

УДК 621.9.06:529. 001

## СИНХРОНИЗАЦИЯ ПРИВодОВ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ ГРУПП ОБКАТА ЗУБООБРАБАТЫВАЮЩИХ СТАНКОВ С ЧИСЛОВОМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

канд. техн. наук, проф. А.И. ГОЛЕМБИЕВСКИЙ  
(Полоцкий государственный университет)

Рассмотрены возможные варианты синхронизации приводов исполнительных органов групп обката зубообрабатывающих станков с числовым программным управлением на базе типовых интегральных схем. Первый вариант основан на принципе отслеживающей синхронизации задающая - ведомая координаты, а второй - на принципе равнозначности обеих управляемых координат станочного зацепления.

В современном машиностроении основным методом профилирования зубчатых и червячных колес, зубчатых секторов и реек, шлицевых валов является метод обката. В зубообрабатывающих станках этот метод осуществляется станочным зацеплением, имитирующим в зависимости от вида режущего инструмента зацепление пары зубчатых колес, червячной или зубчато-реечной передачи. Воспроизводится станочное зацепление группой обката, у которой внутренняя связь (цепь обката) функционально связывает исполнительные органы группы, несущие инструмент, и обрабатываемую заготовку. В станках с механическими связями кинематические группы, в том числе группа обката, по условиям компоновки содержат механические передачи, включая органы настройки на параметры исполнительных движений. Основным органом настройки, обеспечивающим синхронное движение исполнительных органов при заданном передаточном отношении инструмент - заготовка, является гитара сменных зубчатых колес, расположенная во внутренней связи группы обката. Механические передачи этой связи являются основным источником погрешностей профиля зубчатых деталей. Поэтому на зубообрабатывающих станках с механическими связями обработка деталей более точных, чем 6-й квалитет точности, весьма проблематична. Это обстоятельство стало причиной поиска нетрадиционных технических решений на основе управляемых приводов. Первое техническое решение в этом направлении - замена механической внутренней связи системой отслеживающей синхронизации, выполненной по схеме задающая - ведомая координаты на базе высокомоментных управляемых электродвигателей постоянного тока и типовых интегральных схем [1]. Одна из модификаций этого решения на примере зубодолбежного станка [2] приведена на рис. 1 и 2.

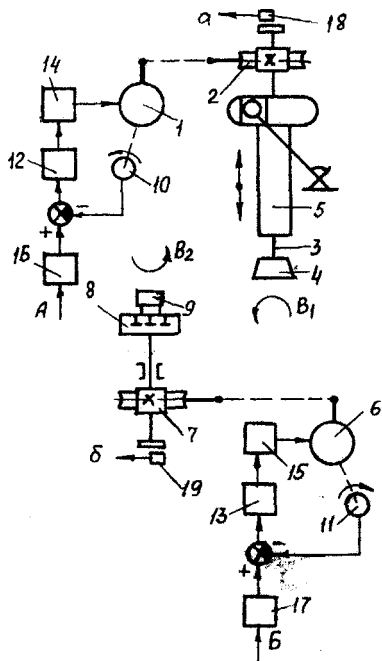


Рис. 1. Структура приводов группы обката зубодолбежного станка

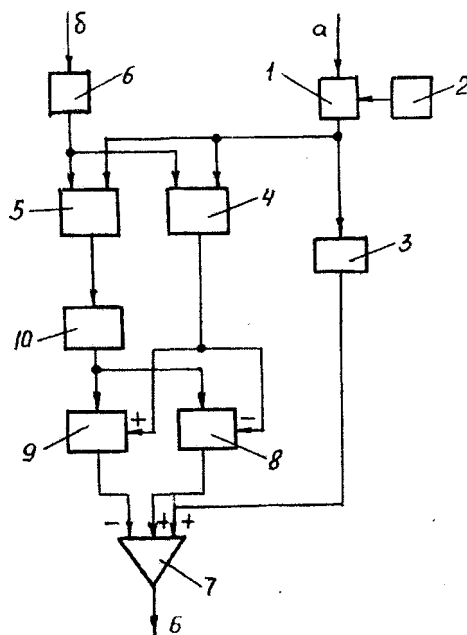


Рис. 2. Блок-схема системы синхронизации приводов (вариант 1)

Электродвигатель 1 (рис. 1) задающей координаты посредством червячной передачи 2 соединен со шпинделем 3, несущим долбяк 4. Шпиндель 3 смонтирован в гильзе 5, совершающей при работе станка поступательно-возвратное движение скорости резания, воспроизводящее линию зуба, обрабатываемого колеса. Электродвигатель 6 ведомой координаты посредством червячной передачи 7 соединен с делительным столом 8, на котором устанавливаются заготовки 9 нарезаемых зубчатых колес. В качестве электродвигателей 1 и 6 используются высокомоментные машины постоянного тока. В электродвигатели 1 и 6 встроены тахогенераторы 10 и 11, являющиеся датчиками обратной связи по скорости. Выходы тахогенераторов 10 и 11 соединены с входами регуляторов скорости соответственно 12 и 13. Возможны также контуры регулирования по току якоря. В этом случае регуляторы тока размещаются между регуляторами скорости 12 и 13 и усилителями мощности соответственно 14 и 15. На входах схем управления электродвигателей 7 и 6 установлены также регуляторы положения соответственно 16 и 17. В качестве регуляторов скорости используются типовые III-регуляторы, а в качестве регуляторов положения - типовые П-регуляторы.

Связь шпинделя 3 (задающая координата) и делительного стола 8 (ведомая координата) с системой синхронизации осуществляется посредством импульсных измерительных преобразователей 18 и 19, установленных соответственно на шпинделе и делительном столе.

Схема системы отслеживающей синхронизации (рис. 2) содержит управляемый делитель частоты, состоящий из счетчика импульсов 1 и блока 2 установки коэффициента деления, выполняющего функцию органа настройки станочного зацепления. Вход счетчика 7 соединен с импульсным измерительным преобразователем 18, установленным на шпинделе, а выход - с входом импульсно-аналогового преобразователя 3 и первыми входами знакового дискриминатора 4 и фазового дискриминатора 5. Вторые входы дискриминаторов 4 и 5 соединены с выходом счетчика 6, соединенного своим входом с импульсным измерительным преобразователем 19, установленным на делительном столе. Выход импульсно-аналогового преобразователя 3 соединен с первым входом сложения параллельного сумматора 7. Выход знакового дискриминатора 4 соединен с управляющими входами аналоговых ключей 8 и 9, управляемых отрицательным потенциалом и положительным потенциалом соответственно. Выход фазового дискриминатора 5 через импульсно-аналоговый преобразователь 10 соединен с аналоговыми входами ключей 8 и 9. Выход ключа 8 соединен с вторым входом сложения параллельного сумматора 7, а выход ключа 9 - с входом вычитания этого сумматора. Выход параллельного сумматора 7 соединен с регулятором положения 17 ведомой координаты (см. рис. 1).

В качестве источника энергии для электродвигателя задающей координаты используется задатчик, выполненный в виде делителя напряжения, соединенного с входом регулятора положения 16 задающей координаты (см. рис. 1).

При наладке станка передаточное отношение долбяк - заготовка (параметр настройки «траектория») задается блоком 2 установки коэффициента деления. Этот блок является аналогом гитары сменных зубчатых колес, установленной во внутренней связи группы обката станка с механическими связями. Поэтому коэффициент деления вычисляется по правилам определения формулы настройки названной гитары. В общем виде

$$i_x = c \frac{z_d}{z},$$

где  $i_x$  - коэффициент деления;  $z_d$  - число зубьев долбяка;  $z$  - число зубьев нарезаемого колеса;  $c$  - коэффициент пропорциональности.

В приведенном выражении коэффициент пропорциональности зависит от передаточных отношений червячных передач шпинделя и делительного стола. При равенстве передаточных отношений этот коэффициент равен единице.

Круговая подача (параметр настройки «скорость») задающей координаты устанавливается посредством задания величины напряжения на выходе источника энергии электродвигателя этой координаты.

Система синхронизации работает следующим образом. При включении электродвигателя 7 шпиндель 3 получает движение круговой подачи  $V_x$ . Одновременно импульсный измерительный преобразователь 18 вырабатывает сигнал с частотой, пропорциональной круговой подаче  $V_x$ . Этот сигнал поступает на вход счетчика 7 управляемого делителя частоты, где происходит деление сигнала в соответствии с заданным на блоке 2 коэффициентом деления. Сигнал с выхода счетчика 7 преобразуется в импульсно-аналоговом преобразователе 3 в напряжение, пропорциональное частоте входного сигнала, и с его выхода поступает на первый вход сложения параллельного сумматора 7. С выхода этого сумматора задающий сигнал поступает через регулятор положения 17, регулятор скорости 13 и усилитель мощности 15 на электродвигатель 6, который посредством червячной передачи 7 (см. рис. 1) сообщает движение круго-

вой подачи  $B_2$  делительному столу 6. В результате такого прохождения сигнала от задающей координаты (шпинделя) к ведомой координате (делительному столу) обеспечивается профилирование зубьев нарезаемого колеса движением обката  $B_1 B_2$ .

Одновременно следующим образом осуществляется коррекция задающего сигнала, действующего на выходе параллельного сумматора 7, обеспечивающая устранение девиации механики ведомой координаты. На вход счетчика 6 поступает с импульсного измерительного преобразователя 19 импульсный сигнал - аналог круговой подачи движения  $B_2$  делительного стола. Этот сигнал с выхода счетчика 6 поступает на вторые входы знакового 4 и фазового 5 дискриминаторов, у которых на первых входах действует задающий сигнал с выхода счетчика 1. В результате сравнения сигналов на выходе знакового дискриминатора образуется отрицательный потенциал при отставании делительного стола от заданного значения и положительный потенциал при его опережении. Этот потенциал поступает на управляющие входы ключей 8 и 9. Одновременно на выходе фазового дискриминатора образуется сигнал абсолютной погрешности, который после преобразования в аналоговую форму в импульсно-аналоговом преобразователе 10 поступает на аналоговые входы ключей 8 и 9. Этот сигнал поступает на параллельный сумматор 7 через один из ключей в зависимости от знака управляющего воздействия. При отставании делительного стола сигнал абсолютной погрешности поступает через ключ 8 на второй вход сложения параллельного сумматора, а при опережении этот сигнал поступает через ключ 9 на вход вычитания этого сумматора. В итоге в параллельном сумматоре происходит в зависимости от знака погрешности увеличение или уменьшение управляющего сигнала ведомой координаты, т.е. происходит его непрерывная двухсторонняя коррекция относительно номинального значения.

Уместно отметить, что в аналогах, описанных в работе [1], осуществляется односторонняя коррекция управляющего сигнала. Это обстоятельство накладывает ограничение на установку значения управляющего сигнала ведомой координаты. Этот сигнал не должен быть равным номинальному значению. В противном случае возможен сбой в работе системы.

Из приведенного выше выражения для коэффициента деления следует, что рассмотренная схема применима только в случае когда  $z_d \geq z$  при  $C = 1$ . При  $z_d < z$  параллельно делителю частоты необходимо ввести в схему умножитель частоты и соединить оба блока с импульсным измерительным преобразователем задающей координаты посредством ключей с потенциальными управляющими входами.

Система синхронизации приводов шпинделя и делительного стола, работающая по схеме равнозначных управляемых координат, показана на рис. 3 [3]. Общим задатчиком для обеих координат - шпинделя и делительного стола - является генератор 1 эталонной частоты, соединенный с входами двух делителей частоты, из которых один состоит из счетчика 2 и блока 3 установки коэффициента деления, а другой - из счетчика 4 и блока 5 установки коэффициента деления.

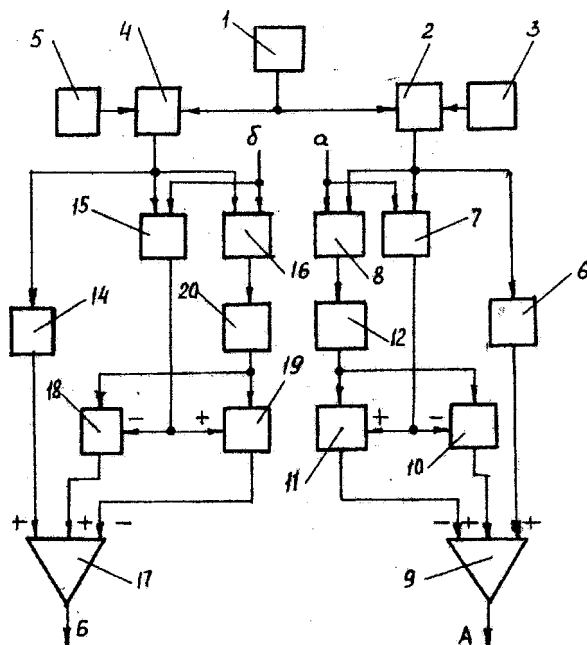


Рис. 3. Блок-схема системы синхронизации приводов (вариант 2)

Выход счетчика 2 соединен с входом импульсно-аналогового преобразователя 6 и первыми входами знакового дискриминатора 7 и фазового дискриминатора 8. Вторые входы обоих дискриминаторов соединены с импульсным измерительным преобразователем 18, установленном на шпинделе (см. рис. 1). Выход импульсно-аналогового преобразователя 6 соединен с первыми входами сложения параллельного сумматора 9. Выход знакового дискриминатора 7 соединен с управляющими входами аналоговых ключей 10 и 11, управляемых соответственно отрицательным и положительным потенциалами. Выход фазового дискриминатора 8 через импульсно-аналоговый преобразователь 12 соединен с аналоговыми входами ключей 10 и 11. Выход ключа 10 соединен с вторым входом сложения параллельного сумматора 9, а выход ключа 11 - с входом вычитания этого сумматора. Выход параллельного сумматора 9 соединен с входом регулятора положения 16 электродвигателя 1 привода круговой подачи шпинделя (см. рис. 1).

Выход счетчика 4 соединен с входом импульсно-аналогового преобразователя 14 и первыми входами знакового дискриминатора 15 и фазового дискриминатора 16. Вторые входы этих дискриминаторов соединены с импульсным измерительным преобразователем 19, установленным на делительном столе (см. рис. 1). Выход импульсно-аналогового преобразователя 14 соединен с первым входом сложения параллельного сумматора 17. Выход знакового дискриминатора 15 соединен с управляющими входами аналоговых ключей 18 и 19, управляемых соответственно отрицательным и положительным потенциалами. Выход фазового дискриминатора 16 соединен с аналоговыми входами ключей 18 и 19 через импульсно-аналоговый преобразователь 20. Выходы ключей 18 и 19 соединены соответственно с вторым входом сложения и входом вычитания параллельного сумматора 17. Выход этого сумматора соединен с регулятором положения 17 (см. рис. 1) электродвигателя 6 привода круговой подачи делительного стола.

При наладке станка посредством изменения частоты эталонного сигнала на выходе счетчика 2 устанавливается круговая подача долбяка (параметр настройки «скорость»). Это возможно как изменением частоты генератора 1, так и установкой коэффициента деления на блоке 3. Передаточное отношение долбяк - заготовка (параметр настройки «траектория») задается установкой соотношения коэффициентов деления на блоках 3 и 5. Это соотношение определяется из выражения

$$\frac{i_{x3}}{i_{x5}} = c \frac{z_d}{z},$$

где  $i_{x3}$  и  $i_{x5}$  - коэффициенты деления частоты эталонного сигнала, устанавливаемые на блоках 3 и 5 делителей частоты обеих координат.

Система синхронизации работает следующим образом. Генератор 1 вырабатывает эталонный высокочастотный сигнал. Этот сигнал поступает на счетчики 2 и 4 делителей частоты, в которых происходит деление этого сигнала в соответствии с коэффициентами деления, установленными на блоках 3 и 5. Сигнал с выхода счетчика 2 преобразуется в импульсно-аналоговом преобразователе 6 в напряжение, пропорциональное частоте входного сигнала, и с его выхода через первый вход сложения - выход параллельного сумматора 9 поступает на вход регулятора положения 16 электродвигателя 1 (см. рис. 1), который сообщает движение круговой подачи  $V_1$  шпинделю, несущему долбяк. Одновременно импульсный сигнал с выхода счетчика 4 преобразуется в импульсно-аналоговом преобразователе 14 в напряжение, пропорциональное частоте на его входе, и через первый вход сложения - выход параллельного сумматора 17 поступает на вход регулятора положения 17 (см. рис. 1) электродвигателя 6, который сообщает движение круговой подачи  $V_2$  делительному столу с заготовкой нарезаемого колеса. В итоге такого прохождения задающего сигнала от общего задатчика к обеим координатам осуществляется воспроизведение профиля зубьев движением  $V_1$ - $V_2$ .

Одновременно следующим образом обеспечивается устранение девиации механических систем обеих координат посредством коррекции управляющих сигналов на выходах параллельных сумматоров.

На первых входах знакового 7 и фазового 8 дискриминаторов постоянно действует эталонный импульсный сигнал с выхода счетчика 2. На вторые входы этих дискриминаторов поступает сигнал с импульсного измерительного преобразователя 18, соответствующий значению действительной круговой подачи шпинделя. В дискриминаторах оба сигнала непрерывно сравниваются. В результате на выходе знакового дискриминатора 7 появляется отрицательный или положительный потенциал соответственно при отставании или при опережении шпинделем номинального значения круговой подачи. Этот сигнал поступает на управляющие входы ключей 10 и 11. Параллельно на аналоговые входы этих ключей поступает сигнал абсолютной погрешности с фазового дискриминатора 8 через импульсно-аналоговый преобразователь 12. Сигнал абсолютной погрешности поступает на второй вход сложения параллельного сумматора 9 через ключ 10 при отставании шпинделя или на вход вычитания этого сумматора через ключ 11 при опережении шпинделем номинального значения. В итоге в параллельном сумматоре происходит коррекция задающего сигнала, действующего на его первом входе сложения.

Аналогично в знаковом дискриминаторе 15 и фазовом дискриминаторе 16 сравнивается эталонный задающий импульсный сигнал с выхода счетчика 4 и сигнал-аналог действительной круговой подачи делительного стола с импульсного измерительного преобразователя 19. Сигнал абсолютной погрешности преобразуется в аналоговую форму в импульсно-аналоговом преобразователе 20 и поступает через ключи 18 или 19 в параллельный сумматор 17 для коррекции задающего сигнала, действующего на его первом входе сложения.

Таким образом, оба варианта синхронизации приводов исполнительных органов группы обката позволяют отказаться от механических передач, расположенных между делительными червячными парами.

Использование в кинематической структуре группы обката управляемых электродвигателей обеспечивает практически бесступенчатый ряд круговых подач, что позволяет при назначении режимов обработки оптимизировать их выбор; непрерывный контроль за мгновенным положением исполнительных органов и внесение соответствующей поправки в управляющий сигнал обеспечивают адаптацию управления по круговой частоте. В совокупности названные обстоятельства обеспечивают повышение точности профилирования зубчатых колес.

Рассмотренные схемы синхронизации приводов группы обката могут встраиваться в программируемые контроллеры зубообрабатывающих станков с числовым программным управлением.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ратмиров В.А., Рашкович П.М. Программное управление зубообрабатывающими станками. - М: НИИМаш, 1983.-47 с.
2. Заявка 20010361 (ВУ), МКИ<sup>6</sup> В23Q 15/00, В23F 5/12. Устройство для синхронизации приводов вращения шпинделя долбяка и делительного стола зубодолбежного станка / А.И. Голембиовский // Афіцыйны бюлетэнь / Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь. - 2002. - № 4(35).
3. Заявка 20010518 (ВУ), МКИ<sup>6</sup> В23Q 15/00, В23F 5/12. Устройство для синхронизации приводов шпинделя и делительного стола зубодолбежного станка / А.И. Голембиевский // Афіцыйны бюлетэнь / Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь - 2002. - № 4(35).