



Изобретение относится к электротехнике, в частности к частотно-управляемым электроприводам, и может быть использовано в различных отраслях промышленности: химической, горно-добывающей, металлургической и других.

Цель изобретения — повышение точности стабилизации частоты при колебаниях напряжения сети.

На фиг. 1 представлена функциональная схема частотно-регулируемого электропривода; на фиг. 2 — принципиальная схема блока ограничения; на фиг. 3 — принципиальная схема узла двухзонного регулирования и сумматора; на фиг. 4 — схема замещения главной цепи электропривода.

Частотно-регулируемый электропривод содержит асинхронный двигатель 1 (фиг. 1), обмотки которого подключены к выходам формирователя 2 статорного тока, снабженного первым и вторым управляющими входами 3 и 4 соответственно, и клеммами 5 для подключения питающей сети. Датчик 6 частоты и датчик 7 ЭДС связаны с асинхронным двигателем 1. Частотно-регулируемый электропривод содержит, кроме того, узел 8 заданий управляющих сигналов с первым и вторым выходами 9 и 10 соответственно, регулятор 11 частоты, подключенный управляющим входом к первому выходу 9 узла заданий управляющих сигналов, входом обратной связи — к выходу датчика 6 частоты, а выходом — к первому управляющему входу 3 формирователя 2 статорного тока, узел 12 двухзонного регулирования, подключенный входом обратной связи к выходу датчика 7 ЭДС, а выходом — к одному из входов сумматора 13, другой вход которого соединен с вторым выходом 10 узла 8 заданий управляющих сигналов, выход сумматора 13 подключен к второму управляющему входу 4 формирователя 2 статорного тока.

В частотно-регулируемый электропривод введены последовательно соединенные датчик 14 напряжения, фильтр 15 и блок 16 ограничения, а узел 8 заданий управляющих сигналов снабжен дополнительным выходом 17, подключенным к другому входу блока 16 ограничения, при этом входы датчика 14 напряжения подключены к клеммам 5 для подключения питающей сети, а выход блока 16 ограничения соединен с управляющим входом узла 12 двухзонного регулирования. Датчик 14 напряжения снабжен трехфазным трансформатором 18 и выпрямителем 19. Блок 16 ограничения содержит пропорциональный усилитель 20 (фиг. 2), параллельно которому подключен транзистор 21.

Узел 12 двухзонного регулирования с сумматором 13 снабжен регулятором 22 напряжения (фиг. 3), параллельно которому подключены звенья максимального и минималь-

ного ограничений выходного напряжения регулятора, выполненные, соответственно, на компараторе 23, диоде 24 и компараторе 25, диоде 26, переменном резисторе 27, при этом входы регулятора 22 напряжения образуют входы узла 12 двухзонного регулирования, выход регулятора 22 напряжения образует выход сумматора 13, а вход компаратора 23 образует один из входов сумматора 13.

На схеме замещения главной цепи электропривода (фиг. 4), формирователь статорного тока выполнен на основе преобразователя частоты с промежуточным звеном постоянного тока, приняты следующие обозначения:  $e_d$  — ЭДС управляемого выпрямителя;  $e_u$  — ЭДС инвертора;  $i_d, i_u, i_c$  — токи, соответственно, на выходе выпрямителя, входе инвертора и через емкостной фильтр;  $L_d, L_u, C$  — параметры схемы замещения, соответственно, эквивалентные индуктивность и активное сопротивление главной цепи электропривода, емкость силового фильтра.

Частотно-регулируемый электропривод работает следующим образом.

С выхода 10 узла 8 заданий управляющих сигналов на один из входов сумматора 13 поступает сигнал задания  $i_n^*$  намагничивающей составляющей статорного тока асинхронного двигателя 1, величина которого соответствует номинальному магнитному потоку сцепления  $\Psi_n$ . С выхода 9 узла 8 заданий управляющих сигналов на управляющий вход регулятора 11 частоты поступает сигнал задания частоты  $\omega^*$ , а с выхода 17 на один из входов блока 16 ограничения поступает сигнал задания номинального значения ЭДС  $E_n^*$ .

$$E_n^* = U_n, \quad (1)$$

где  $U_n$  — номинальное напряжение сети.

Регулятор 11 частоты, на входах которого сравниваются сигнал задания  $\omega^*$  и фактического значения  $\omega_c$  частоты асинхронного двигателя 1, поступающий с выхода датчика 6 частоты, формирует на своем выходе сигнал  $i_a^*$  задания активной составляющей статорного тока асинхронного двигателя 1. При этом под намагничивающей  $i_u$  и активной  $i_a$  составляющими статорного тока следует принимать проекции обобщенного вектора статорного тока двигателя на ортогональные оси системы координат, связанной вещественной осью  $\mu$  с обобщенным вектором потокосцепления двигателя.

Рассмотрим работу частотно-регулируемого электропривода при напряжении сети, равном номинальному значению  $U_n$ . На входе блока 16 ограничения поступает с выхода датчика 14 напряжения через фильтр 15 сигнал  $U_{15} = U_n$ , а с выхода 17 узла 8 заданий управляющих сигналов — сигнал  $E_n^*$  задания номинальной ЭДС двигателя. Блок 16 ограничения формирует на своем выходе сигнал  $E^*$  задания ЭДС, пропорциональный номинальному значению  $U_n$ . При этом при ра-

боте электропривода с выходными частотами  $\omega_f$  ниже номинального значения  $\omega_n$ , сигнал  $E$  датчика 7 ЭДС, равен

$$E \approx \omega_f \cdot \psi, \quad (2)$$

где  $\psi$  — потокосцепление двигателя, и не превышает номинального значения ЭДС  $E_n$ , т. е.

$$E \leq E_n^* = \omega_n \psi_n. \quad (3)$$

Таким образом, в первой зоне работы для частот  $\omega_f < \omega_n$  выходной сигнал  $\Delta i_n$  узла 12 двухзонного регулирования равен нулю, на вход 4 формирователя 2 статорного тока с выхода сумматора 13 поступает сигнал задания  $i_{\mu n}^*$  номинальной намагничивающей составляющей статорного тока двигателя. В соответствии с указанным сигналом намагничивающей составляющей тока и сигналом задания  $i_a^*$  активной составляющей статорного тока, поступающим с выхода регулятора 11 частоты, с помощью формирователя 2 статорного тока в двигателе 1 создаются номинальное потокосцепление  $\psi_n$  и активная составляющая статорного тока  $i_a$ , а значит создается электромагнитный момент, равный  $M = \psi_n i_a$  и направленный на сведение к нулю ошибки между заданным  $\omega_f^*$  и фактическим  $\omega_f$  значениями частоты.

Во второй зоне работы для частот выше номинального значения  $\omega_f > \omega_n$ , на входе узла 12 двухзонного регулирования нарушается неравенство (3) вследствие появившегося рассогласования  $\Delta E = E^* - E < 0$ . При этом на его выходе формируется сигнал  $\Delta i_n$ , уменьшается выходной сигнал  $i_{\mu} = i_{\mu n}^* - \Delta i_n$  сумматора 13, уменьшается намагничивающая составляющая, а значит и потокосцепление  $\psi$  двигателя 1 до величины, при которой поддерживается выполнение равенства

$$E_n^* = E = \omega_f \psi. \quad (4)$$

Следовательно, во второй зоне работы в электроприводе осуществляется работа асинхронного двигателя 1 при постоянстве ЭДС  $E$ , равной номинальному значению  $E_n$ . При этом потокосцепление изменяется обратнопропорционально выходной частоте, т. е.

$$\psi = \frac{E_n^*}{\omega_f}. \quad (5)$$

Рассмотрим работу частотно-регулируемого электропривода при напряжении сети ниже номинального значения  $U_c < U_n$  (для преобразовательных устройств согласно стандарта СЭВ допускается просадка напряжения питающей сети до 0,85  $U_n$ ). В этом случае уменьшается пропорционально напряжению сети выходной сигнал датчика 14 напряжения, поступающий через фильтр 15 на вход блока 16 ограничения, вследствие чего на выходе блока 16 ограничения формируется сигнал  $E^*$  задания ЭДС, равный

$$E^* = K_2 E_n, \quad (6)$$

где  $K_2 = \frac{U_c}{U_n}$  — коэффициент, характеризующий относительное измене-

ние напряжения сети ( $K_2 < 1$  — при уменьшении напряжения сети от номинального значения).

При этом первая зона работы электропривода (с номинальным значением потокосцепления  $\psi_n$  осуществляется до уровня сигнала ЭДС  $E^*$ , заданного формулой (6), в диапазоне изменения частоты

$$\omega_f \leq \frac{K_2 E_n^*}{\psi_n} = K_2 \omega_n. \quad (7)$$

Во второй зоне работы при частотах  $\omega_f > K_2 \omega_n$  в электроприводе осуществляется стабилизация ЭДС двигателя на новом уровне  $E = E^*$ , а потокосцепление двигателя изменяется в функции частоты по закону

$$\psi = \frac{K_2 E_n^*}{\omega_f}. \quad (8)$$

Таким образом, несмотря на уменьшение пропорционально напряжению питающей сети максимального значения ЭДС  $\Theta_d$  управляемого выпрямителя (фиг. 3) преобразователя частоты, содержащегося в составе формирователя 2 статорного тока, осуществляется стабилизация ЭДС  $E$  двигателя 1 за счет создания режима ослабления магнитного поля двигателя при частотах выше  $K_2 \omega_n$ . То есть, при уменьшении максимальной ЭДС  $e_d$  выпрямителя (из-за снижения напряжения питающей сети) в устройстве изменяется (уменьшается пропорционально) уставка ЭДС  $E^*$  для второй зоны работы. При этом уменьшается максимальное значение противо-ЭДС инвертора  $e_n = K_2 E$ , следовательно остается неизменной разница  $\Delta e = e_d - e_n$ , необходимая для создания рабочего тока  $i_a$  в звене постоянного тока преобразователя, независимо от колебания напряжения питающей сети.

Рассмотрим работу частотно-регулируемого электропривода при напряжении сети выше номинального значения  $U_c > U_n$  (для преобразовательных устройств согласно стандарту СЭВ допускается превышение напряжения сети до 1,1  $U_n$ ). В этом случае, несмотря на пропорциональное увеличение выходного сигнала датчика 14 напряжения, поступающего через фильтр 15 на вход блока 16 ограничения, посредством транзистора 21 (фиг. 2) на выходе блока 16 ограничения поддерживается сигнал задания ЭДС  $E^*$ , равный номинальному значению  $E_n^*$  ЭДС двигателя. Работа электропривода далее и математические соотношения аналогичны приведенным для случая работы при номинальном значении напряжения питающей сети  $U_c = U_n$ .

При работе электропривода во второй зоне (при постоянстве ЭДС двигателя) при снижении величины потокосцепления уменьшается жесткость механической характеристики и перегрузочная способность по моменту двигателя. Для исключения чрезмерного ослабления магнитного потокосцеп-

ления двигателя (например, для ограничения потокоцепления на уровне 0,5фн) целесообразно включение в состав узла 12 двухзонного регулирования ограничителя максимального выходного сигнала  $\Delta i_{\mu}$ , выполняющего роль ограничителя минимального значения намагничивающей составляющей  $i_{\mu}$  статорного тока асинхронного двигателя 1. В первой зоне работы на входе регулятора 22 напряжения (фиг. 3) существует рассогласование  $\Delta E = E^* - E > 0$ , вследствие чего сигнал на его выходе является постоянным по величине и стабилизируется посредством звена максимального ограничения, выполненного на компараторе 23, диоде 24, на уровне  $i_{\mu}^*$ . Во второй зоне работы при рассогласовании  $\Delta E \leq 0$  — выходной сигнал регулятора 22 напряжения изменяется в пределах  $i_{\mu \min}^* \leq i_{\mu} \leq i_{\mu \max}^*$ . При этом минимальное допустимое значение  $i_{\mu \min}^*$  намагничивающей составляющей статорного тока двигателя задается переменным резистором 27 и поддерживается равным заданному с помощью звена минимального ограничения, выполненного на компараторе 25 и диоде 26.

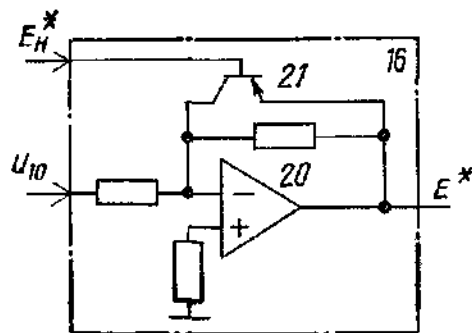
В частотно-регулируемом электроприводе обеспечивается повышение точности стабилизации частоты за счет устойчивого регулирования намагничивающей и активной составляющих статорного тока двигателя независимо от колебаний напряжения питающей сети, что осуществляется путем автоматического изменения в функции величины напряжения питающей сети заданного значения уставки ЭДС для второй зоны работы двигателя. За счет указанного, «следящего» за сетью, изменения уровня уставки ЭДС двигателя в зависимости от величины напряжения питающей сети регулируется максимальное значение противо-ЭДС инвертора так, что независимо от изменения величины напряжения питающей сети, а значит и максимальной ЭДС выпрямителя, входящего в состав преобразователя частоты, удается устойчивое регулирование тока в главной цепи электропривода, а значит и регулирование намагничивающей и активной составляющих статорного тока двигателя. Очевидно, в обеспечиваемых электроприводом двух зонах работы: при постоянном номинальном потокоцеплении и постоянной ЭДС двигателя, независимо от колебаний напряжения питающей сети осуществляется режим стабилизации частоты на заданном уровне и ЭДС на уровне уставки, пропорциональной напряжению сети. В результате указанного управления достигается наилучшее использование (исходя из текущего значения напряжения сети) преобразователя частоты — по напряжению, а двигателя — по перегрузочной способности по

моменту. Достигается также устойчивая стабилизация частоты, момента и тока двигателя, так как выпрямитель преобразователя частоты находится в режиме стабилизации.

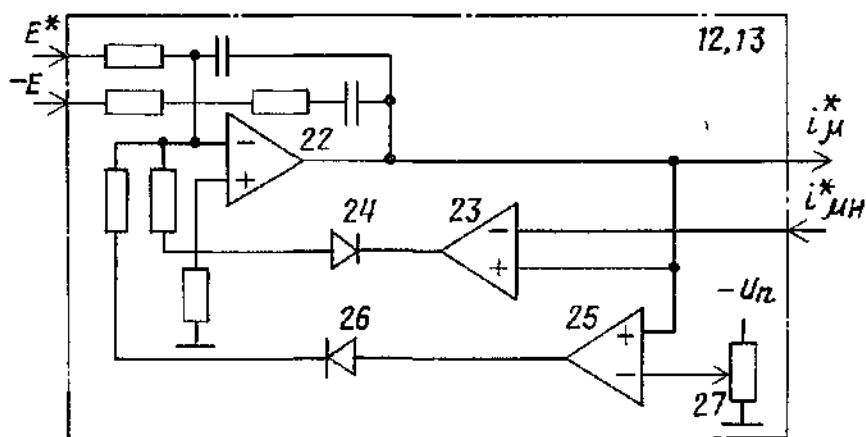
Таким образом, введение в частотно-регулируемый электропривод датчика напряжения, фильтра и блока ограничения позволяет обеспечить более высокую точность стабилизации частоты (не хуже 0,5%) во всем рабочем диапазоне ее изменения при допустимых для промышленных сетей колебаний питающего напряжения (от 0,85 до 1,10 от номинала) в сравнении с известным техническим решением. Стабилизация частоты, а следовательно, момента, тока и скорости вращения асинхронного двигателя в конечном счете обеспечивает увеличение производительности рабочих механизмов (без увеличения установленной мощности электропривода) и улучшение качества продукции (например, химического волокна, прокатываемого металла и др.).

#### Формула изобретения

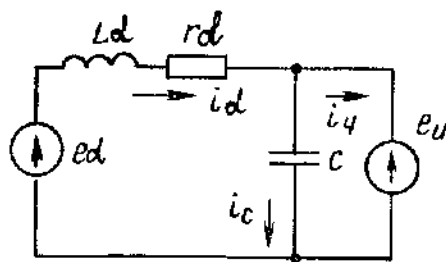
Частотно-регулируемый электропривод, содержащий асинхронный двигатель, обмотки которого подключены к выходам формирователя статорного тока, снабженного первым и вторым управляющим входами и клеммами для подключения питающей сети, датчик частоты и датчик ЭДС, связанные с асинхронным двигателем, узел заданий управляющих сигналов с первым и вторым выходами, регулятор частоты, подключенный управляющим входом к первому выходу узла заданий управляющих сигналов, входом обратной связи — к выходу датчика частоты, а выходом — к первому управляющему входу формирователя статорного тока, узел двухзонного регулирования, подключенный входом обратной связи к выходу датчика ЭДС, а выходом — к одному из входов сумматора, другой вход которого соединен с вторым выходом узла заданий управляющих сигналов, при этом выход сумматора подключен к второму управляющему входу формирователя статорного тока, отличающийся тем, что, с целью повышения точности стабилизации частоты при колебаниях напряжения сети, в него введены последовательно соединенные датчик напряжения, фильтр и блок ограничения, а узел заданий управляющих сигналов имеет дополнительный выход, подключенный к другому входу блока ограничения, при этом входы датчика напряжения подключены к клеммам для подключения питающей сети, а выход блока ограничения соединен с управляющим входом узла двухзонного регулирования.



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

Редактор Н. Бобкова  
Заказ 4018/53

Составитель А. Жилин  
Техред И. Верес  
Тираж 631

Корректор И. Муска  
Подписное

ВНИИПИ 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

