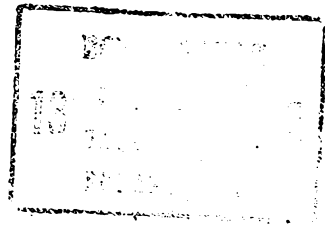




ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ



(21) 3513051/24-07

(22) 25.11.82

(46) 15.04.85. Бюл. № 14

(72) В.В.Аржанов, В.Ф.Егоркин
и В.С.Фадеев

(71) Научно-исследовательский институт автоматики и электротехники при Томском институте автоматизированных систем управления и радиоэлектроники и Всесоюзный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт по автоматизированному электроприводу в промышленности, сельском хозяйстве и на транспорте

(53) 621.313.718.5(088.8)

(56) 1. Боровиков М.А., Инешин А.П. Способ коррекции систем автоматического регулирования. - "Электричество", 1972, № 9, с. 59-63.

2. Теория автоматического регулирования. Под ред. В.В.Солодовникова, кн. 3, ч. 2, М., "Машиностроение", 1969, с. 314-315.

3. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами. Учебное пособие для вузов. Л., Энергоиздат, 1982, с. 295-302.

(54)(57) СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПОСТОЯННОГО ТОКА с гармоническим задающим сигналом, согласно

которому определяют желаемый переходный процесс электропривода с помощью его модели, измеряют амплитуды переменных составляющих напряжений на выходе модели и пропорционального частоте вращения электропривода, определяют отношение указанных амплитуд, измеряют фазы переменных составляющих напряжения на выходе модели и напряжения, пропорционального частоте вращения электропривода, сравнивают их, определяя фазовый сдвиг, отличающийся тем, что, с целью улучшения динамических показателей путем расширения полосы пропускания частот электропривода, дополнительно определяют амплитуду переменной составляющей задающего напряжения и при отношении упомянутых амплитуд напряжений меньшем единицы уменьшают, а при отношении амплитуд большем единицы увеличивают амплитуду переменной составляющей задающего напряжения пропорционально указанному отношению, а также сдвигают фазу переменной составляющей задающего напряжения в сторону опережения на величину фазового сдвига между переменными составляющими напряжений.

Изобретение относится к электро-
технике, а именно к управлению авто-
матизированными электроприводами
постоянного тока и предназначено для
быстродействующих электроприводов
механизмов подач металлорежущих стан-
ков с устройством числового програм-
много управления.

Известен способ упреждающей кор-
рекции в быстродействующем электро-
приводе постоянного тока, заключаю-
щийся в том, что производят сравнение
напряжений с выхода эталонной модели,
формирующей заданные динамические
характеристики электропривода и вы-
ходного напряжения электропривода
(скорости электродвигателя), а также
формирование напряжения обратной свя-
зи корректирующим устройством в зави-
симости от величины ошибки между
упомянутыми напряжениями, которое
поступает на выход соответствующего
регулятора системы электропривода
постоянного тока как отрицательная
обратная связь [1].

Недостатком известного способа яв-
ляются низкие динамические показатели,
а именно малая величина полосы про-
пускания частот электропривода. Это
объясняется тем, что происходит опре-
деление ошибки регулирования в элект-
роприводе (ошибки между напряжением
с выхода эталонной модели и выходным
напряжением тахогенератора (датчика
частоты вращения электропривода),
которая при гармоническом входном
напряжении не разделяется на состав-
ные части, т.е. была ли ошибка в элект-
роприводе по фазе (сдвиг по фазе вы-
ходного гармонического напряжения
датчика частоты вращения электропри-
вода) или по амплитуде (уменьшение
амплитуды гармонического напряжения
датчика частоты вращения электропри-
вода по сравнению с амплитудой вход-
ного гармонического напряжения). При
этом в динамических режимах в элект-
роприводе постоянного тока с наличием
различных нелинейностей, ухудшающих
динамические свойства электропривода,
увеличивается ошибка регулирования,
которая приводит к увеличению ком-
пенсированного напряжения, поступающего
на один из регуляторов электропривода.
Однако это компенсирующее напряжение
не определяет, какая ошибка регули-
рования была в электроприводе (по
амплитуде или по фазе), а является

интегральной величиной этих двух
ошибок регулирования при гармоничес-
ком задающем напряжении. И ошибка
регулирования в системе электропри-
вода при таком способе уменьшается
незначительно. При этом в электропри-
воде могут возникнуть субгармонические
колебания скорости и тока, или сис-
тема электропривода будет вообще
неустойчива из-за того, что на один
из регуляторов подается большой ком-
пенсированный сигнал, который не при-
водит к компенсации динамической
ошибки в электроприводе. Для исклю-
чения в электроприводе субгармони-
ческих колебаний будут занижены
динамические свойства электропривода,
т.е. будет существенно уменьшена
предельная полоса пропускания частот.

Известен также способ управления
системой электропривода с эталонной
моделью, заключающийся в том, что
сравнивают напряжение с выхода эталонной
модели и напряжение обратной связи и в
функции ошибки регулируют коэффи-
циент усиления в системе электро-
привода с помощью корректирующего
устройства [2].

Недостатком данного способа управ-
ления являются также низкие динами-
ческие свойства электропривода пос-
тоянного тока, а именно малая вели-
чина полосы пропускания частот. Это
объясняется следующим. В данном
способе осуществляется сравнение
выходного напряжения эталонной моде-
ли и выходного напряжения датчика
скорости и при несоответствии упо-
мянутых напряжений в электроприводе
постоянного тока увеличивается коэф-
фициент усиления. Однако при входном
гармоническом напряжении не опреде-
ляется была ли ошибка в системе
электропривода фазовая или амплитуд-
ная, т.е. был ли большой фазовый
сдвиг в фазочастотной характеристике
электропривода или была большая
амплитудная ошибка в амплитудно-
частотной характеристике электро-
привода. Это ведет к тому, что в
электроприводе при больших фазовых
или амплитудных ошибках резко увели-
чивается коэффициент усиления. Но
ошибка регулирования в системе элект-
ропривода уменьшается незначительно
из-за того, что при гармоническом
задающем напряжении наблюдается
большой фазовый сдвиг гармонического

напряжения тахогенератора (особенно при больших частотах задающего напряжения), а по известному способу он не определяется. Значительное увеличение коэффициента усиления может привести к возникновению субгармонических колебаний скорости и тока при наличии в электроприводе вентильного преобразователя (управляемого выпрямителя или широтно-импульсного преобразователя), а также вывести систему электропривода за границы устойчивости. Все это приводит к необходимости существенного ограничения коэффициента усиления в электроприводе для устранения указанных явлений и к занижению предельных динамических показателей электропривода постоянного тока, а именно к сужению полосы пропускания частот электропривода.

Наиболее близким к изобретению по технической сущности является способ управления электроприводом постоянного тока с гармоническим задающим сигналом, согласно которому определяют желаемый переходный процесс электропривода с помощью его модели, измеряют амплитуды переменных составляющих напряжений на выходе модели и пропорционального частоте вращения электропривода, определяют отношение указанных амплитуд, измеряют фазы переменных составляющих напряжения на выходе модели и напряжения, пропорционального частоте вращения электропривода, и сравнивают их, определяя фазовый сдвиг [3].

Недостатком известного способа управления также являются невысокие динамические свойства электропривода, а именно малая величина полосы пропускания частот. Это объясняется тем, что регулирование частотных характеристик по данному способу производится с помощью регулятора только в нескольких точках частотной характеристики, а это не позволяет плавно и на всех частотах входного гармонического сигнала стабилизировать частотную характеристику электропривода постоянного тока.

Цель изобретения - улучшение динамических показателей путем расширения полосы пропускания частот электропривода.

Указанная цель достигается тем, что согласно способу управления элект-

роприводом постоянного тока с гармоническим задающим сигналом, по которому определяют желаемый переходный процесс электропривода с помощью его модели, измеряют амплитуды переменных составляющих напряжений на выходе модели и пропорционального частоте вращения электропривода, определяют отношение указанных амплитуд, измеряют фазы переменных составляющих напряжений на выходе модели и напряжения, пропорционального частоте вращения электропривода, сравнивают их, определяя фазовый сдвиг, дополнительно определяют амплитуду переменной составляющей задающего напряжения и при отношении упомянутых амплитуд напряжений меньшем единицы уменьшают, а при отношении амплитуд большем единицы увеличивают амплитуду переменной составляющей задающего напряжения пропорционально указанному отношению, а также сдвигают фазу переменной составляющей задающего напряжения в сторону опережения на величину фазового сдвига между переменными составляющими напряжений.

На фиг. 1 изображена функциональная схема устройства, реализующего способ; на фиг. 2 - функциональная схема блока коррекции.

Устройство (фиг. 1) содержит последовательно соединенные регулятор 1 частоты вращения, регулятор 2 тока, тиристорный преобразователь 3, электродвигатель 4, последовательно с якорем которого включен шунт 5, выходом соединенный с датчиком 6 тока, подключенным к второму входу регулятора 2 тока, датчик 7 частоты вращения, установленный на валу электродвигателя 4 и подключенный к второму входу регулятора 1 частоты вращения, эталонную модель 8, входом соединенную с входом электропривода, блок коррекции 9, дифференцирующие звенья 10 и 11, формирователи 12 и 13 амплитуды, блоки деления 14-16, функциональные преобразователи 17 и 18, сумматор 19, причем выход эталонной модели 8 подключен к входу первого дифференцирующего звена 10, выходом соединенного с входом формирователя 12 амплитуды и с входом блока 14 деления, второй вход которого соединен с выходом формирователя 12 амплитуды, выход блока 14 деления подключен к входу функци-

онального преобразователя 17, выход которого соединен с первым входом сумматора 19, выходом подключенного к первому управляющему входу блока 9 коррекции, второй вход сумматора 19 соединен с выходом функционального преобразователя 18, вход которого подключен к выходу блока 15 деления, первым входом соединенного с выходом дифференцирующего звена 11, а входом - 10 с выходом формирователя 13 амплитуды, вход которого соединен с выходом дифференцирующего звена 11, входом соединенного с выходом датчика 8 частоты вращения, выход формирователя 15 13 амплитуды подключен к первому входу блока 16 деления, к второму входу которого подключен выход формирователя 12 амплитуды, а выход блока 16 деления соединен с вторым 20 управляющим входом блока 9 коррекции, вход которого подключен к выходу электропривода, а вход к входу регулятора 1 частоты вращения.

Блок 9 коррекции состоит из инвертирующего усилителя 20, дифференцирующего звена 21, усилителя 22 с переменным коэффициентом усиления, фазовращателя 23 и сумматора 24, причем выход инвертирующего усилителя 20 подключен к первому входу сумматора 24, к второму входу которого подключены последовательно соединенные дифференцирующие звено 21, усилитель 22 с переменным коэффициентом 30 усиления и фазовращатель 23, выход дифференцирующего звена подключен также к второму входу инвертирующего усилителя 20.

Устройство работает следующим 40 образом.

Последовательно соединенные регулятор 1 частоты вращения, регулятор 2 тока, тиристорный преобразователь 3, электродвигатель 4, последовательно 45 с якорем которого включен шунт 5, выходом соединенный с датчиком 6 тока, подключенного к второму входу регулятора 2 тока, датчик 7 частоты вращения, установленный на валу электродвигателя 4 и подключенный к второму входу регулятора 1 частоты вращения, образуют двухконтурную систему с подчиненным регулированием параметров.

Задающее напряжение, поступающее на вход системы электропривода постоянного тока, подается также на вход

эталонной модели 8, которая формирует эталонную динамическую характеристику электропривода и также амплитудно-фазовую характеристику (АФХ) с заданной 5 полосой пропускания частот и заданным показателем колебательности. Выходное напряжение эталонной модели 8 поступает на дифференцирующее звено 10, осуществляющее выделение переменной составляющей в выходном 10 напряжении эталонной модели 8. Данное напряжение можно представить в виде $A_1 \sin(\omega t)$, т.е. как синусоидальную составляющую. Это напряжение поступает на вход формирователя 12 амплитуды и на вход блока 14 деления. Формирователь 12 амплитуды формирует амплитуду выходного напряжения дифференцирующего звена 10, т.е. выделяет модуль этого напряжения. Если 20 входное напряжение формирователя амплитуды $A_1 \sin(\omega t)$, то его выходное напряжение будет A_1 . Напряжение с выхода формирователя 12 амплитуды поступает на входы блоков 14 и 16 деления. На выходе блока 14 деления формируется напряжение вида $\sin(\omega t)$ - синусоидальная составляющая выходного 25 напряжения эталонной модели 8 в относительных единицах, т.е. независимо от амплитуды выходного напряжения эталонной модели 8. Напряжение с выхода блока 14 деления поступает на вход функционального преобразователя 17, имеющего арксинусную 30 характеристику и формирующего напряжение вида ωt , которое поступает на вход сумматора 19. С выхода датчика 7 частоты вращения напряжение поступает на вход дифференцирующего звена 11, осуществляющего выделение переменной составляющей в выходном 35 напряжении датчика частоты вращения. Данное напряжение можно представить в виде $A_2 \sin(\omega t + \varphi)$. Оно поступает на вход формирователя 13 амплитуды и на вход блока 15 деления. Формирователь 13 амплитуды формирует амплитуду выходного напряжения дифференцирующего звена 11, т.е. выделяет 40 модуль этого напряжения. Если на вход его поступает напряжение в виде $A_2 \sin(\omega t + \varphi)$, то выходное напряжение будет A_2 . Напряжение с выхода формирователя 13 амплитуды поступает на входы блоков 15 и 16 деления. На 45 выходе блока 15 деления формируется напряжение в виде $\sin(\omega t + \varphi)$ -

синусоидальная составляющая выходного напряжения датчика частоты вращения в относительных единицах, т.е. независимо от амплитуды A_2 напряжения датчика частоты вращения. Напряжение с выхода блока 15 деления поступает на вход функционального преобразователя 18, имеющего арксинусную характеристику и формирующего напряжения вида $(\omega t + \psi)$. Данное напряжение поступает на второй вход сумматора 19 и на его выходе формируется напряжение вида ψ , пропорциональное фазовой ошибке (фазовому сдвигу в электроприводе на определенной частоте), показывающее расхождение фазочастотной характеристики электропривода постоянного тока по сравнению с эталонной фазочастотной характеристикой, которая формируется эталонной моделью 8. Напряжение с выхода сумматора 19 поступает на управляющий вход блока 9 коррекции.

На первый вход блока 16 деления поступает напряжение A_1 с выхода формирователя 12 амплитуды, а на второй вход поступает напряжение A_2 с выхода формирователя 13 амплитуды. При этом на выходе блока 16 деления формируется напряжение вида $\frac{A_1}{A_2}$, про-

порциональное амплитудной ошибке, показывающее во сколько раз изменяется амплитуда в амплитудно-частотной характеристике электропривода по сравнению с эталонной амплитудой в амплитудно-частотной характеристике, которая формируется эталонной моделью 8. Напряжение с выхода блока 16 деления поступает на второй управляющий вход блока 9 коррекции. В блоке коррекции происходит регулирование амплитуды и фазы переменной составляющей задающего напряжения всего электропривода постоянного тока. Происходит это следующим образом.

Пусть задающее напряжение электропривода можно представить в виде $V + C \sin(\omega t)$, т.е. как сумму постоянной составляющей V и переменной синусоидальной составляющей $C \sin \omega t$. Тогда на выходе дифференцирующего звена 21, осуществляющего выделение переменной составляющей, будет напряжение вида $C \sin \omega t$, которое поступает на вход инвертирующего усилителя

20, на выходе которого будет присутствовать лишь постоянная составляющая задающего напряжения электропривода, а именно величина V . Данное напряжение поступает на вход сумматора 24, на второй вход которого подается скорректированное напряжение переменной составляющей задающего напряжения электропривода через усилитель 22 с переменным коэффициентом, усилитель и фазовращатель 23. Переменная составляющая задающего напряжения $C \sin \omega t$ с выхода дифференцирующего звена 21 поступает на вход усилителя 22 с переменным коэффициентом усиления, управление коэффициентом усиления которого осуществляется

напряжением вида $\frac{A_1}{A_2}$, поступающим с блока 16 деления. Выходное напряжение усилителя 22 можно представить в

виде $C \frac{A_1}{A_2} \sin \omega t$, которое поступает на фазовращатель 23, осуществляющий сдвиг по фазе задающего напряжения в функции управляющего напряжения вида ψ , поступающего с выхода сумматора 19. При этом выходное напряжение фазовращателя в первом приближении можно записать в виде $C \frac{A_1}{A_2} \sin(\omega t - \psi)$.

Выходное напряжение сумматора 24 можно записать в виде $V + C \frac{A_1}{A_2} \sin(\omega t - \psi)$, т.е. на выходе сумматора 24, выход которого является выходом блока 9 коррекции, формируется напряжение, постоянная составляющая которого не изменяется, а переменная синусоидальная составляющая корректируется как по амплитуде, так и по фазе, причем на величины, пропорциональные амплитудной ошибке и фазовой ошибке в электроприводе.

Допустим, в быстродействующем электроприводе постоянного тока имеются различного вида нелинейности, ухудшающие динамические свойства, а именно сужающие полосу пропускания частот и увеличивающие показатель колебательности в электроприводе (например, насыщение регуляторов частоты вращения и тока, кривая нели-

нейного токоограничения для высоко-
моментного электродвигателя, зона
нечувствительности в характеристике
полупроводникового преобразователя,
наличие нелинейности, связанной с
режимом прерывистых токов в преоб-
разователях с раздельным управле-
нием, наличие нелинейного момента
сухого трения в электродвигателе и
т.д.) и на вход электропривода пода-
ется напряжение гармонической формы.
Причем полоса пропускания частот
быстродействующего электропривода
постоянного тока для электроприводов
механизмов подачи металлорежущих
станков с ЧПУ оценивается по двум
условиям: уменьшение амплитуды на-
пряжения на выходе датчика частоты
вращения на 0,7 от амплитуды этого
же напряжения на частоте 0,5 Гц или,
что однозначно, уменьшение коэффи-
циента усиления замкнутого электро-
привода на 3 дБ и наличие в системе
электропривода фазового сдвига между
задающим гармоническим напряжением
и напряжением с выхода датчика частоты
вращения 90° , т.е. полоса пропус-
кания частот в быстродействующем
электроприводе будет максимальной,
если одно из указанных условий до-
стигнет своего предельного значения.
В электроприводе с наличием различно-
го вида нелинейностей происходит
изменение амплитудно-фазовой харак-
теристики электропривода, т.е. изме-
нение величины амплитуды выходного
напряжения датчика 7 частоты враще-
ния по сравнению с задающим напря-
жением и наличие фазового сдвига
между указанными напряжениями. При
этом на выходе формирователей 12 и
13 амплитуды формируются амплитуды
напряжений эталонной модели 8 и
датчика частоты вращения 7 и на блоке
16 деления формируется напряжение,
пропорциональное отношению этих
величин, и данным напряжением проис-
ходит изменение коэффициента усиления
усилителя 22, который регулирует ам-
плитуду переменной составляющей, пос-
тупающей на вход электропривода.

Допустим, что в электроприводе
постоянного тока произошло сужение
полосы пропускания — резко уменьши-
лась амплитуда напряжения датчика
частоты вращения. При этом уменьша-
ется и величина амплитуды напряжения
 A_2 , поступающая с формирователя 13

амплитуды, и на выходе блока 16
деления возрастает напряжение в связи
с тем, что величина амплитуды напряже-
ния с выхода эталонной модели 8, т.е.
напряжение вида A_1 , не меняется.
Возросшее напряжение блока 16 деления
увеличивает коэффициент усиления
усилителя 22, который увеличивает
амплитуду переменной составляющей,
поступающей на вход электропривода.
В электроприводе возрастает при этом
амплитуда напряжения с датчика час-
тоты вращения и происходит расширение
полосы пропускания частот.

Допустим, в электроприводе умень-
шилась полоса пропускания частот
из-за большого фазового сдвига между
задающим напряжением и напряжением
датчика 7 частоты вращения. При этом
на выходе сумматора 19 формируется
напряжение, пропорциональное данному
фазовому сдвигу φ , которое поступает
на управляющий вход фазовращателя 23,
осуществляющего сдвиг по фазе пере-
менной составляющей входного напря-
жения, поступающего на вход регуля-
тора 1 частоты вращения электропри-
вода. И в этом случае происходит сдвиг
по фазе напряжения гармонической формы
на выходе датчика 7 частоты вращения и,
тем самым, уменьшается фазовый сдвиг
между напряжением датчика частоты
вращения и задающим напряжением. В
электроприводе происходит расширение
полосы пропускания частот и улучшение
динамических свойств.

Электропривод, выполненный по пред-
лагаемому способу управления, имеет
высокие динамические показатели, при-
чем полоса пропускания частот опре-
деляется заданной полосой пропускания
частот эталонной модели (параметрами
эталонной модели) и предельными дина-
мическими возможностями силовой части
быстродействующего электропривода
(тиристорный преобразователь-электро-
двигатель). Полоса пропускания частот
может достигать граничной (согласно
теореме Котельникова) и равной

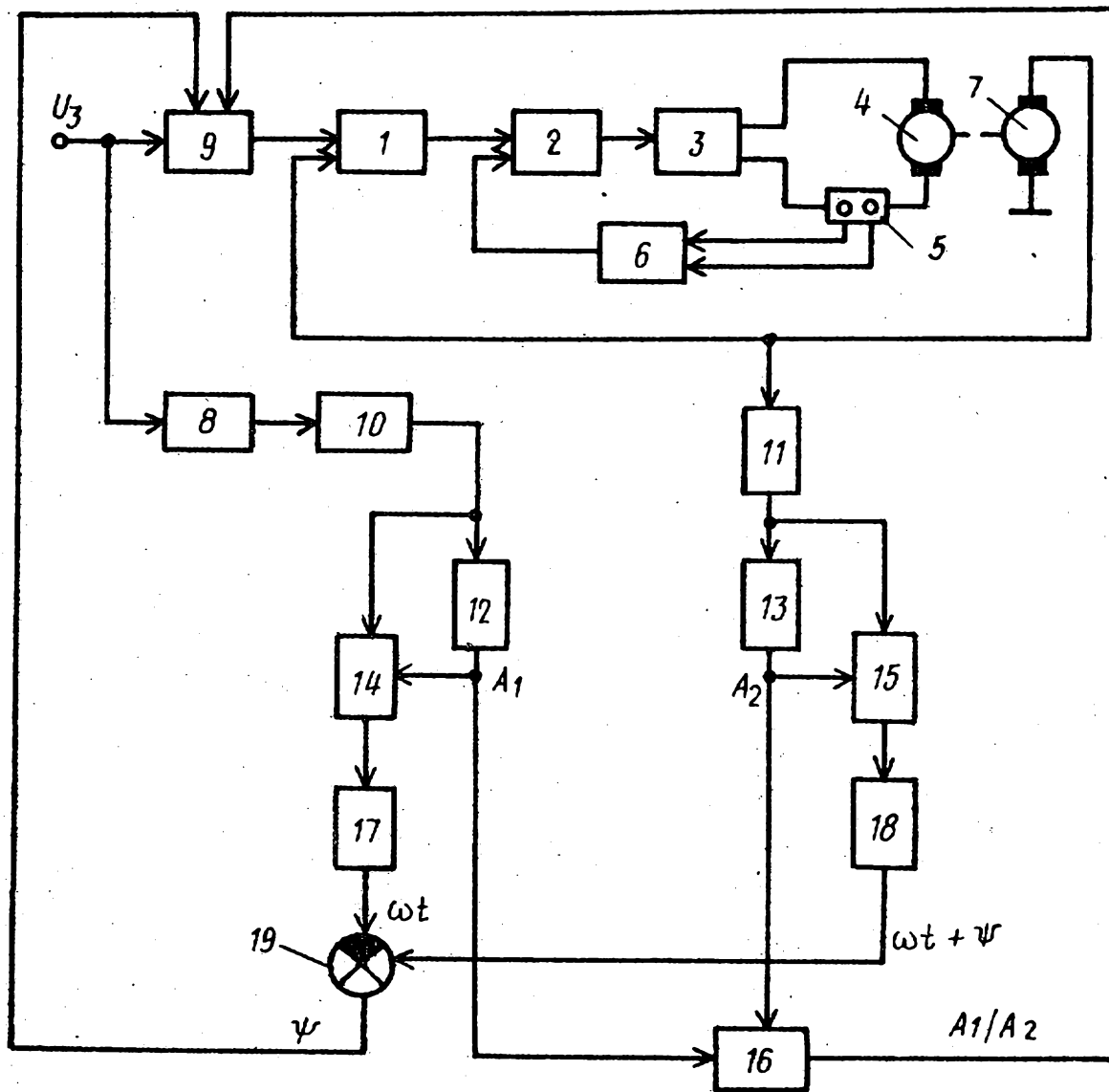
$$\frac{mf}{2}, \text{ где } m - \text{число фаз, } f - \text{частота}$$

питающей сети.

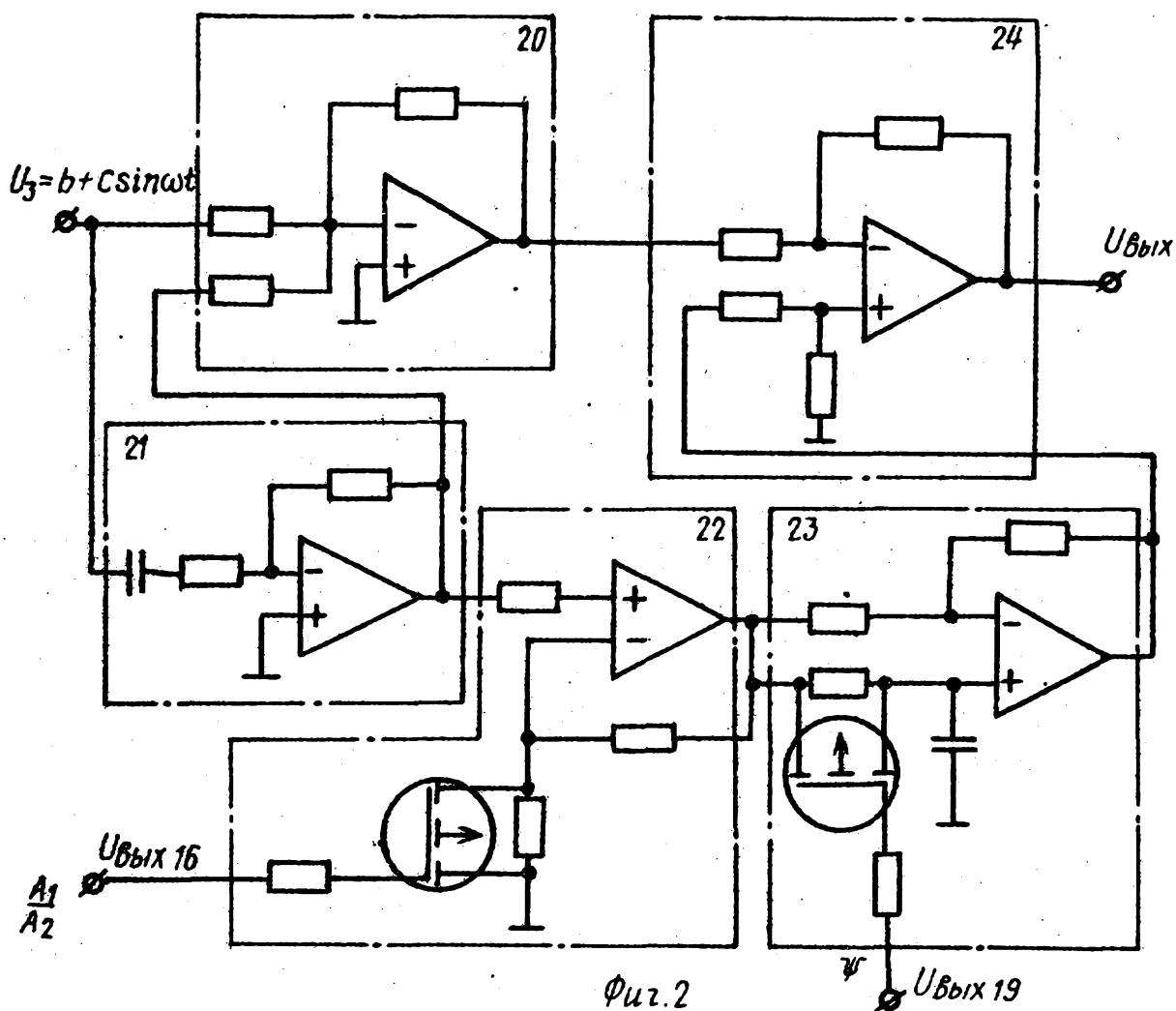
Применение предлагаемого способа
управления в быстродействующих элект-
роприводах постоянного тока и устрой-
ства для его осуществления приводит
к повышению производительности меха-

низмов, например, в механизмах подачи металлорежущих станков с ЧПУ повышается производительность труда за счет уменьшения времени, затрачиваемого на обработку деталей вследствие

повышения динамических свойств электропривода механизма подачи, а именно расширения полосы пропускания частот электропривода и сокращения времени протекания переходных процессов.



$\Phi_{uz.1}$



Редактор К. Волощук Составитель В. Кузнецова Техред С. Легеза Корректор В. Синицкая

Заказ 2158/42

Тираж 646

Подписное

ВНИПИ Государственного комитета СССР
по делам изобретений и открытий
113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5

Филиал ППП "Патент", г. Ужгород, ул. Проектная, 4