиг. 8 представлена временная диаграмма работы устройства в зоне прерывистых токов.

Адаптивный регулятор тока для управляемых вентильных преобразователей содержит интегральный регулирующий элемент 1, сумматор 2, пропорциональный регулирующий элемент 3, ключевые элементы 4, 5, 6, RS-триггер режима непрерывных токов 7, формирователь импульсов 8, датчик среднего значения тока 9, нелинейные элементы 10, 11, 12, фиксаторы нулевого порядка 13, 14, 15, 16, 17, пороговые элементы 18, 19, элементы умножения 20, 21. элемент деления 22, узлы сравнения 23, 24, 25, задатчик уставки 26 и делитель 27.

Интегральный регулирующий элемент 1 подключен к первому входу сумматора 2, выход которого является выходом устройства, второй вход сумматора 2 соединен с первым входом формирователя импульсов 8 и через первый ключевой элемент 4 подклю-

пирующего элемента 3 или к выходу элемента умножения 20, вход интегрального регулирующего элемента 1 через ключевой элемент 5 подключен к выходу узла сравнения или 23, или 24, управляющие входы ключевых элементов 4 и 5 подключены к выходу RS-триггера 7, первые входы пропорционального регулирующего элемента 3, узла сравнения 23 и порогового устройства 18 подключены к клемме "задание", вход датчика среднего значения тока 9 подключен к клемме "обратная связь" и через фиксатор нулевого порядка 13 - к первому входу узла сравнения 25, а выход - через фиксатор нулевого порядка 14 ко второму входу узла сравнения 23. Выход интегрального регулирующего элемента 1 подключен ко входам нелинейных элементов 11 и 12, выход нелинейного элемента 11 подключен к первому, а выход задатчика уставки 26 — ко второму входу элемента умножения 21, выход которого подключен ко вторым входам пороговых элементов 18, 19 и элемента деления 22 и через делитель 27 - ко второму входу узла сравнения 25, выход последнего подключен к первому входу порогового элемента 19 и ко второму входу пропорционального регулирующего элемента 3. Выход порогового элемента 18 подключен к S, а порогового элемента 19 - к R входу RS-триггера режима 30 непрерывных токов 7. Первый вход элемента деления 22 через ключевой элемент 6 соединен или с клеммой "задание", или с выходом фиксатора нулевого порядка, выход элемента деления 22 через нелинейный элемент 10 подключен к первому входу элемента умножения 20, второй вход которого подключен к выходу нелинейного элемента 12, а выход через последовательно соединенные фиксаторы нулевого порядка 15 и 16 - к первому входу узла сравнения 24, а через фиксатор нулевого порядка 17 - ко второму входу этого узла. Второй вход формирователя импульсов 8 подключен к клемме "сумма управляющих импульсов", а его первый выход - ко входу управления фиксатора нулевого порядка 14, второй - фиксаторов 16, 17, третий - фиксатора 15, четвертый - фиксатора 13, а пятый выход - ко входу управления ключевым элементом 6.

Устройство работает следующим образом. Регулятор имеет две структуры в зависимости от тока преобразователя - прерывистого или непрерывного. Выбор одной из структур осуществляется одновременным переключением ключевых элементов 4 и 5. Этими ключами управляет RS-триггер 7. Если на его выходе лог. 1, то ключи находятся в положении согласно фиг. 1. Триггером 7 управляют пороговые эле-

менты 18 и 19, которые переключаются в лог. 1 при превышении сравниваемых ими величины токов задания и обратной связи с гранично-непрерывным током с выхода элемента умножения 21. Величина гранично-непрерывного тока при нулевой ЭДС двигателя задается задатчиком уставки 26. Величина гранично-непрерывного тока преобразователя изменяется с изменением ЭДС двигателя по известному закону, который учитывается нелинейным элементом 11, переходная характеристика которого приведена на фиг. 2. Сигнал с выхода этого элемента используется как коэффициент, на который умножается элементом 21 сигнал задатчика уставки 26. Вместо ЭДС двигателя здесь используется сигнал на выходе интегрального регулирующего элемента 1, которые в режиме прерывистых токов очень близки. Имеется в виду, что передаточная характеристика системы импульсно-фазового управления и преобразователя имеет вид, приведенный на фиг. 3, где U_R - сигнал на выходе сумматора 2, а U_d - выпрямленное напряжение при непрерывном токе. При применении системы импульсно-фазового управления с линейным опорным напряжением все приведенные здесь кривые незначительно видоизменяются. На выходе узла сравнения 25 формируется прогнозируемый сигнал, близкий к среднему значению непрерывного тока преобразователя за интервал вентильности. Этот сигнал получается путем вычитания мгновенного значения тока обратной связи в точке, опережающей точку наступления максимума в токе на несколько электрических градусов, и сигнала с выхода элемента умножения 21 "гранично-непрерывный ток", прошедшего делитель 27 с коэффициентом передачи, примерно равным 0,5. Вычитание этих сигналов учитывает пульсацию в токе. Таким образом, переключение структуры регулирования из прерывистого тока в непрерывный производится сразу после превышения задания на ток величины, равной гранично-непрерывному току, а переключение структуры из непрерывного в прерывистый - при снижении задания на ток и прогнозируемого по обратной связи среднего значения тока ниже уровня гранично-непрерывного тока. RS-триггер имеет приоритет по входу S. Формирователь импульсов 8 вырабатывает управляющие импульсы для фиксаторов нулевого порядка 13...17 и ключевых элементов 4 и 5 согласно диаграмме, приведенной на фиг. 4. В момент действия импульса фиксаторы нулевого порядка 13...17 запоминают на входе состояние входа до прихода следующего импульса. На время действия импульса

У5 ключевой элемент 6 подключает выход фиксатора 14 к первому входу элемента деления 22. Момент формирования импульса У4 соответствует времени выдачи фиктивного импульса управления для последнего 5 включения вентиля с углом управления, соответствующего выходному сигналу интегрального регулирующего элемента, задержанного на постоянное время, например 1,4 мс для шести пульсн ой схемы Лари- 10 онова. Это может быть реализовано, например, с помощью схемы, приведенной на фиг. 5, где $U_{оп}$ - опорное напряжение, $U_{вх}$ - напряжение пропорциональной части регулятора на первом входе сумматора 2. Дат- 15 чик среднего значения тока 9 может быть выполнен на основе интегратора с ключом сброса импульсами управления. Регулятор непрерывного тока преобразователя - пропорционально-интегральный, причем об- 20 ратная связь для пропорционального регулирующего элемента 3 - это зафиксированное в точке сигналом У 4 скорректированное по пульсации в узле 25 мгновенное значение тока, а для интегрального элемента 1 - это измеренное датчиком 9 среднее значение тока за предыдущий интервал вентильности. При згом статическую точность отработки задания обеспечивает обратная связь по датчику среднего значения тока 9, 30 а обратная связь по мгновенному значению тока обеспечивает высокое быст родействие. Применение фиксатора нулевого порядка 13 исключает влияние пульсации выпрямленного тока на коэффициент преобразователя 35 и на зависимость переходного процесса в токе от уровня скачка задания, обеспечивая предельное быстродействие - отработку за- 4 дания за одну дискрету преобразователя. Регулятор прерывистого тока преобразова- 40 теля пропорциональный по заданию и интегральный по заданию и обратной связи с нелинейными коэффициентами. Нелинейность преобразователя в зоне прерывистых токов учитывается нелинейным элемен- 45 том 10, входным параметром для которого является желаемое отношение среднего значения выпрямленного тока к гранично-непрерывному, а выходным - приращение управляющего сигнала сумматора 50 2 от гранично-непрерывного тока до желаемого. Эта кривая, соответствующая ЭДС двигателя равной нулю, приведена из фиг. 6 и мало зависит от параметров нагрузки преобразователя. Зависимость этой конвой от 55 ЭДС двигателя учитывается нелинейным элементом 12, переходная характеристика которого приведена на фиг. 7. Сигнал с выхода этого элемента используется как коэффициент, на который умножается элементом

20 сигнал с выхода нелинейного элемента 10. Входным сигналом для нелинейного элемента 12, также как и для элемента 11, является сигнал на выходе интегрального регулирующего элемента 1. Сигнал задания на ток и среднее значение тока обратной связи проходят одинаковые преобразования через цепочку элементов 22, 10 и 20. Элемент деления 22 определяет, какую часть от гранично-непрерывного тока составляет входной ток цепочки. Временная диаграмма работы устройства в прерывистом токе при приложении скачка задания приведена на фиг. 8. На время действия импульса У5 ко входу цепочки элементов 22, 10 и 20 прикладывается сигнал обратной связи от датчика среднего значения тока 9 через фиксатор 14. Через некоторое время результат преобразования с выхода этой цепочки запоминается фиксатором 17, сравнивается с сигналом на выходе фиксатора 18 в узле сравнения 24 и воздействует на интегральный регулирующий элемент 1. Все остальное время ко входу цепочки прикладывается сигнал задания на ток, который воздействует как на интегральный регулирующий элемент 1 через фиксаторы нулевого порядка 15 и 16, так и на сумматор 2 через ключевой элемент 4. Фиксатор 15 служит для задержки этого сигнала на дискрету преобразователя, компенсирующей задержку сигнала обратной связи в датчике среднего значения тока 9. Быстродействие отработки задания обеспечивается воздействием сигнала задания через цепочку элементов 22, 10, 20, 4 на сумматор 2, а точность и быстродействие по возмущению, вызванное изменением ЭДС двигателя, напряжения питающей сети или неточностью нелинейных и других элементов, обеспечивается интегральным регулирующим элементом 1, причем и в первом и во втором случаях учитывается нелинейность преобразователя в прерывистом режиме его работы. На выходе интегрального регулирующего элемента удерживается значение, соответствующее углу управления при протекании гранично-непрерывного тока, что обеспечивает быстрое переключение структуры регулирования в двух направлениях без перерегулирования в токе, а также в реверсивных преобразователях позволяет работать с углом согласования близким к 90 электрических градусов с предельным быстродействием при реверсах тока. Таким образом, динамика регулятора тока не зависит от уровня ежзка задания и обеспечивает возможность реализации быстродействия, близкого к предельному, в непрерывном и прерывистом токе преобразователя в большом диапазоне изменения противо-ЭДС на-

грузки. Реализация предлагаемого регулятора возможна программным способом в микропроцессорных системах управления преобразователями, т.к. операции преобразования в нем производятся над квазистационарными за дискрету преобразователя сигналами задания и обратной связи по току с большим запасом времени до момента формирования следующего управляющего импульса, что снимает требования к высокой производительности вычислительч. При этом программно реализуются все элементы и узлы устройства, за исключением датчика среднего значения тока 9, фиксаторов нулевого порядка 13 и 14, а выработка импульса 15 У4 требует аппаратной поддержки в виде таймера, который во всех случаях имеется в системе. Нелинейные элементы реализуются в виде таблиц, хранящихся в постоянной памяти. Ниже приведены формулы для расчета регулятора тока:

$$I_{rp} = I_{rpo} * f_i(n-i)$$

Для регулятора непрерывного тока:

$$I_n = I_{n-1} + O_{n-1} - I_{cp} \cdot n \cdot J \cdot K_i; P_n K_{In} H_{т.п.}) \cdot K_2; \quad 25$$

Для регулятора прерывистого тока: *

$$I_n = I_{n-1} + [f_2(I_{n-3}) - I_{п} \cdot 2 \cdot \epsilon \cdot I_i] \cdot \text{гр. п} \quad 30$$

$$x \Gamma_3(-^{\wedge-}) K_3;$$

$$I_{rp,il} = P_n - f_e(I_n - i) \cdot f_3($$

гр. п где R - выход

35

регулятора;

I - интегральная часть регулятора;

P - пропорциональная часть регулятора;
п - текущий номер расчета или замера;
i - задание на ток;
I_{cp} - замер среднего значения тока;
I_т - замер мгновенного значения тока;
I_{гр} - среднее значение гранично-непрерывного тока;

I_{гро} - уставка "гранично-непрерывный ток при нулевой ЭДС";

K_i, K_з - интегральные коэффициенты;

K_г - пропорциональный коэффициент;

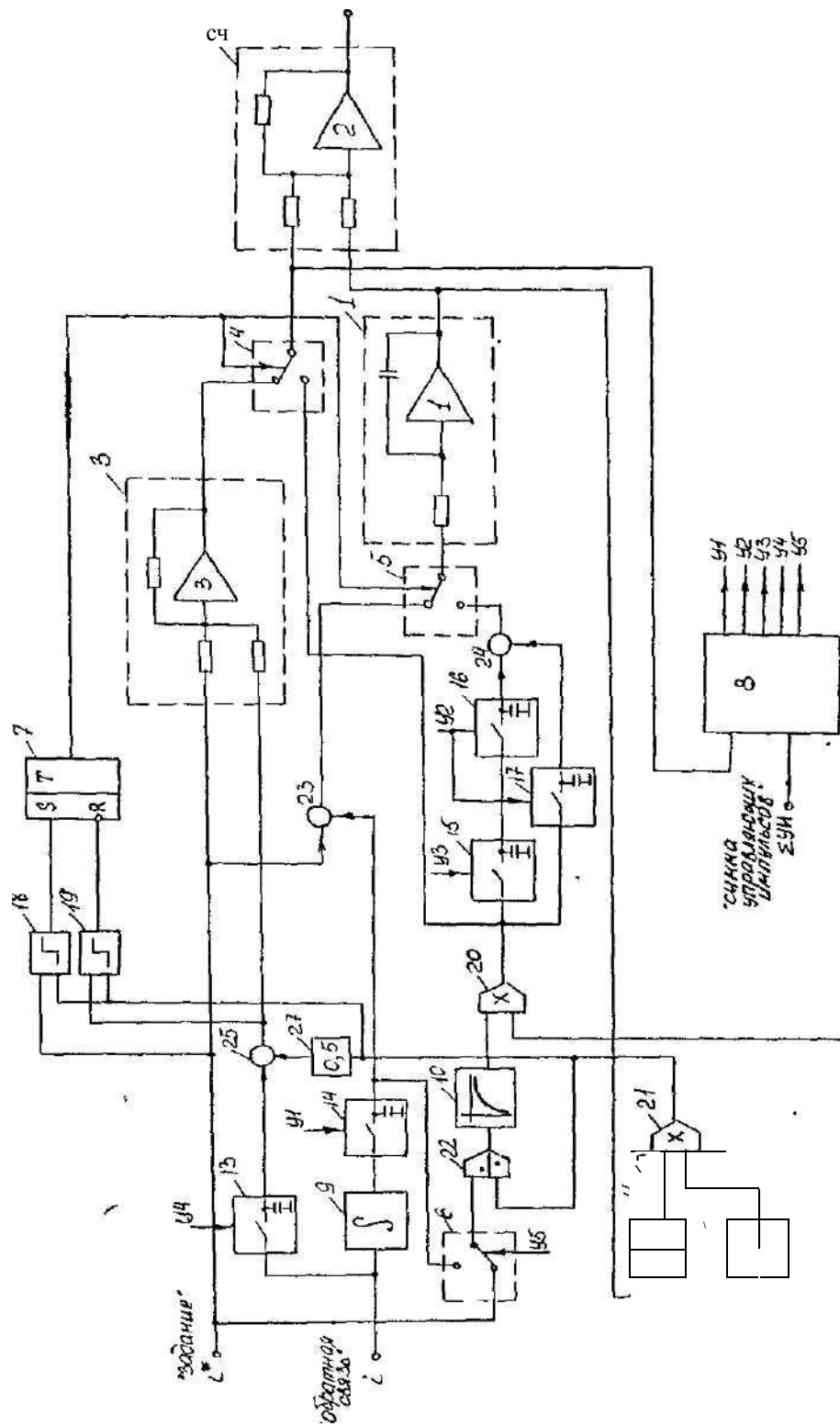
f_i(x) - коэффициент, выбранный из таблицы, выполненной согласно фиг. 2, по аргументу в скобках:

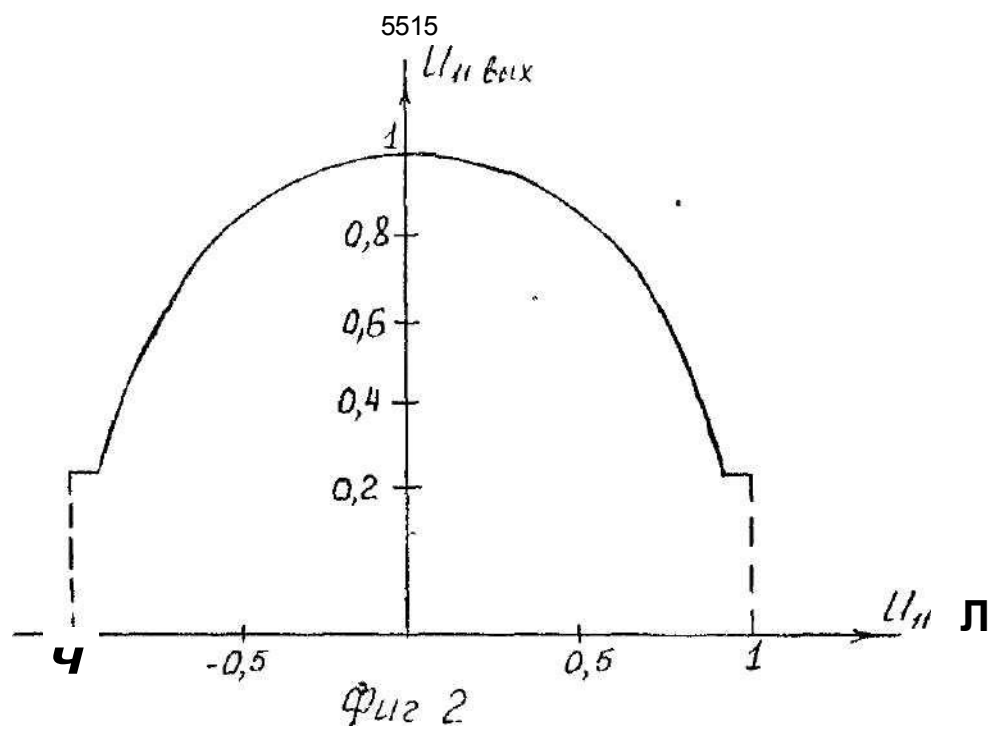
f_г(x) - коэффициент, выбранный из таблицы, выполненной согласно фиг. 7, по аргументу в скобках;

f_з(x) - коэффициент, выбранный из таблицы, выполненной согласно фиг. 6, по аргументу в скобках.

Синхронизация расчетов производится суммой управляющих импульсов, информация о токах обратной связи вводится в микропроцессорную систему управления через, например, аналого-цифровой преобразователь, а выходное цифровое значение реализуется цифровой системой импульсно-фазового управления

Предлагаемое устройство обладает лучшими качествами регулирования тока преобразователя, а именно имеет большее быстродействие по отработке задания тока и более устойчиво к воздействию возмущающих факторов. Улучшение качества регулирования в режиме прерывистых токов достигнуто за счет применения нового принципа адаптации.





и

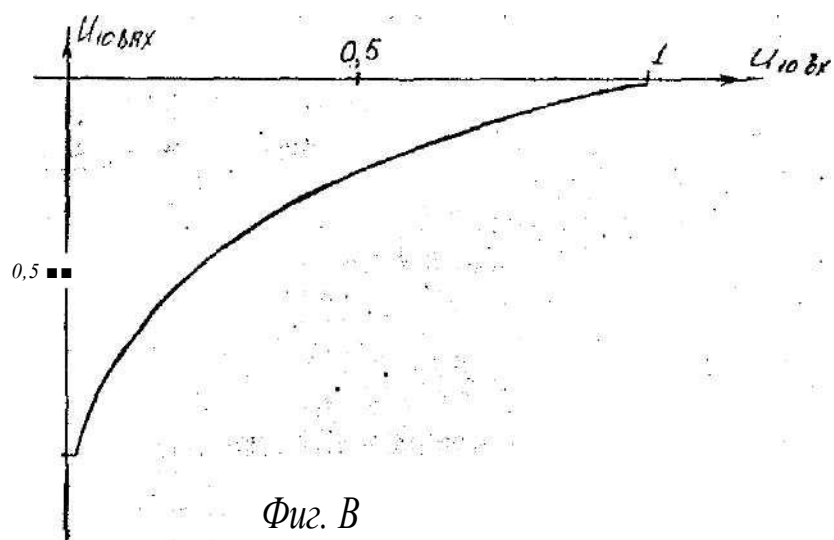
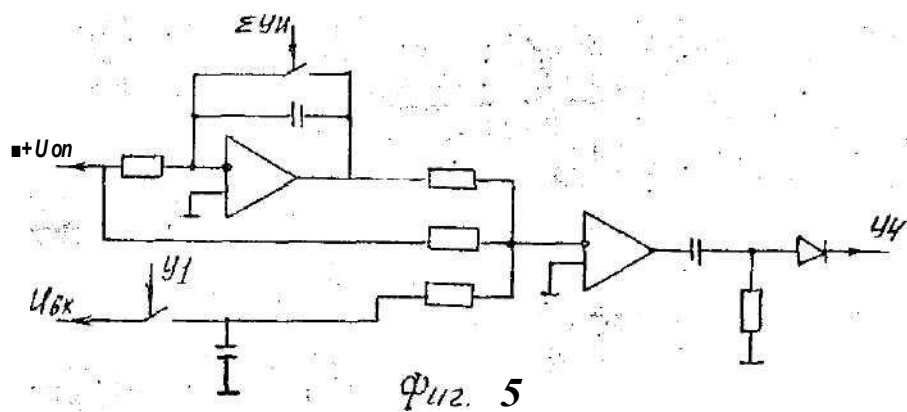
0

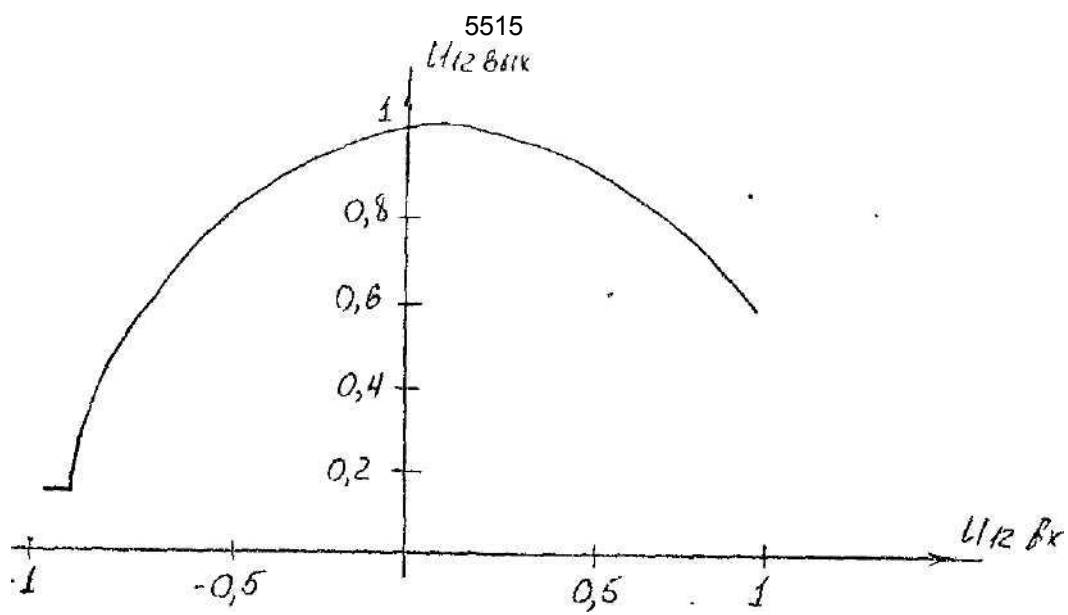
Фиг 2

EYM

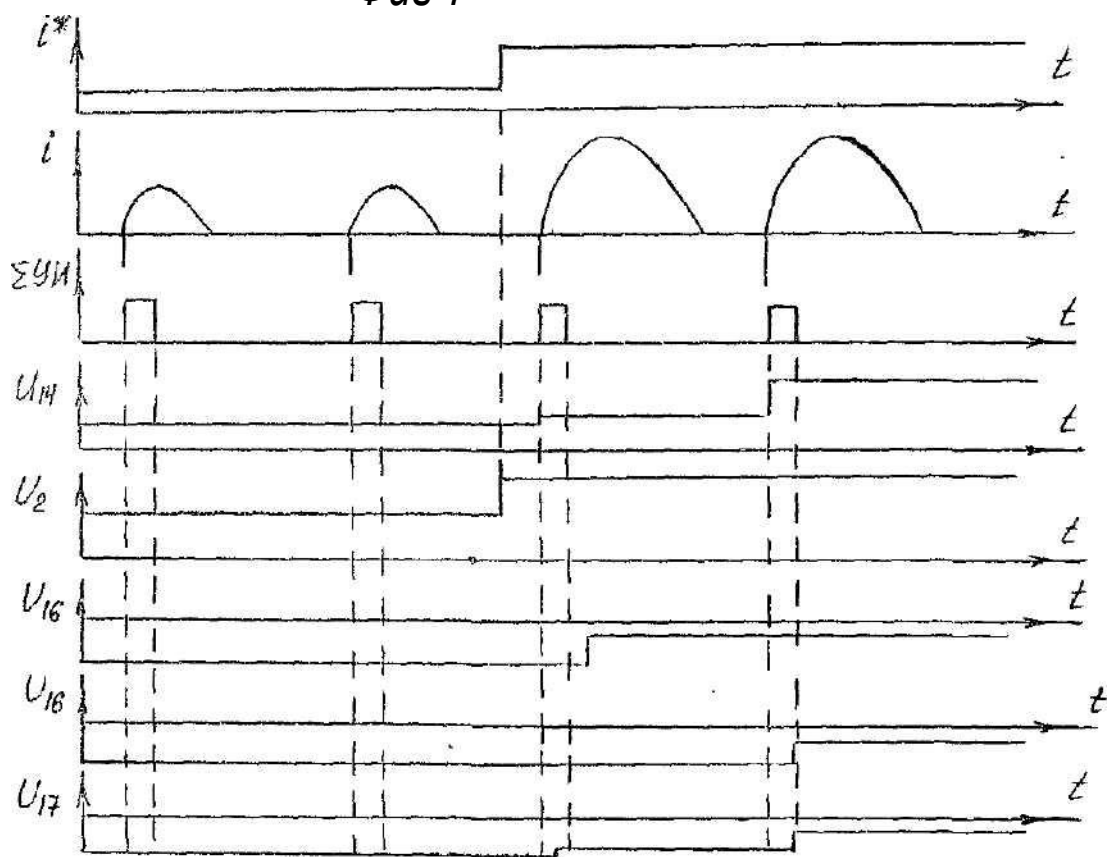
1									<i>i</i>
<i>y_i</i>									
<i>y₃</i>									
<i>y</i>									
<i>b</i>									
<i>t₀</i>									

Фиг.





Фиг 7



Упорядник А.Чудновский

Техред М.Моргентал

Коректор М-Ткач

Замовлення 612

Тираж

Підписне

Державне патентне відомство України,
254655, ГСП, КиТв-53. Львівська пл., 8

Виробничо-видавничий комбінат "Патент", м. Ужгород, вул.Гагаріна, 101