

# ЭЛЕКТРОПРИВОД ПРОМЫШЛЕННЫХ УСТАНОВОК

О.П. Ильин, А.П. Варакса

## СТРУКТУРА И ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧАСТОТНОРЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДЛЯ МЕХАНИЗМОВ ГЛАВНОГО ДВИЖЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ СТАНКОВ ФРЕЗЕРНОЙ ГРУППЫ

Главный привод современного фрезерного станка является основным механизмом станка и определяет его технический уровень.

К основным техническим требованиям, предъявляемым к приводам главного движения тяжелых фрезерных станков, относятся:

- 1) бесступенчатое регулирование частоты вращения шпинделя в диапазоне 1:150 – 1:200 при числе механических ступеней не более четырех;
- 2) регулирование в нижней части диапазона при  $M = \text{const}$ , в остальной – при  $P = \text{const}$ . Допускается в самой верхней зоне регулирование при  $Pn = \text{const}$ ;
- 3) привод реверсивный, изменение направления вращения шпинделя осуществляется реверсированием приводного электродвигателя;
- 4) жесткость механических характеристик при изменениях нагрузки от холостого хода до номинальной не хуже 10% при регулировании при  $M = \text{const}$  и не хуже 5% при регулировании при  $P = \text{const}$ ;
- 5) привод должен обладать не менее чем двукратной перегрузочной способностью;
- 6) динамические характеристики привода при переходных и резонансных процессах обеспечивают минимальные пиковые нагрузки в промежуточных элементах передачи;
- 7) быстродействие системы электропривода должно обеспечивать устойчивую работу механизма в режиме с импульсным характером нагрузки;
- 8) длительный режим нагрузки привода с изменением ее величины во времени с вероятностной (статистической) закономерностью;
- 9) длительность разгона и торможения привода – в пределах 1 – 2 с.

Существенное значение для фрезерных головок имеют весогабаритные характеристики устанавливаемых на них приводных электродвигателей. По условиям окружающей среды необходимо применение двигателя закрытого исполнения, поэтому установ-

ка закрытого асинхронного двигателя имеет явное преимущество перед двигателем постоянного тока. Кроме того, установка двигателя с меньшим моментом инерции ротора является более предпочтительной вследствие влияния двигателя на динамику приводного механизма, содержащего упругие связи и зазоры, так как в этом случае ослабляется действие внешней возмущающей нагрузки и увеличивается демпфирование привода.

Выбор рациональной структуры системы частотноуправляемого электропривода производится на основе анализа свойств и характеристик приводного механизма, как нагрузки асинхронного двигателя, с учетом технико-экономических показателей вариантов рассматриваемых структур.

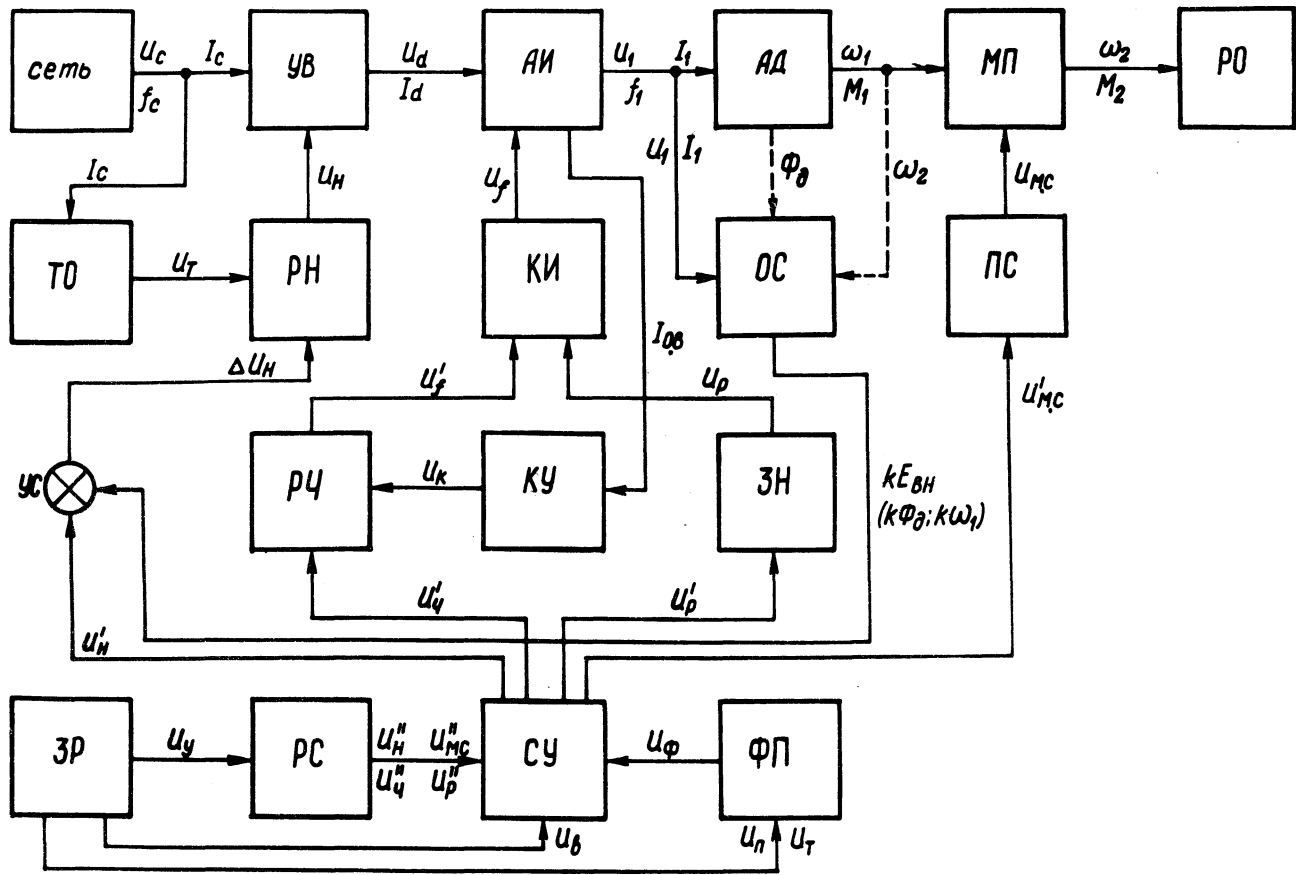
Для главных приводов новых фрезерных и фрезерно-расточных станков предложена структура регулируемого электропривода, представленного на рис. 1 [1].

От сети со стандартными значениями напряжения  $U$  и частоты  $f_c$  питается управляемый выпрямитель УВ, на выходе которого получают регулируемое выпрямленное напряжение  $U_d$ , поступающее на вход автономного инвертора АИ. На выходе АИ формируется переменное напряжение  $U_1$  с заданной частотой  $f_1$ . Это напряжение подводится к статору асинхронного двигателя АД, соединенного с механической передачей МП и обеспечивающего вращение входного вала МП с угловой частотой  $\omega_1$  и нагрузочным моментом  $M_1$ . В зависимости от передаточного отношения МП на ее выходном валу (шпинделе) получают соответствующие значения вращающего момента  $M_2$  и скорости  $\omega_2$ , которые передаются рабочему органу РО станка.

Заданные соотношения между частотой  $f_1$  и амплитудой напряжения  $U_1$  реализуются посредством замкнутой системы автоматического регулирования, содержащей регулятор напряжения РН, регулятор частоты РЧ, узел обратной связи ОС, регулятор скорости РС и схему управления СУ.

Ограничение токовых нагрузок во всех звеньях силовой цепи выполняется устройством токоограничения ТО, воздействующим на регулятор напряжения РН таким образом, что при превышении током  $I_c$  допустимого значения на выходе ТО появляется сигнал  $U_T$ , который вызывает уменьшение сигнала  $U_n$  и соответственно напряжения  $U_d$  и тока  $I_d$  выпрямителя УВ.

Устойчивость системы обеспечивается корректирующим устройством КУ, представляющим гибкую обратную связь по току



I цепи обратных вентилях инвертора. Корректирующий сигнал  $U_{O,B}^K$  (низкочастотная составляющая) воздействует на регулятор частоты РЧ, исключая тем самым возникновения автоколебаний в системе электропривода.

Частота вращения  $\omega_2$  привода устанавливается посредством многоканального регулятора РС, с выхода которого в схему управления поступают сигналы  $U_N''$  и  $U_{\text{ч}}''$ , определяющие значения напряжения и частоты на выходе инвертора, а также сигналы  $U_{M,C}''$  и  $U_p''$ , задающие соответственно передаточное отношение кинематической цепи МП и направления вращения двигателя.

Требуемое по технологическому процессу направление вращения РО устанавливается с помощью задатчика режимов ЗР, выдающего сигнал  $U_B$  в схему управления. Реверсирование двигателя по каналу регулятора РС производится автоматически в случае, если при переходе на новую механическую ступень может измениться направление вращения РО. В обоих случаях на выходе блока СУ формируется сигнал  $U_p^1$ , поступающий в узел задания направления ЗН, который посредством сигнала  $U_p$  воздействует на коммутатор импульсов КИ, изменяющий порядок чередования управляющих импульсов на тиристорах инвертора.

Для получения необходимой плавности процессов пуска и торможения привода в его структурной схеме предусматривается специальное устройство ФП, в функцию которого входит задание соответствующего закона нарастания частоты и амплитуды напряжения, подводимого к двигателю [2].

Рис. 1. Структурная схема частотнорегулируемого электропривода механизма главного движения фрезерного станка: УВ—управляемый выпрямитель; АИ—автономный инвертор; АД—асинхронный двигатель; МП—механическая передача; РО—рабочий орган (режущий инструмент); ТО—узел токоограничения; РН—регулятор напряжения; КИ—коммутатор импульсов; ОС—узел обратной связи; ПС—блок переключения ступеней передачи; УС—устройство сравнения; РЧ—регулятор частоты; КУ—корректирующее устройство; ЗН—задатчик направления вращения двигателя; ЗР—задатчик режимов работы привода; РС—регулятор скорости; СУ—схема управления; ФП—формирователь процессов пуска и торможения.

Наиболее просто управление темпом разгона осуществляется с помощью интегрирующей R – С цепочки, которая формирует управляющий сигнал задающего генератора импульсов регулятора частоты по экспоненциальному закону. При этом должно соблюдаться условие

$$\frac{df_1}{dt} \leq \frac{d\omega_1}{dt} ,$$

т.е. темп нарастания скорости двигателя должен опережать или равняться темпу нарастания частоты.

Уравнение движения привода в этом случае имеет вид

$$M_H \frac{\beta}{\beta_H} - M_C = \frac{j \omega_H (\alpha_K - \alpha_0)}{T} e^{-\frac{t}{T}} - j \omega_H \frac{d\beta}{dt} ,$$

где  $M_H$  – номинальный момент двигателя;  $M_C$  – статический момент нагрузки;  $j$  – момент инерции привода;  $\omega_H$  – номинальная частота вращения поля статора;  $\beta$  – параметр абсолютного скольжения;  $\alpha$  – параметр частоты;  $T$  – постоянная времени интегратора.

Параметр частоты  $\alpha$  является независимой заданной функцией времени, изменяющейся по экспоненте

$$\alpha = \alpha_K (1 - e^{-\frac{t}{T}}) + \alpha_0 e^{-\frac{t}{T}} .$$

При данных условиях пуска темп  $\varepsilon$  роста частоты должен быть меньше некоторой минимальной величины  $\varepsilon_{\text{мин}}$ , которая при нагрузке с  $M_C = \text{const}$  и управлении по закону

$$\frac{U - IR}{f} = \text{const}$$

равна

$$\varepsilon_{\text{мин}} = \frac{M_K - M_H}{j \omega_H} > \varepsilon = \frac{\alpha_K - \alpha_0}{T} e^{-\frac{t}{T}} ,$$

где  $M_K$  – максимальный момент двигателя.

Наличие значительного момента инерции привода обуславливает необходимость его торможения при оперативных и аварийных отключениях. Для сокращения времени торможения до 1–2 с в системе предусматривается частотное торможение без рекуперации энергии в сеть. Такое решение вполне допустимо, так как число пусков и остановок привода сравнительно невелико (несколько раз в течение 1 ч). Энергия торможения частично

рассеивается в элементах схемы инвертора, что должно учитываться при расчете и выборе этих элементов.

Задание снижения частоты при торможении осуществляется посредством интегратора, и при скачкообразном уменьшении управляющего сигнала частота снижается по экспоненциальному закону с постоянной времени, определяемой параметрами  $R$  и  $C$ .

Уравнения движения и их решение для мягкого режима торможения при экспоненциальном законе снижения частоты аналогичны уравнениям для режимов пуска, только с разницей в знаке  $\varepsilon$ .

Установившийся режим работы системы электропривода является основным технологическим режимом, определяющим производительность и качество обработки изделий на станке. Поэтому все основные качественные показатели системы регулирования (диапазон, устойчивость, быстродействие, статизм и др.) обусловлены данным режимом.

Технико-экономические показатели рассматриваемой структуры частотнорегулируемого электропривода позволяют ей конкурировать с другими существующими схемами регулируемых приводов как постоянного, так и переменного тока.

#### Л и т е р а т у р а

1. Варакса А.П., Железняков В.В. Применение тиристорных преобразователей и полупроводниковых устройств управления в электроприводах металлорежущих станков. Минск, 1973.
2. Сандлер А.С., Сарбатов Р.С. Частотное управление асинхронными двигателями. М., 1966.

В.Л. Анхимюк, Л.Ф. Караульная, В.А. Новицкая

#### ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ОБОБЩЕННЫХ ФУНКЦИЙ К ИССЛЕДОВАНИЮ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ТИРИСТОРНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРИ СЛОЖНОМ ЗАКОНЕ ИЗМЕНЕНИЯ УГЛА ОТКРЫВАНИЯ ВЕНТИЛЕЙ

В данной статье на базе метода обобщенных функций [1] определяются зависимости скорости и тока двигателя в виде явных функций времени с учетом дискретности преобразователя и изменения э.д.с. двигателя за период питающего напряжения