

УДК 621.9.04:621.833.06–529.001

СИНХРОНИЗАЦИЯ ПРИВОДОВ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ ЗУБОФРЕЗЕРНОГО СТАНКА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС С НАКЛОННЫМИ ЗУБЬЯМИ

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

Рассмотрена структурная схема зубофрезерного станка с числовым программным управлением для обработки цилиндрических зубчатых колес с наклонными зубьями. Исполнительные органы (управляемые координаты) станка оснащены индивидуальными управляемыми электродвигателями. Предложена система синхронизации исполнительных органов станка на базе типовых интегральных схем. Блок-схема системы синхронизации выполнена на основе принципа равнозначности управляемых координат в обеих формообразующих группах, воспроизводящих соответственно профиль зуба и линию зуба по длине обрабатываемого колеса. Рассмотрена автоматическая двухсторонняя коррекция управляющего сигнала на каждой управляемой координате.

Введение. Конструктивной особенностью цилиндрических зубчатых колес (ЦЗК) с наклонными зубьями является использование делительного конуса вместо делительного цилиндра, характерного для традиционных цилиндрических колес. Отсюда следует, что при использовании делительного конуса толщина зуба вдоль его линии равномерно уменьшается от большего основания делительного конуса к его меньшему основанию. Эта конструктивная особенность ЦЗК с наклонными зубьями позволяет регулировать боковой зазор в зубчатых передачах посредством осевого смещения колес. В итоге обеспечиваются в пределах срока службы передачи минимально допустимые величины бокового зазора и циклической ошибки. Такие ЦЗК как с прямыми, так и с винтовыми (косыми) зубьями используются в передачах, от которых требуется высокая кинематическая точность и минимальные боковые зазоры.

Постановка задачи. Колеса с наклонными зубьями обрабатывают, как правило, червячными фрезами и зуборезными долбяками соответственно на зубофрезерных и зубодолбежных станках, модернизированных на основе изменения их компоновки для нарезания рассматриваемого вида ЦЗК. Изменение компоновки базовой модели зубофрезерного станка на этапе конструирования заключается в установке направляющих суппорта фрезы под углом к оси делительного стола или посредством установки продольного стола, несущего делительный стол, под углом, равным углу наклона зубьев по делительному конусу ЦЗК. Варианты модернизации на основе принципа изменения компоновки снижают коэффициенты универсальности и мобильности базовых моделей зубофрезерных станков, так как их переналадка на иной угол наклона зубьев или наладка на обработку традиционных ЦЗК проблематична. Поэтому представляется целесообразным использование кинематического принципа воспроизведения траектории движения червячной фрезы по делительному конусу при обработке как прямозубых, так и косозубых ЦЗК с наклонными зубьями [1; 2].

В зубофрезерных станках с механическими связями формообразующие кинематические группы по условиям компоновки содержат механические передачи, включая органы настройки на параметры исполнительных движений. Основными органами настройки, обеспечивающими функциональную связь между исполнительными органами при заданных передаточных отношениях инструмент – заготовка, являются гитары сменных зубчатых колес, расположенные во внутренних связях. Например, кинематическая структура зубофрезерного станка для обработки винтовых (косозубых) ЦЗК с наклонными зубьями [3] содержит во внутренней связи двухэлементарной группы воспроизведения профиля зубьев колеса одну гитару сменных зубчатых колес, а во внутренней связи трехэлементарной группы воспроизведения линии зуба по длине – две гитары сменных зубчатых колес. Механические передачи этих связей являются основным источником погрешностей зубчатых поверхностей. Поэтому на зубофрезерных станках с механическими связями обработка ЦЗК, более точных, чем 6-й квалитет точности, весьма проблематична. Это обстоятельство является причиной замены механических связей системами отслеживающей синхронизации на основе управляемых электроприводов и типовых интегральных схем [4].

Разработка структурной схемы. На рисунке 1 приведена структурная схема зубофрезерного станка для обработки ЦЗК с наклонными зубьями. Общая компоновка базовых элементов выполнена аналогично компоновке, принятой для универсальных (базовых) зубофрезерных станков. Управляемые высокомоментные электродвигатели постоянного тока M_1, M_2, M_3, M_4 кинематически связаны соответственно со шпинделем 1 червячной фрезы 2, шпинделем 3 делительного стола, несущего заготовку 4 обрабатываемого ЦЗК, тяговыми валами TB_1 и TB_2 , выполненными в виде передач винт-гайка. Гайка TB_1 жесткой связью соединена с суппортом 5, несущим шпиндель 1 червячной фрезы 2, а гайка TB_2 – с про-

долным столом 6, несущим шпиндель 3 делительного стола с заготовкой 4. Шпиндель 1 червячной фрезы, шпиндель 3 делительного стола, суппорт 5 и продольный стол 6 являются исполнительными органами станка. Для обеспечения связи механики станка с системой синхронизации на шпинделях 1 и 3, винтах тяговых валов TB_1 и TB_2 установлены импульсные измерительные преобразователи соответственно 7, 8, 9, 10. Эти преобразователи предназначены для преобразования круговых частот вращения в последовательности импульсов, сообщаемых в электронную систему синхронизации приводов исполнительных органов.

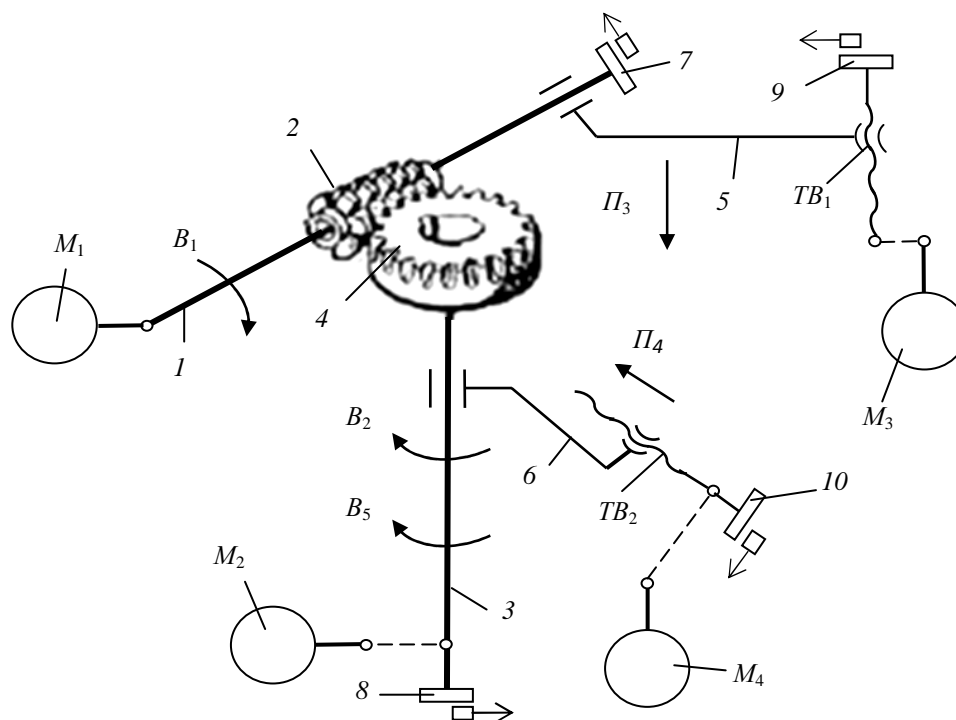


Рис. 1. Структурная схема приводов зубофрезерного станка для обработки ЦЗК с наклонными зубьями

Приведенная структурная схема включает следующие частные структуры для обработки ЦЗК с наклонными зубьями:

- структуру для нарезания винтовых (косозубых) ЦЗК с наклонными зубьями, содержащую двухэлементарную группу скорости резания $\Phi_v(B_1 B_2)$ и трехэлементарную группу подачи $\Phi_s(P_3 P_4 B_5)$;
- структуру для нарезания прямозубых ЦЗК с наклонными зубьями, содержащую двухэлементарную группу скорости резания $\Phi_v(B_1 B_2)$ и двухэлементарную группу подачи $\Phi_s(P_3 P_4)$.

Рассмотренная структурная схема включает также частные структуры для обработки традиционных ЦЗК и червячных колес:

- структуру для нарезания прямозубых ЦЗК, содержащую двухэлементарную группу скорости резания $\Phi_v(B_1 B_2)$ и элементарную группу подачи $\Phi_s(P_3)$;
- структуру для нарезания винтовых (косозубых) ЦЗК, содержащую двухэлементарную группу скорости резания $\Phi_v(B_1 B_2)$ и двухэлементарную группу подачи $\Phi_s(P_3 B_5)$;
- структуру для нарезания червячных колес, содержащую двухэлементарную группу скорости резания $\Phi_v(B_1 B_2)$ и элементарную группу радиального врезания $Vp(P_4)$.

Выбор конкретной частной структуры осуществляется посредством управляющего устройства, например, программируемого контроллера, обеспечивающего отключение неиспользуемых исполнительных органов и соответствующие коммутации в системе синхронизации.

Разработка системы синхронизации исполнительных органов. Система синхронизации выполнена по схеме равнозначных координат и автоматической двухсторонней коррекцией (адаптацией) управляющих сигналов по погрешностям механики исполнительных органов [5; 6]. Эта система содержит две подсистемы с общим задатчиком (эталонным генератором), вырабатывающим задающий сигнал, частота которого превышает частоту импульсного сигнала – аналога частоты вращения шпинделя червячной фрезы. Первая подсистема осуществляет синхронизацию приводов кинематической группы скорости резания, а вторая подсистема – синхронизацию приводов кинематической группы подачи.

На рисунке 2 приведена блок-схема подсистемы синхронизации приводов исполнительных органов группы скорости резания $\Phi_v(B_1 B_2)$.

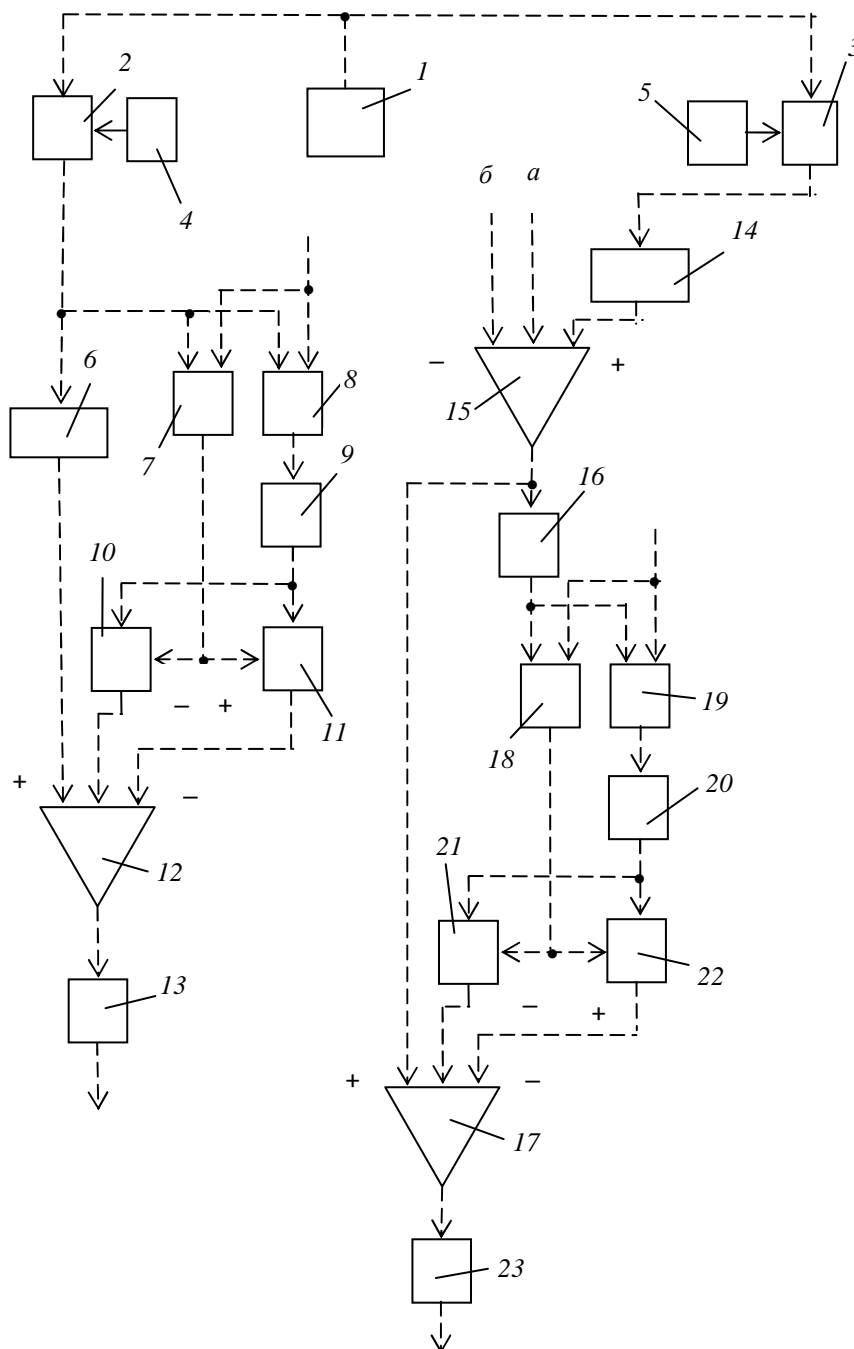


Рис. 2. Блок-схема подсистемы синхронизации приводов группы скорости резания

Эталонный генератор 1 соединен с входами счетчиков 2, 3, к которым присоединены блоки установки коэффициентов деления соответственно 4, 5. Функция этих блоков – установка передаточных отношений при наладке станка. Счетчики и соответствующие блоки установки коэффициента деления образуют делители частоты задающих эталонных импульсных сигналов управления соответствующих исполнительных органов (управляемых координат).

Выход счетчика 2 соединен с входом блока 6 круговой частоты шпинделя фрезы в движении B_1 и первыми входами знакового 7 и фазового 8 дискриминаторов, вторые входы которых соединены с импульсным измерительным преобразователем 7, установленным на шпинделе фрезы 2 (см. рис. 1).

Выход фазового дискриминатора 8 соединен с входом импульсно-аналогового преобразователя 9, соединенного своим выходом с аналоговыми входами аналогового ключа 10, управляемого отрица-

ным потенциалом, и аналогового ключа 11, управляемого положительным потенциалом. Управляющие входы ключей 10 и 11 соединены с выходом знакового дискриминатора 7. Выход блока 6 круговой частоты шпинделя фрезы соединен с первым входом сложения параллельного сумматора 12, у которого второй вход сложения и вход вычитания соединены соответственно с выходом аналогового ключа 10, управляемого отрицательным потенциалом, и с выходом аналогового ключа 11, управляемого положительным потенциалом. Выход параллельного сумматора 12 через усилитель мощности 13 соединен с управляемым электродвигателем M_1 привода вращения шпинделя фрезы (см. рис. 1).

Выход счетчика 4 соединен с входом блока 14 круговой частоты шпинделя заготовки в движении B_2 , выход которого соединен с первым входом сложения параллельного сумматора 15. Его выход соединен с входом аналого-импульсного преобразователя 16 и с первым входом сложения параллельного сумматора 17. Выход аналого-импульсного преобразователя 16 соединен с первыми входами знакового 18 и фазового 19 дискриминаторов, вторые входы которых соединены с импульсным измерительным преобразователем 8, установленным на шпинделе заготовки (см. рис. 1). Выход фазового дискриминатора 19 соединен с входом импульсно-аналогового преобразователя 20, соединенного своим выходом с аналоговыми входами аналогового ключа 21, управляемого отрицательным потенциалом, и аналогового ключа 22, управляемого положительным потенциалом. Управляющие входы ключей 21 и 22 соединены с выходом знакового дискриминатора 18. Выходы ключей 21 и 22 соединены соответственно со вторым входом сложения и входом вычитания параллельного сумматора 17. Выход параллельного сумматора 17 через усилитель мощности 23 соединен с управляемым электродвигателем M_2 привода вращения заготовки (см. рис. 1).

На рисунке 3 приведена блок-схема подсистемы синхронизации приводов исполнительных органов группы подачи $\Phi_s(\Pi_3 \Pi_4 B_3)$.

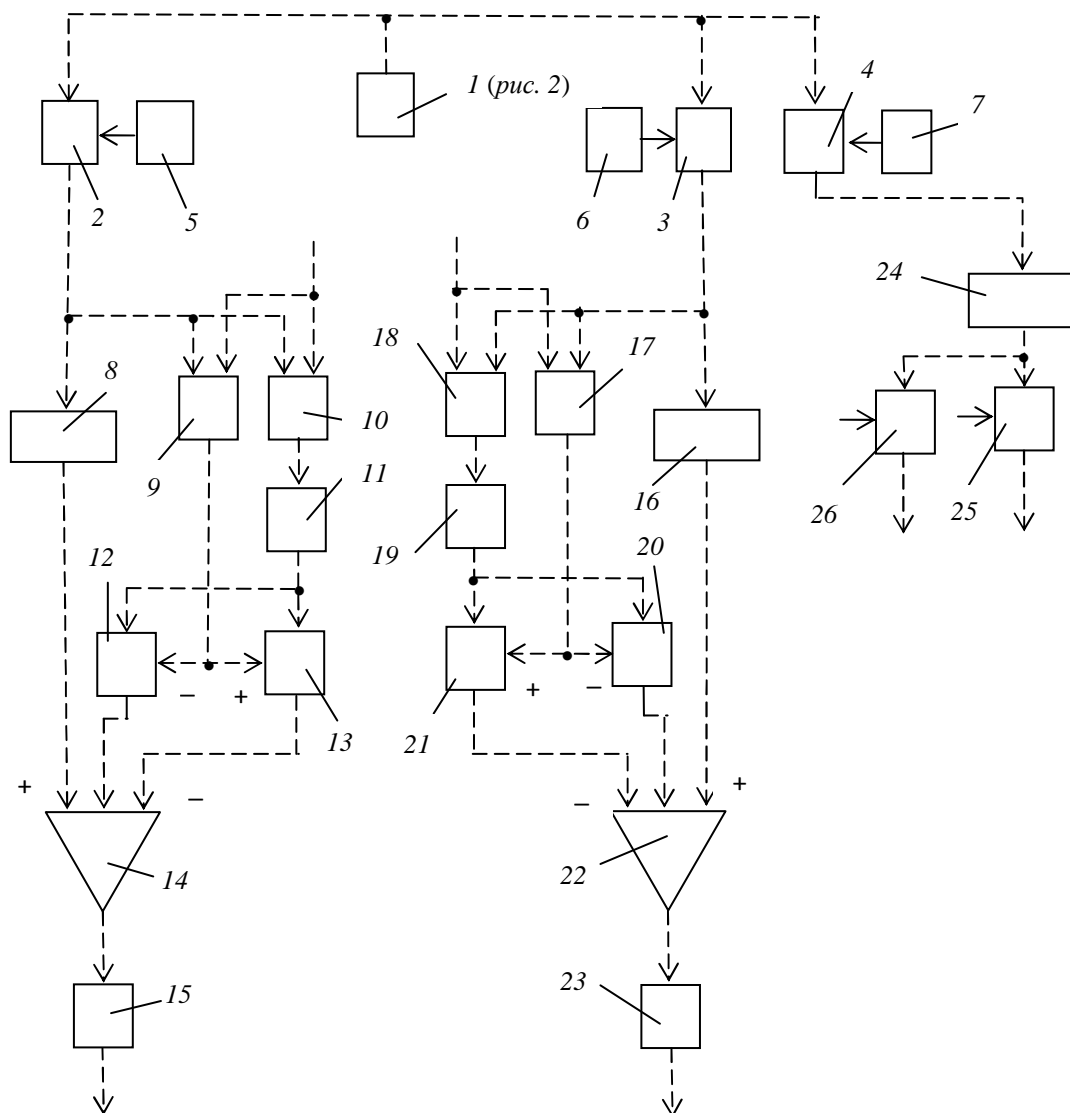


Рис. 3. Блок-схема подсистемы синхронизации приводов группы подачи

Счетчики 2, 3, 4 с присоединенными к ним блоками установки коэффициентов деления соответственно 5, 6, 7 образуют делители частоты задающих эталонных импульсных сигналов. Входы счетчиков 2, 3, 4 соединены с выходом эталонного генератора 1. Выход счетчика 2 соединен с входом блока 5 круговой частоты винта тягового вала TB_1 , преобразуемой этим валом в продольную подачу $П_3$ суппорта 5, и первыми входами знакового 6 и фазового 7 дискриминаторов, вторые входы которых соединены с импульсным измерительным преобразователем 9, установленным на винте тягового вала TB_1 (см. рис. 1). Выход фазового дискриминатора 7 соединен с входом импульсно-аналогового преобразователя 8, соединенного своим выходом с аналоговыми входами аналогового ключа 9, управляемого отрицательным потенциалом, и аналогового ключа 10, управляемого положительным потенциалом. Управляющие входы ключей 9 и 10 соединены с выходом знакового дискриминатора 6. Выход блока 5 круговой частоты винта тягового вала TB_1 соединен с первым входом сложения параллельного сумматора 11, у которого второй вход сложения и вход вычитания соединены соответственно с выходом аналогового ключа 9, управляемого отрицательным потенциалом, и с выходом аналогового ключа 10, управляемого положительным потенциалом. Выход параллельного сумматора 11 через усилитель мощности 12 соединен с управляемым электродвигателем M_3 привода продольной подачи суппорта фрезы (см. рис. 1).

Выход счетчика 3 соединен с входом блока 16 круговой частоты винта тягового вала TB_2 , преобразуемой этим валом в подачу $П_4$ продольного стола, и первыми входами знакового 17 и фазового 18 дискриминаторов, вторые входы которых соединены с импульсным измерительным преобразователем 10, установленным на винте тягового вала TB_2 (см. рис. 1).

Выход фазового дискриминатора 18 соединен с входом импульсно-аналогового преобразователя 19, соединенного своим выходом с аналоговыми входами аналогового ключа 20, управляемого отрицательным потенциалом, и аналогового ключа 21, управляемого положительным потенциалом. Управляющие входы ключей 20 и 21 соединены с выходом знакового дискриминатора 17. Выход блока 16 круговой частоты винта тягового вала TB_2 соединен с первым входом сложения параллельного сумматора 22, у которого второй вход сложения и вход вычитания соединены соответственно с выходом аналогового ключа 20, управляемого отрицательным потенциалом, и с выходом аналогового ключа 21, управляемого положительным потенциалом. Выход параллельного сумматора 22 через усилитель мощности 23 соединен с управляемым электродвигателем M_4 привода подачи продольного стола (см. рис. 1).

Выход счетчика 4 соединен с входом блока 24 круговой частоты шпинделя заготовки в движении B_5 , у которого выход соединен с входами ключей 25 и 26, управляемых положительным потенциалом. Выходы этих ключей соединены соответственно со вторым входом сложения и входом вычитания параллельного сумматора 15 (см. рис. 2).

Блоки 6, 14 (см. рис. 2) и 8, 16, 24 (см. рис. 3) круговых частот соответственно шпинделя фрезы (движение B_1), шпинделя делительного стола заготовки (движение B_2), винта тягового вала TB_1 , винта тягового вала TB_2 , шпинделя делительного стола заготовки (движение B_5) выполнены одинаково по схеме «частота – напряжение». В этих блоках эталонные импульсные сигналы преобразуются в напряжение, пропорциональное частоте входного сигнала. Круговые частоты винтов тяговых валов TB_1 и TB_2 в этих механизмах преобразуются соответственно в движение $П_3$ продольной подачи суппорта фрезы и в движение $П_4$ радиальной подачи продольного стола.

Согласно нормативам резания при зубофрезеровании червячными фрезами скорость резания задается по круговой частоте фрезы (движение B_1), а подача – по ее перемещению параллельно оси заготовки (движение $П_3$). При нарезании червячных колес по нормативам резания задается также подача радиального врезания (движение $П_4$). При наладке станка блоком 4 установки коэффициента деления (см. рис. 2) задается частота импульсного сигнала на выходе счетчика 2, соответствующая напряжению постоянного тока на электродвигателе M_1 , при котором шпиндель 1 фрезы 2 в движении B_1 вращается со скоростью, соответствующей заданной скорости резания. Аналогично блоком 5 установки коэффициента деления (см. рис. 3) задается частота импульсного сигнала на выходе счетчика 2, соответствующая напряжению постоянного тока на электродвигателе M_3 , при котором суппорт 5 в движении $П_3$ движется со скоростью, соответствующей заданной подаче. При нарезании червячных колес блоком 6 установки коэффициента деления (см. рис. 3) задается частота импульсного сигнала на выходе счетчика 3, соответствующая напряжению постоянного тока на электродвигателе M_4 , при котором продольный стол 6 в движении $П_4$ движется со скоростью, соответствующей заданной подаче врезания.

Рассмотренные делители частоты (счетчик – блок установки передаточного отношения) выполняют функцию органов настройки параметра «скорость» для соответствующих кинематических групп. Остальные делители частоты рассматриваемой системы синхронизации являются органами настройки параметра «траектория». Коэффициенты деления для них выводятся на основе расчетных перемещений для исполнительных органов станочного зацепления сложных кинематических групп.

Расчетные перемещения для исполнительных органов станочного зацепления, воспроизводящего движение обката $\Phi_i(B_1B_2)$:

$$\text{один оборот шпинделя фрезы (} B_1 \text{)} \rightarrow \kappa / z \text{ оборот делительного стола заготовки (} B_2 \text{),}$$

где κ – число заходов червячной фрезы; z – число нарезаемых зубьев.

Уравнение кинематической связи станочного зацепления:

$$\kappa / z = 1 \cdot c_1 \cdot n_1 / n_2,$$

где c_1 – произведение передаточных отношений механических передач кинематической связи; n_1 – круговая частота электродвигателя M_1 , соответствующая заданной скорости резания, мин^{-1} ; n_2 – круговая частота электродвигателя M_2 , необходимая для обеспечения функциональной связи в движении обката, мин^{-1} .

В уравнении кинематической связи отношение круговых частот заменим отношением коэффициентов деления на соответствующих блоках, тогда

$$\kappa / z = 1 \cdot c_1 \cdot i_1 / i_2.$$

По этому выражению определяется коэффициент деления, устанавливаемый на блоке 5 делителя частоты 3:

$$i_2 = (c_1 z / \kappa) i_1,$$

где i_1 – коэффициент деления, установленный на блоке 4 счетчика 2, соответствующий заданной круговой частоте электродвигателя M_1 (скорости резания); i_2 – коэффициент деления, который необходимо установить на блоке 5 счетчика 3 для обеспечения функциональной связи шпинделя фрезы (B_1) и шпинделя заготовки (B_2).

Трехэлементарная группа подачи $\Phi_s(P_3P_4B_5)$ воспроизводит два станочных зацепления. Первое зацепление обеспечивает перемещение траектории исполнительного движения подачи под углом к делительному цилиндру, равному углу наклона зубьев нарезаемого колеса. Расчетные перемещения для данного зацепления [2]:

$$S_n \text{ фрезы в движении } P_3 \rightarrow S_p \text{ продольного стола в движении } P_4,$$

где S_n – продольная подача; $S_p = S_n \operatorname{tg} \varphi$; φ – угол наклона зубьев ЦЗК с наклонными зубьями.

Уравнение кинематической связи станочного зацепления:

$$S_p = S_n \cdot c_2,$$

где c_2 – произведение передаточных отношений механических передач кинематической связи.

В уравнении кинематической связи отношение подач заменим отношением коэффициентов деления на соответствующих блоках, тогда

$$i_4 = i_3 \cdot c_2,$$

где i_3 – коэффициент деления, установленный на блоке 5 счетчика 2, соответствующий заданной продольной подаче; i_4 – коэффициент деления, который необходимо установить на блоке 6 счетчика 3 для обеспечения функциональной связи суппорта фрезы (P_3) и продольного стола (P_4).

Второе станочное зацепление группы подачи обеспечивает воспроизведение винтовой линии зуба по делительному конусу. Расчетные перемещения для данного зацепления:

$$T \text{ мм перемещения суппорта фрезы в движении } P_3 \rightarrow \text{один оборот делительного стола в движении } B_5,$$

где T – шаг винтовой линии зуба нарезаемого колеса с наклонными зубьями.

Уравнение кинематической связи станочного зацепления имеет вид:

$$I = (T/P) \cdot (n_3/n_5) \cdot c_3,$$

где P – шаг тягового вала TB_1 ; c_3 – произведения постоянных механических передач кинематической связи; n_3 – круговая частота электродвигателя M_3 , соответствующая заданной продольной подаче суппорта фрезы; n_5 – круговая частота электродвигателя M_2 , необходимая для обеспечения функциональной связи в винтовом движении.

В уравнении кинематической связи отношение круговых частот заменим отношением коэффициентов деления на соответствующих блоках:

$$I = (T/P) \cdot (i_3/i_5) \cdot c_3.$$

По полученному выражению определяется коэффициент деления, устанавливаемый на блоке 7 счетчика 4:

$$I_5 = (c_2 T/P) i_3,$$

где i_3 – коэффициент деления, установленный на блоке 5 счетчика 2, соответствующий заданной продольной подаче; i_5 – коэффициент деления, который необходимо установить на блоке 7 счетчика 4 для обеспечения функциональной связи суппорта (P_3) и делительного стола заготовки (B_5).

Делительный стол заготовки является исполнительным органом обеих кинематических групп. При нарезании винтовых (косозубых) ЦЗК результирующая круговая частота делительного стола представляет

собой математическую сумму $B_2 \pm B_5$ двух движений B_2 и B_5 , образующих совместно соответственно с движениями B_1 , P_3 , P_4 движение обката (B_1B_2), воспроизводящее профиль зуба, и винтовое движение подачи ($P_3P_4B_5$), воспроизводящее линию зуба. Выбор знака в математической сумме движений зависит от направления винтовых линий нарезаемого колеса и червячной фрезы. Знак «+» соответствует условию, когда винтовые линии одноименны, например, обе левые, знак «-» соответствует условию, когда винтовые линии разноименны, например, одна – правая, а другая – левая. Необходимый знак устанавливается при наладке станка подачей управляющего сигнала на потенциальный вход или ключа 25, или ключа 26 (см. рис. 3).

Станок работает следующим образом. При включении эталонного генератора 1 задающий эталонный высокочастотный импульсный сигнал с его выхода поступает на счетчики системы синхронизации, в которых происходит деление задающего сигнала в соответствии с коэффициентами деления, установленными на блоках задания этих коэффициентов.

Импульсный сигнал с выхода счетчика 2 (см. рис. 2) поступает на вход блока 6 круговой частоты шпинделя фрезы, где происходит его преобразование в напряжение, пропорциональное частоте входного сигнала. С выхода блока 6 сигнал через первый вход сложения – выход параллельного сумматора 12 и усилитель мощности 13 поступает на управляемый электродвигатель M_1 , который сообщает вращательное движение B_1 шпинделю 1 фрезы с круговой частотой, пропорциональной частоте эталонного сигнала на выходе счетчика частоты 2. Синхронно с выхода счетчика 3 импульсный сигнал поступает на вход блока 14 круговой подачи делительного стола заготовки в движении B_2 , где происходит его преобразование в напряжение, пропорциональное частоте входного сигнала. Выходной сигнал с блока 14 поступает на первый вход сложения параллельного сумматора 15.

Синхронно с выхода счетчика 4 (см. рис. 3) импульсный сигнал поступает на вход блока 24 круговой подачи делительного стола заготовки в движении B_5 , где происходит его преобразование в напряжение, пропорциональное частоте входного сигнала. Выходной сигнал с блока 24 поступает в зависимости от знака математического сложения движений B_2 и B_5 на одном исполнительном органе или через ключ 25 на второй вход сложения параллельного сумматора 15 (см. рис. 2), или через ключ 26 на вход вычитания этого параллельного сумматора. С выхода параллельного сумматора 15 результирующий сигнал через первый вход сложения – выход параллельного сумматора 17 и усилитель мощности 23 поступает на управляемый электродвигатель M_2 (см. рис. 1), который сообщает вращательное движение $B_2 \pm B_5$ круговой подачи делительному столу заготовки с круговой частотой, согласованной с движениями B_1 и P_3 червячной фрезы. Синхронно с выхода счетчика 2 (см. рис. 3) импульсный сигнал поступает на вход блока 8 продольной подачи суппорта фрезы в движении P_3 , где происходит его преобразование в напряжение, пропорциональное частоте входного сигнала. Выходной сигнал с блока 8 через первый вход сложения – выход параллельного сумматора 14 и усилитель мощности 15 сообщается управляемому электродвигателю M_3 , который посредством тягового вала TB_1 сообщает движение P_3 суппорту фрезы, пропорциональное частоте сигнала на выходе счетчика частоты 5. Синхронно с выхода счетчика 6 импульсный сигнал поступает на вход блока 16 радиальной подачи продольного стола в движении P_4 , где происходит его преобразование в напряжение, пропорциональное частоте входного сигнала. Выходной сигнал с блока 16 через первый вход сложения – выход параллельного сумматора 22 и усилитель мощности 23 поступает на управляемый электродвигатель M_4 , который посредством тягового вала TB_2 сообщает движение P_3 продольному столу, пропорциональное частоте сигнала на выходе счетчика 5.

В итоге описанного прохождения эталонного сигнала от общего задатчика – эталонного генератора 1 – к исполнительным органам – шпинделю червячной фрезы, делительному столу заготовки, суппорту червячной фрезы, продольному столу, несущему делительный стол, происходит воспроизведение профиля и винтовой линии зуба ЦЗК на делительном конусе.

Одновременно обеспечивается устранение девиации механики исполнительных органов посредством двухсторонней коррекции сигналов управления электродвигателями, действующих на выходах параллельных сумматоров 12, 17 (см. рис. 2) и 14, 22 (см. рис. 3).

На первых входах фазового 8 и знакового 7 дискриминаторов постоянно действует импульсный сигнал с выхода счетчика 2. На вторые входы этих дискриминаторов поступает вырабатываемый импульсным измерительным преобразователем 7 (см. рис. 2) импульсный сигнал, соответствующий мгновенному значению действительной круговой частоты шпинделя фрезы. В обоих дискриминаторах непрерывно происходит сравнение задающего сигнала с сигналом о действительном мгновенном положении шпинделя фрезы. В результате на выходе фазового дискриминатора 8 образуется сигнал абсолютной погрешности, который после преобразования в импульсно-аналоговом преобразователе 9 поступает на аналоговые входы аналогового ключа 10, управляемого отрицательным потенциалом, и аналогового ключа 19, управляемого положительным потенциалом. На выходе знакового дискриминатора 7 образуется отрицательный потенциал при отставании шпинделя фрезы от заданного значения и положительный потенциал при опережении. Этот сигнал поступает на управляющие входы аналоговых ключей 10 и 11 и открывает один из них. При открывании аналогового ключа 10, управляемого отрицательным потенциалом, сигнал с его выхода поступает на второй вход сложения параллельного сумматора 12, а при открывании аналогового ключа 11, управляемого положительным потенциалом, сигнал с его выхода поступает на вход вы-

читания параллельного сумматора 12. В сумматоре в зависимости от знака погрешности происходит увеличение или уменьшение сигнала, действующего на его первом входе сложения, т.е. происходит его двухсторонняя автоматическая коррекция (регулирование) относительно заданного номинального значения.

Результирующий аналоговый сигнал с выхода параллельного сумматора 15 поступает на вход аналого-импульсного преобразователя 16, где он преобразуется в импульсный сигнал, пропорциональный напряжению входного сигнала. С выхода этого преобразователя импульсный сигнал поступает на первые входы знакового 18 и фазового 19 дискриминаторов. На вторые входы этих дискриминаторов поступает, вырабатываемый импульсным измерительным преобразователем 8 (см. рис. 1) импульсный сигнал, соответствующий мгновенному значению действительной суммарной круговой частоты делительного стола заготовки. В обоих дискриминаторах непрерывно происходит сравнение задающего сигнала с сигналом о действительном мгновенном положении делительного стола заготовки. В результате на выходе фазового дискриминатора 19 образуется сигнал абсолютной погрешности, который после преобразования в импульсно-аналоговом преобразователе 20 поступает на аналоговые входы аналогового ключа 21, управляемого отрицательным потенциалом, и аналогового ключа 2, управляемого положительным потенциалом. На выходе знакового дискриминатора 18 образуется отрицательный потенциал при отставании делительного стола заготовки от заданного значения и положительный потенциал при опережении. Этот сигнал поступает на управляющие входы аналоговых ключей 21 и 22 и открывает один из них. При открывании аналогового ключа 21, управляемого отрицательным потенциалом, сигнал с его выхода поступает на второй вход сложения параллельного сумматора 17, а при открывании аналогового ключа 22, управляемого положительным потенциалом, сигнал с его выхода поступает на вход вычитания параллельного сумматора 17. В параллельном сумматоре 17 в зависимости от знака погрешности происходит увеличение или уменьшение сигнала, действующего на его первом входе сложения, т.е. происходит его двухсторонняя автоматическая коррекция относительно заданного номинального значения.

На первых входах фазового 10 и знакового 9 дискриминаторов постоянно действует импульсный сигнал с выхода счетчика 2 (см. рис. 3). На вторые входы этих дискриминаторов поступает вырабатываемый импульсным измерительным преобразователем 9 (см. рис. 1) импульсный сигнал, соответствующий мгновенному значению действительной продольной подачи суппорта червячной фрезы. В обоих дискриминаторах непрерывно происходит сравнение задающего сигнала с сигналом о действительном мгновенном положении суппорта. В результате на выходе фазового дискриминатора 10 образуется сигнал абсолютной погрешности, который после преобразования в импульсно-аналоговом преобразователе 11 поступает на аналоговые входы аналогового ключа 12, управляемого отрицательным потенциалом, и аналогового ключа 13, управляемого положительным потенциалом. На выходе знакового дискриминатора 9 образуется отрицательный потенциал при отставании суппорта от заданного значения и положительный потенциал при опережении. Этот сигнал поступает на управляющие входы аналоговых ключей 12 и 13 и открывает один из них. При открывании аналогового ключа 12, управляемого отрицательным потенциалом, сигнал с его выхода поступает на второй вход сложения параллельного сумматора 14, а при открывании аналогового ключа 13, управляемого положительным потенциалом, сигнал с его выхода поступает на вход вычитания параллельного сумматора 14. В этом параллельном сумматоре в зависимости от знака погрешности происходит увеличение или уменьшение сигнала, действующего на его первом входе сложения, т.е. происходит его двухсторонняя автоматическая коррекция относительно заданного номинального значения.

Аналогично происходит коррекция сигнала, управляющего приводом продольного стола, несущего делительный стол. На первых входах фазового 18 и знакового 17 дискриминаторов постоянно действует импульсный сигнал с выхода счетчика 3 (см. рис. 3). На вторые входы этих дискриминаторов поступает вырабатываемый импульсным измерительным преобразователем 10 (см. рис. 1) импульсный сигнал, соответствующий мгновенному значению действительной подачи продольного стола. В обоих дискриминаторах непрерывно происходит сравнение задающего сигнала с сигналом о действительном мгновенном положении этого стола. В результате на выходе фазового дискриминатора 18 образуется сигнал абсолютной погрешности, который после преобразования в импульсно-аналоговом преобразователе 19 поступает на аналоговые входы аналогового ключа 20, управляемого отрицательным потенциалом, и аналогового ключа 21, управляемого положительным потенциалом. На выходе знакового дискриминатора 17 образуется отрицательный потенциал при отставании делительного стола от заданного значения и положительный потенциал при опережении. Этот сигнал поступает на управляющие входы аналоговых ключей 20 и 21 и открывает один из них. При открывании аналогового ключа 20, управляемого отрицательным потенциалом, сигнал с его выхода поступает на второй вход сложения параллельного сумматора 22, а при открывании аналогового ключа 21, управляемого положительным потенциалом, сигнал с его выхода поступает на вход вычитания параллельного сумматора 22. В этом сумматоре в зависимости от знака погрешности происходит увеличение или уменьшение сигнала, действующего на его первом входе сложения, т.е. происходит его двухсторонняя автоматическая коррекция относительно заданного номинального значения.

При обработке различных модификаций зубчатых колес группа $\Phi_1(B_1B_2)$, воспроизводящая профиль зубьев, остается неизменной, а группа $\Phi_3(P_3 P_4 B_5)$, воспроизводящая линию зуба, изменяется посредством управляющего устройства. При обработке прямозубого ЦЗК с линией зуба на делительном

конусе группа Φ_s коммутируется к виду $\Phi_s(P_3 P_4)$. Для этого отключается счетчик 4 (см. рис. 3) и аналого-импульсный преобразователь 16 (см. рис. 2), а первые входы знакового 18 и фазового 19 дискриминаторов подключаются непосредственно к выходу счетчика 3. При обработке прямозубого ЦЗК с линией зуба на делительном цилиндре группа Φ_s коммутируется к виду $\Phi_s(P_3)$. Для этого отключается счетчик 3 (см. рис. 3), задающий управляющий сигнал электродвигателю продольного стола. При обработке винтового (косо-зубого) ЦЗК с линией зуба на делительном цилиндре группа Φ_s коммутируется к виду $\Phi_s(P_3 B_5)$. Для этого отключается счетчик 3 (см. рис. 3), задающий управляющий сигнал электродвигателю продольного стола. При обработке червячного колеса формообразующая группа Φ_s преобразуется в элементарную группу врезания $Bp(P_3)$. Для этого отключается счетчик 2 (см. рис. 3), задающий управляющий сигнал электродвигателю продольной подачи суппорта фрезы.

Выводы

1. Расширение универсальности зубофрезерных станков с механическими связями за счет обработки ЦЗК с наклонными зубьями (с линией зубьев на делительном конусе) усложняет их кинематическую структуру. В частности, простая формообразующая кинематическая группа подачи при обработке прямозубого ЦЗК с наклонными зубьями преобразуется в сложную двухэлементарную, а при обработке винтового (косо-зубого) ЦЗК с наклонными зубьями – в сложную трехэлементарную кинематическую группу с дополнительным органом настройки на траекторию движения подачи (четырёхколёсной гитарой сменных зубчатых колес).

2. Увеличение механических связей в кинематической структуре зубофрезерных станков с механическими связями при прочих равных условиях приводит к снижению точности обработки и повышению уровня шума станка при работе. Увеличивается также время наладки станков, что нежелательно при обработке небольших партий зубчатых колес.

3. Замена механических связей, включающих органы настройки параметров исполнительных движений, между исполнительными органами зубофрезерного станка для обработки ЦЗК как с линией зуба на делительном конусе, так и с линией зуба на делительном цилиндре системой синхронизации на основе типовых интегральных схем между их управляемыми электродвигателями создает предпосылки для повышения точности обработки, оптимизации режимов резания и снижения уровня шума при работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Способ нарезания цилиндрических зубчатых колес и станок для его реализации: пат. 6134 Респ. Беларусь, В 23F 5/12 / А.И. Голембиевский: заявитель Полоц. гос. ун-т; опубл. 29.12.2003 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2003.
2. Голембиевский, А.И. Обработка цилиндрических зубчатых колес с наклонными по делительной окружности зубьями / А.И. Голембиевский // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия В. Прикладные науки. – 2008. – № 8. – С. 102 – 109.
3. Голембиевский, А.И. Типовая кинематическая структура зубофрезерного станка для обработки винтовых цилиндрических зубчатых колес с наклонными зубьями / А.И. Голембиевский // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия В. Прикладные науки. – 2013. – № 3. – С. 4 – 8.
4. Ратмиров, В.А. Программное управление зубообрабатывающими станками / В.А. Ратмиров, П.М. Рашкович. – М.: НИИмаш, 1983. – 47 с.
5. Устройство для синхронизации приводов шпинделя и делительного стола зубодолбежного станка: пат. 8621 Респ. Беларусь, В 23Q 15/00, В 23F 5/12 / А.И. Голембиевский: заявитель Полоц. гос. ун-т; опубл. 26.07.2006 // Афіцыйны бюл. / Нац. центр. інтэлектуал. уласнасці. – 2006.
6. Устройство для синхронизации приводов исполнительных органов шлицефрезерного станка: пат. 16976 Респ. Беларусь, В23Q 15/00, В23F 9/10 / А.И. Голембиевский: заявитель Полоц. гос. ун-т; опубл. 26.12.2012 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр. інтэлектуал. уласнасці. – 2012.

Поступила 11.06.2013

SYNCHRONIZATION OF DRIVES OF EXECUTIVE GEAR MILLING MACHINE FOR MANUFACTURING GEAR WITH SLANTED TEETH

A. GOLEMBIEVSKY

The structural scheme of a gear milling machine with CNC for machining cylindrical gears with inclined teeth is considered. Executive bodies (controlled axes) of the machine are equipped with individually controlled motors. A system for synchronizing of executive machine-based model of integrated circuits is provided. A block scheme of the synchronization is made on the basis of the principle of equivalence in both coordinates forming groups, respectively reproducing tooth profile and a line along the length of the treated tooth wheel. An automatic two-sided correction control signal on each managed coordinate is considered.