

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Введение</b> .....	7
<b>Список сокращений</b> .....	8
<b>Глава I</b>	
<b>Классификация, обобщенные уравнения, структурные схемы и передаточные функции следящих приводов</b> .....	9
1.1. Классификация следящих приводов .....	9
1.2. Обобщенная структурная схема следящего привода .....	12
1.3. Структурные схемы цифровых СП .....	15
1.3.1. Однокоординатный цифровой СП .....	15
1.3.2. Многокоординатный цифровой СП с централизованным управлением .....	17
1.3.3. Многокоординатный ЦСП с децентрализованным управлением .....	18
1.3.4. Многокоординатный ЦСП с комбинированным управлением .....	19
1.3.5. Многокоординатный ЦСП с распараллеленной системой управления .....	20
1.4. Обобщенные линеаризованные уравнения силовой части СП с ИД вращательного движения .....	21
1.4.1. Управление угловой скоростью ИД .....	21
1.4.2. Управление моментом ИД .....	25
Контрольные вопросы .....	30
<b>Глава II</b>	
<b>Функциональные устройства СП</b> .....	32
2.1. Объекты регулирования СП .....	32
2.2. Направляющие и опоры ОР .....	37
2.2.1. Направляющие трения скольжения .....	38
2.2.2. Направляющие трения качения .....	41
2.2.3. Комбинированные направляющие качения – скольжения .....	49
2.2.4. Гидростатические направляющие .....	50
2.2.5. Аэростатические направляющие .....	51
2.3. Механические передачи .....	52
2.3.1. Назначение и основные требования к МП .....	52
2.3.2. Передачи типа «винт – гайка» .....	54
2.3.2.1. Передачи типа «винт – гайка» скольжения .....	54
2.3.2.2. Передачи типа «винт – гайка» качения .....	58
2.3.2.3. Гидростатические передачи типа «винт – гайка» .....	61
2.3.3. Гидростатические червячно-реечные передачи .....	63
2.3.4. Роликовая планетарная винтовая передача качения .....	64
2.3.5. Зубчатые передачи .....	65
2.3.6. Зубчато-ременные передачи .....	69
2.3.7. Защитные устройства для направляющих и механических передач .....	72
2.3.8. Соединительные муфты механических передач СП .....	72
2.4. Редукторы .....	75
2.5. Обобщенное математическое описание механических передач СП .....	81
2.5.1. Примеры математического описания МП .....	82
2.5.1.1. Математическое описание зубчато-ременной МП .....	84
2.5.1.2. Математическое описание зубчатой прямозубой МП .....	85
2.5.2. Расчет коэффициентов передачи МП .....	86
Контрольные вопросы .....	87

**Глава III**

<b>Исполнительные двигатели вращательного движения .....</b>	<b>89</b>
3.1. Электрические двигатели .....	89
3.2. Асинхронные исполнительные электродвигатели .....	93
3.2.1. АИД с короткозамкнутыми обмотками ротора .....	94
3.2.1.1. Принцип действия АИД .....	95
3.2.1.2. Механические и регулировочные характеристики АИД .....	98
3.2.1.3. Пуск и торможение АИД .....	102
3.2.2. АИД с короткозамкнутой обмоткой в виде беличьего колеса .....	105
3.2.3. АИД с фазным ротором .....	106
3.2.4. АИД с полым немагнитным ротором .....	107
3.3. Синхронные исполнительные двигатели .....	110
3.3.1. Принцип работы и конструкция синхронного двигателя .....	110
3.3.2. Синхронные двигатели с постоянными магнитами .....	113
3.4. Шаговые (импульсные) двигатели поворотного типа .....	115
3.4.1. Устройство и принцип действия .....	115
3.4.2. Характеристики ШДП .....	121
3.5. Двигатели постоянного тока .....	123
3.5.1. Принцип действия и конструкция .....	123
3.5.2. Способы возбуждения и регулирования ДПТ .....	129
3.5.3. Пуск, реверсирование и торможение ДПТ .....	135
3.6. Пневматические двигатели вращательного движения .....	139
3.6.1. Классификация и общая характеристика .....	139
3.6.2. Полуоборотные и неполнооборотные лопастные ПД .....	139
3.6.3. Пластинчатые ПД .....	144
3.7. Гидравлические двигатели вращательного движения .....	150
3.7.1. Основные понятия и классификация .....	150
3.7.2. Неполнооборотные ГД .....	151
3.7.3. Пластинчатые ГД .....	152
3.7.4. Роliko-лопастные ГД .....	156
3.7.5. Радиально-поршневые ГД .....	159
3.7.6. Роторные аксиально-поршневые ГД .....	162
3.8. Пьезоэлектрические двигатели вращательного движения .....	168
3.8.1. Принцип работы и классификация .....	168
3.8.2. Управление скоростью и реверс ПЭДВ .....	175
3.8.3. Источники питания ПЭДВ .....	177
3.9. Математические модели исполнительных двигателей СП вра- щательного движения .....	179
3.9.1. Моделирование электрических двигателей .....	179
3.9.1.1. Асинхронные исполнительные электродвигатели .....	179
3.9.1.2. Шаговые исполнительные электродвигатели .....	188
3.9.1.2.1. ШД с постоянными магнитами и гибридного исполнения .....	188
3.9.1.2.2. Реактивный шаговый двигатель .....	193
3.9.1.3. Синхронные исполнительные электродвигатели .....	196
3.9.1.3.1. СИД с обмоткой возбуждения .....	196
3.9.1.3.2. СИД с постоянными магнитами .....	200
3.9.1.4. Электродвигатели постоянного тока .....	202
3.9.2. Моделирование пневмо- и гидродвигателей .....	206
3.9.2.1. Двигатели неполнооборотного действия .....	207
3.9.2.2. Пневмо- и гидромоторы .....	217
Контрольные вопросы .....	220

**Глава IV**

<b>Исполнительные двигатели поступательного движения</b> .....	223
4.1. Линейные электрические двигатели .....	223
4.1.1. Линейные асинхронные двигатели .....	223
4.1.1.1. Принцип работы и основные параметры .....	223
4.1.1.2. Способы управления асинхронными ЛЭД .....	229
4.1.2. Линейные синхронные двигатели .....	232
4.1.3. Конструктивные исполнения ЛЭД .....	233
4.2. Пневматические двигатели поступательного движения .....	238
4.2.1. Классификация, принцип работы и основные параметры .....	238
4.2.2. Конструктивное исполнение штоковых ПДП .....	240
4.2.3. Конструктивное исполнение бесштоковых ПДП .....	242
4.2.4. Определение динамических характеристик движения ПД двустороннего и одностороннего действия .....	245
4.3. Гидравлические двигатели поступательного движения .....	251
4.3.1. Классификация, принцип работы и основные параметры .....	251
4.3.2. Конструкции штоковых ГДП .....	255
4.3.3. Динамические характеристики гидродвигателей .....	257
4.4. Пьезоэлектрические двигатели поступательного движения .....	260
4.4.1. Классификация и основные характеристики .....	260
4.4.2. Примеры конструктивных решений ПЭДП и области применения .....	265
4.5. Математические модели исполнительных двигателей СП по- ступательного движения .....	268
4.5.1. Моделирование линейных электрических двигателей .....	268
4.5.1.1. Моделирование асинхронного ЛЭД .....	269
4.5.1.2. Моделирование синхронного ЛЭД .....	270
4.5.2. Моделирование ПД поступательного движения .....	272
4.5.3. Моделирование ГД поступательного движения .....	279
Контрольные вопросы .....	282

**Глава V**

<b>Серводвигатели</b> .....	284
5.1. Серводвигатели вращательного движения .....	284
5.1.1. Пневматические неполнооборотные СДВ .....	284
5.1.2. Электрические СДВ .....	287
5.2. Серводвигатели поступательного движения .....	295
5.2.1. Пневматические СДП .....	295
5.2.1.1. Штоковые СДП .....	295
5.2.1.2. Бесштоковые СДП .....	303
5.2.2. Гидравлические СДП .....	310
5.2.3. Электрические линейные СД .....	312
5.3. Математическое моделирование СД .....	316
5.3.1. Математическое моделирование датчиков обратной связи .....	317
Контрольные вопросы .....	320

**Глава VI**

<b>Сервомодули движения</b> .....	322
6.1. Пневматические сервомодули .....	322
6.2. Гидравлические сервомодули .....	325
6.3. СМД на основе электрических СД и механических передач .....	325
6.3.1. Электромеханические СМД .....	326
6.3.1.1. Сервомодули с винтовыми ПМ .....	326

6.3.1.2. Сервомодули с зубчато-ременными передаточными механизмами.....	337
6.3.1.3. Сервомодули с линейными электрическими СД.....	344
6.4. Математическое моделирование сервомодулей движения .....	348
6.4.1. Математическое моделирование гидравлических сервомодулей.....	348
6.4.2. Математическое моделирование пневматических сервомодулей.....	351
6.4.3. Математическое моделирование электромеханических сервомодулей.....	353
Контрольные вопросы.....	358
<b>Библиографический список .....</b>	<b>360</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Следящие приводы (СП), представляющие собой системы автоматического регулирования, находят широкое применение в составе современного технологического оборудования, используемого в различных отраслях промышленного производства, что объясняется не только необходимостью автоматизации различных технологических процессов обработки и сборки, но и созданием принципиально новых автоматизированных рабочих машин.

Вопросы проектирования и создания систем автоматического регулирования, отличающихся как особенностью самого объекта регулирования, так и динамическими свойствами системы в целом, освещены в технической литературе достаточно полно. Многообразие этой литературы, зачастую ориентированной либо на весьма широкий диапазон применения следящих приводов, либо на решение задач создания узко специализированных по условиям работы приводов, либо на изложение используемых для этого обобщенных теоретических методов и способов математического описания, усложняет самостоятельную работу студентов, связанную с выполнением курсового и дипломного проектирования СП технологического оборудования для отраслей машино- и приборостроения.

На этом фоне важным этапом проектирования является синтез структурной схемы следящего привода, выбор необходимых элементов и их параметров, оценка динамических свойств системы регулирования и определение необходимости их коррекции, что является одним из наиболее сложных этапов проектирования.

Высокие требования, предъявляемые к динамическим характеристикам СП, обуславливают необходимость учитывать при их проектировании влияние зазоров и упругих деформаций, сухого и вязкого трения в силовой части, непостоянство моментов инерции нагрузки, внешнего возмущения и т.д., что особенно важно для автоматических систем со многими степенями свободы. Теоретические методы, используемые при проектировании следящих приводов, должны характеризоваться наглядностью и способствовать несложному получению ожидаемых результатов. В этом случае они будут иметь как самостоятельное значение, так и успешно дополнять методы расчета, основанные на использовании вычислительной техники.

Поскольку современные системы автоматического регулирования предполагают использование в своем составе различных исполнительных элементов, источников энергии, чувствительных элементов и управляющих электронных устройств с программными средствами, особое значение приобретает задача подготовки инженерных кадров, способных осуществлять разработку таких систем и их сопровождение в производственных условиях.

Структура учебного пособия, включающая в себя шесть глав, посвященных конструкциям и анализу характеристик устройств, широко используемых для создания СП, реализующих заданные параметры движения рабочих органов технологического оборудования в сочетании с представленными в каждой главе прикладными программами, позволяющими моделировать создаваемые системы и происходящие в них процессы и с конкретными решениями, значительно превышающими возможность реального оборудования, способствует повышению эффективности учебного процесса.

Учебное пособие написано в соответствии с учебными планами таких направлений обучения, как 0902 – Инженерная механика, 0909 – Приборы, 0925 – Автоматизация и компьютерно-интегрированные технологии, содержащие учебные дисциплины, непосредственно связанные с вопросами автоматизации промышленного производства.

Авторы выражают глубокую признательность рецензентам, научному редактору и инженеру Абрамовой Е.Н. за помощь, оказанную при подготовке учебного пособия к изданию.

**СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ**

АИД	– асинхронный исполнительный двигатель;
АЦП	– аналого-цифровой преобразователь;
ГД	– гидравлический двигатель;
ГДВ	– гидравлический двигатель вращательного движения;
ГДП	– гидравлический двигатель поступательного движения;
ГМ	– гидравлический мотор;
ГПС	– гибкая производственная система;
ДОС	– датчик обратной связи;
ДПТ	– двигатель постоянного тока;
ЗРСМД	– зубчато-ременный сервомодуль движения;
ИД	– исполнительный двигатель;
ИУ	– измерительное устройство;
ИЭ	– источник энергии;
ЛЭД	– линейный электрический двигатель;
МДС	– магнитодвижущая сила;
МП	– механическая передача;
ОР	– объект регулирования;
ОС	– обратная связь;
ПД	– пневматический двигатель;
ПДВ	– пневматический двигатель вращательного движения;
ПДГР	– пропорциональный дросселирующий гидрораспределитель;
ПДП	– пневматический двигатель поступательного движения;
ПКУ	– параллельное корректирующее устройство;
ПЛК	– перепрограммируемый логический контроллер;
ПН	– преобразователь напряжения;
ПП	– пропорциональный пневмораспределитель;
ППД	– пластинчатый пневмодвигатель;
ПР	– промышленный робот;
ПУ	– преобразующее устройство;
ПЭ	– пьезоэлемент;
ПЭДВ	– пьезоэлектрический двигатель вращательного движения;
ПЭДП	– пьезоэлектрический двигатель поступательного движения;
СД	– серводвигатель;
СДВ	– серводвигатель вращательного движения;
СДП	– серводвигатель поступательного движения;
СИД	– синхронный исполнительный двигатель;
СМД	– сервомодуль движения;
СП	– следящий привод;
УМ	– усилитель мощности;
УП	– усилитель предварительный;
УЭВМ	– управляющая электронно-вычислительная машина;
ЦАП	– цифро-аналоговый преобразователь;
ЦСП	– цифровой следящий привод;
ЧПУ	– числовое программное управление;
ШД	– шаговый двигатель;
ШДЛ	– шаговый двигатель линейного типа;
ШДП	– шаговый двигатель поворотного типа

# Классификация, обобщенные уравнения, структурные схемы и передаточные функции следящих приводов

### 1.1. Классификация следящих приводов

**Следящий привод (СП)** или **сервопривод** промышленного технологического оборудования представляет собой замкнутую активную динамическую систему, управляющую перемещением ее рабочих органов (объектов регулирования) с заданными параметрами движения, обеспечивающими выполнение технологических операций производственных процессов.

Их применение обусловлено необходимостью обеспечения контролируемого движения рабочего органа технологического оборудования и его позиционирования в любом промежуточном положении с требуемой точностью в пределах заданного диапазона перемещения. При этом, объект регулирования (рабочий орган) с той или иной степенью точности воспроизводит приложенное к системе управляющее воздействие.

Данное функциональное свойство СП можно выразить зависимостью

$$y = k_x \cdot x,$$

где  $y$  – перемещение выходного звена привода;  $k_x$  – передаточный коэффициент привода;  $x$  – входное управляющее воздействие.

Следящие приводы (СП) работают в соответствии с установленной в них программой, которая предусматривает обнаружение отклонений регулируемой величины от управляющего воздействия и, в конечном счете, воздействие на объект регулирования (рабочий орган), с целью сведения указанного отклонения к нулю [52].

СП находят широкое применение в современных рабочих машинах (станки с ЧПУ, промышленные технологические роботы, сборочные центры и др.), относящихся к основному технологическому оборудованию, а также в конструкциях различного вспомогательного оборудования (транспортёры, робокары, загрузочные устройства и загрузочные роботы, автоматизированные склады, контрольно-измерительные машины и др.), которые могут иметь в своем составе от одного до нескольких исполнительных устройств на основе СП, осуществляющих пространственное перемещение рабочих органов (инструментов).

Широкий диапазон применения, разнообразие функционального построения и математического описания СП в значительной мере осложняет их классификацию. Трудности определения общего критерия классификации СП неизбежно приводят к образованию «многомерной» классификационной структуры.

Существующее многообразие СП можно классифицировать по основным признакам, связанным с принципами построения и действия, характеру передаваемого сигнала и типу исполнительного двигателя (рисунок 1.1).

Динамические свойства СП и законы изменения управляющих и возмущающих воздействий во многом зависят от назначения объекта регулирования в целом и функций, выполняемых следящей системой [40].

СП промышленного технологического оборудования обладают рядом особенностей, к которым относятся, прежде всего, простота конструкции, надежность и долговечность в работе, высокая технологическая точность, а также максимальная унификация узлов и деталей.

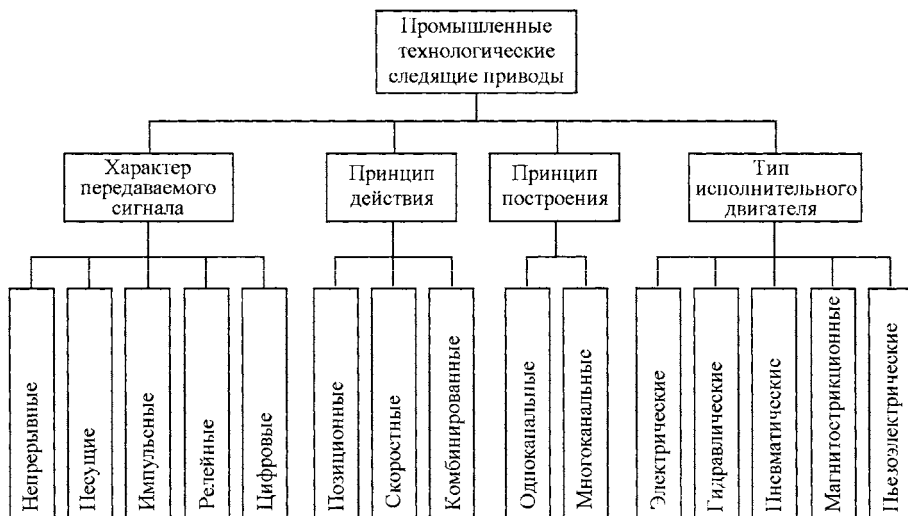


Рисунок 1.1 – Классификация промышленных технологических следящих приводов

Характер проектирования СП существенным образом зависит от их исполнительных элементов, так как их выбор определяет не только элементную базу и конструкцию привода, но и способы и средства стабилизации, необходимые усилительные элементы, методику расчетных операций. По этому признаку СП можно подразделить на электрические, гидравлические, пневматические, магнитострикционные, пьезоэлектрические.

**Электрические СП**, имеющие в настоящее время наибольшее применение, подразделяют на приводы постоянного и переменного тока, а также импульсные (шаговые).

В качестве силовых частей СП переменного тока используются двух- и трехфазные двигатели переменного тока с амплитудным или частотно-токовым управлением, питаемые от трансформаторных или тиристорных преобразователей.

В СП постоянного тока в качестве исполнительных устройств применяют двигатели постоянного тока с независимым и последовательным возбуждением, питаемые от генераторов, электромашинных, магнитных, тиристорных или транзисторных усилителей.

В шаговых СП наиболее широко применяются трехфазные и четырехфазные шаговые двигатели (ШД), которые по характеру перемещения выходного звена делятся на поворотные и линейные, постоянного и переменного тока.

**Гидравлические СП** по принципу регулирования делят на дроссельные и объемные. В дроссельных регулируемый параметр изменяется путем перекрытия проходных отверстий в гидрораспределителях с помощью запорно-регулирующих элементов (золотников, шаровых кранов, конических клапанов). В режимах объемного регулирования изменение скорости выходного звена СП осуществляется посредством изменения объема жидкости, проходящей через насос переменной производительности.

По виду исполнительных устройств гидравлические СП делятся на приводы поступательного движения на основе гидроцилиндров и вращательного движения на основе радиальнопоршневых или лопастных двигателей.

В **пневматических СП** в качестве исполнительных устройств применяются пневмоцилиндры, роторные поршневые двигатели и двигатели с поворотной лопастью. Для управления СП используются специальные пневмоусилители со струйными трубками, управляемыми поворотными или втяжными электромагни-



тами; с мембранами; с золотниковыми распределителями поступательного действия; с поворотными вентильными клапанами.

**Магнитострикционные и пьезоэлектрические** СП применяются в прецизионной технике, когда требуется осуществлять перемещение выходного звена (рабочего органа) в пределах  $10^{-6} \dots 10^{-9}$  м, т.е. в микро- и нанотехнологических процессах.

Исполнительные двигатели таких СП основаны на использовании магнитострикционных и пьезоэлектрических преобразователей. В соответствии с теорией магнитострикции входным параметром магнитострикционного преобразователя, преобразующего электромагнитную энергию в механическую, является напряжённость магнитного поля, а выходным – относительная деформация (относительное удлинение или укорочение) магнитострикционного стержня, выполненного из никеля, пермендюра, феррита и др. [18].

Для создания пьезоэлектрических преобразователей широко применяются пьезокерамические элементы, выполненные из ЦТС-керамики ( $\text{Pb}(\text{Zr}_{0,35}\text{Ti}_{0,45})\text{O}_3$ ) (цирконат–титанат–свинца), керамики титаната бария ( $\text{BaTiO}_3$ ) и др. Деформация пьезокерамики линейно зависит от напряжённости постоянного электрического поля, создаваемого постоянным напряжением, подводимым к электродам.

На основе пьезокерамики создаются вибропреобразователи, являющиеся основным активным элементом вибродвигателей [6], амплитуда колебаний выходного элемента которых зависит от напряжённости *переменного* электрического поля.

По принципу действия СП можно подразделить на три основных типа: позиционные, скоростные и комбинированные [40].

**Позиционные СП** предназначены для передачи на расстояние угла поворота задающего вала (системы дистанционного управления) или для отработки выходным валом привода непрерывно меняющегося входного напряжения. Их достоинством являются значительные усиления механической мощности при отсутствии реакции на задающее устройство, малые значения статической и динамической ошибок, высокая надёжность и др.

**Скоростные СП** основаны на использовании сигналов ошибок для управления частотой вращения выходного вала и могут применяться в качестве интеграторов вычислительных устройств.

Скоростные (интегрирующие) СП нашли широкое применение в технологическом оборудовании, призванным обеспечить:

- постоянство линейной скорости движения протягиваемых лент, кабелей, проводов, скатываемых в рулоны или бухты;
- постоянство угловой скорости вращения барабанов и поворотных столов;
- синхронность вращения валов рабочих органов, размещённых на значительном расстоянии друг от друга;
- программное управление частотой вращения барабанов, поворотных столов и других подобных рабочих органов;
- управление скоростью захватных органов технологических промышленных роботов и других манипуляционных механизмов.

**Комбинированные СП** представляют собой либо сочетание систем замкнутого и разомкнутого циклов, либо сочетание позиционной и скоростной систем, работающих на один выходной элемент рабочего органа технологического оборудования.

При этом достигается получение высокого быстродействия и точности траекторий перемещения при сохранении принципа позиционности. Комбинированные СП, построенные по принципу сочетания замкнутой и разомкнутой систем, также имеют высокое быстродействие.

По принципу построения СП можно подразделить на **одноканальные** и **многоканальные** (в частном случае двухканальные).

Существующие **одноканальные** сельсинные, потенциометрические и другие синхронно-следящие приводы часто не удовлетворяют требованиям точности высокого порядка. Для повышения точности применяется метод точного и грубого отсчетов с механическим редуктором, т.е. **двухканальный** синхронно-следящий привод. Повышение точности может быть достигнуто путем применения датчиков с электрической редукцией.

Все многообразие СП, независимо от их принципов действия и построения, в зависимости от характера сигналов, передаваемых от одного элемента СП к другому, можно разделить на пять основных групп:

- **непрерывные**, в которых сигналы на входе и на выходе всех элементов привода представляют непрерывную функцию;

- **несущие**, в которых сигнал на выходе одного из элементов привода изменяется с некоторой несущей частотой, модулированной входным сигналом;

- **импульсные** (или с квантованием по времени), в которых сигнал на выходе по крайней мере одного из элементов привода представляет собой последовательность импульсов, амплитуда, длительность или частота повторения которых зависят от сигнала на входе этого элемента в отдельные (дискретные) моменты времени;

- **релейные** (или с квантованием по уровню), в которых сигнал на выходе по крайней мере одного из элементов привода изменяется скачком всякий раз, когда сигнал на входе проходит через некоторые фиксированные значения, называемые пороговыми;

- **релейно-импульсные** или **кодowo-импульсные**, в которых происходит квантование сигнала, как по времени, так и по уровню; к кодowo-импульсным относятся приводы, содержащие цифровые вычислительные машины или перепрограммируемые контролеры, и поэтому они получили название **цифровых следящих приводов (ЦСП)**.

Все следящие приводы в зависимости от идеализации, принятой при их математическом описании, можно разделить на **линейные** и **нелинейные**. Строго говоря, всякий СП представляет собой нелинейную систему, содержащую как переменные, так и распределенные параметры.

Так как требования, предъявляемые к поведению СП в динамике, зависят от их назначения, принципа действия, характера внешних воздействий, конкретных условий и т.д., то они могут быть самыми различными, однако их можно свести к четырем категориям: требования к **запасу устойчивости** СП как системы; требования к величине ошибок в установившемся состоянии или к **статической точности**; требования к поведению системы в **переходном процессе** (эти требования обычно называются условиями качества); требования к **динамической точности** системы, т.е. к величине ошибок при наличии непрерывно изменяющихся воздействий.

Создание СП, удовлетворяющих этим требованиям, является задачей динамического синтеза СП.

## 1.2. Обобщенная структурная схема следящего привода

При анализе сложных СП особое значение приобретают их структурные схемы, показывающие точки приложения воздействий и возможные пути распространения сигналов, осуществляющих взаимодействие между элементами привода.

СП в зависимости от числа главных и местных обратных связей (ОС) подразделяются на **одноконтурные** и **многоконтурные**. Структурные схемы многоконтурных СП путем эквивалентных преобразований могут быть сведены к приведенным одноконтурным.

СП имеет в своем составе ряд основных, характерных для любых приводов, устройств (рисунок 1.2) [52]. В **измерительном (чувствительном) устройстве (ИУ)** проводится сравнение текущего значения регулируемой величины (например, угла поворота захвата промышленного робота, являющегося объектом регулирования) с управляющим воздействием и на основе этого сравнения формируется сигнал ошибки – первичный сигнал управления. В ИУ информация о текущем значении регулируемой величины поступает по каналу **главной обратной связи**.

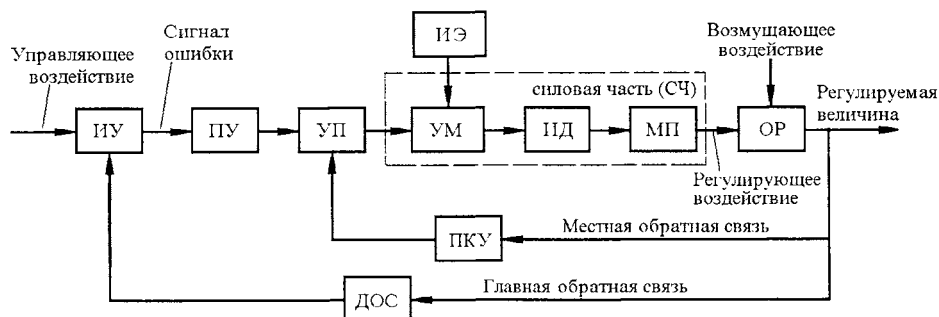


Рисунок 1.2 – Обобщенная структурная схема СП промышленного технологического оборудования

Схемы ИУ весьма разнообразны. Широкое применение получили ИУ с использованием сельсинов, синусно-косинусных вращающихся трансформаторов и потенциометров. В дискретных СП сигнал ошибки часто формируется в ЭВМ. В этом случае информация о текущем значении регулируемой величины поступает в ЭВМ или перепрограммируемый логический контроллер с цифрового датчика обратной связи (ДОС) (оптико-механического, индукционного и т.п.) главной обратной связи.

**Преобразующее устройство (ПУ)** следящего привода служит для преобразования сигнала ошибки к виду, удобному для дальнейшего использования. В нём, например, может быть осуществлено преобразование сигнала ошибки переменного тока в сигнал ошибки постоянного тока, если последующие устройства СП работают на постоянном токе. В дискретных СП сигнал ошибки поступает с выхода ЭВМ (ПЭВМ) или перепрограммируемого логического контроллера (ПЛК) в цифровом виде. ПУ в этом случае преобразует указанный сигнал в соответствующее напряжение постоянного или переменного тока. В ПУ сигнал ошибки подвергается и дальнейшей обработке, связанной с обеспечением нормального функционирования СП: в этом сигнале уменьшается уровень помех; для придания СП желаемых динамических свойств формируются составляющие, пропорциональные производным или интегралам от ошибок. Последние операции производятся в последовательном корректирующем устройстве, входящем в состав ПУ.

**Предварительный усилитель (УП)** предназначен для усиления по напряжению и мощности сигнала, поступающего с преобразующего устройства, до значений, достаточных для управления **усилителем мощности (УМ)**. В этом усилителе производится также сложение названного сигнала с сигналом, поступающим от **параллельного корректирующего устройства (ПКУ)**.

УП выполняется на полупроводниковых элементах. Как правило, он конструктивно объединен с ПУ.

Регулирующее воздействие (например, в виде вращающего момента), непосредственно прикладываемое к **объекту регулирования (ОР)**, создается с помощью **силовой части (СЧ)** следящего привода, которая состоит из УМ,

**исполнительного двигателя (ИД) и механической передачи (МП)**, в качестве которой могут использоваться различные рычажные системы, редукторы, винтовые пары и т.п.

УМ предназначен для управления потоком энергии, поступающим от **источника энергии (ИЭ)**. Управляющим сигналом для него служит сигнал с предварительного усилителя. При этом мощность, развиваемая на выходе УМ, во много раз (в сотни и тысячи) превышает мощность управляющего сигнала. В схемах СП находят применение электромашинные, магнитные, электрогидравлические и электропневматические усилители мощности, а также усилители мощности, построенные на полупроводниковых приборах (тиристорах, транзисторах). Последние выполняются как усилители напряжения и как усилители тока. В качестве усилителей мощности используются, кроме того, гидронасосы и компрессоры.

ИД получает сигнал от УМ и с помощью МП, например, редуктора (в ряде случаев редуктор в СП не применяется), перемещает ОР (каретки, суппорты, столы станков; манипуляторы роботов, робокаров, роботов-штабелёров и др.), кинематически связанного с инструментом для формообразования объекта производства (резцы, фрезы, сверла, пуансоны и др.) или элементами запорно-распределительных устройств (заслонки, плунжеры, толкатели и др.).

Перемещение исполнительным двигателем объектов регулирования происходит в направлении уменьшения ошибки СП. Если ошибка СП равна нулю, то значение регулируемой величины совпадает со значением управляющего воздействия.

Кроме управляющего воздействия к СП всегда приложены возмущающие воздействия, вызывающие отклонения регулируемой величины от требуемого значения. Основное влияние на работу СП оказывают, как правило, **внешние воздействия** на ОР или инструмент в виде изменения температуры, давления, припуска на обработку, моментов от сил неуравновешенности и др. Однако в СП существуют и **внутренние возмущения** в виде случайных помех, содержащихся в сигналах (коллекторная пульсация электрических машин, фон выпрямителей, кинематические погрешности механических передач, остаточная намагниченность элементов, температурная деформация и др.).

Схема СП, приведенная на рисунке 1.2, может быть существенно усложнена, если в СП ввести устройства, позволяющие осуществлять контролируемые изменения свойств СП в зависимости от условий его работы. Подобные приспособляющиеся (адаптивные) СП можно построить таким образом, что они могут производить самоанализ успешности контролируемых изменений своих свойств, т.е. становятся **самонастраивающимися**.

Одна из основных задач, которую приходится решать конструктору при создании СП, – анализ динамики и синтез СП с требуемыми показателями качества (точность, запас устойчивости и др.), для чего необходимо располагать уравнениями основных элементов СП, и прежде всего уравнением его силовой части, которые во многих случаях могут быть описаны линеаризованными дифференциальными уравнениями довольно высокого порядка.

Анализ и синтез СП усложняется из-за необходимости учета упругих и тепловых деформаций, люфтов в механических передачах, учета ряда других нелинейностей (ограничение зоны линейности предварительного усилителя, ограничение момента или усилия, развиваемых исполнительными двигателями, наличие сухого трения в направляющих и подшипниках и др.), учета дискретного характера управления при использовании в составе приводов ЭВМ и другие факторы.

### 1.3. Структурные схемы цифровых СП

Современные тенденции развития промышленного автоматизированного производства привели к использованию технологического оборудования на основе агрегатно-модульной (блочно-модульной) компоновки, что в частности воплощается в концепции развития механотронных систем на базе цифровых следящих приводов (ЦСП) и управляющих ЭВМ [42].

В гибких производственных системах (ГПС) использование многообразных программируемых электронных устройств (от программируемых контроллеров до промышленных персональных компьютеров), управляющих цифровыми следящими приводами (сервоприводами), обеспечивает создание так называемых «электронно-настраиваемых систем», за счет которых ГПС способна выполнить собственную настройку для перехода на выпуск новой продукции. Такого рода перестройки, при наличии соответствующего программного обеспечения, могут производиться практически мгновенно. Управляемые микроконтроллерами ЦСП, объединенные в единую систему, могут быть выполнены в виде независимых автономных **механотронных модулей**.

Задачей механотронных систем является преобразование входной информации, поступающей с верхнего уровня управления, в целенаправленное механическое движение с управлением на основе принципа обратной связи.

В идеальном для пользователей варианте, механотронный модуль, получив на вход информацию о цели управления, будет выполнять с желаемыми показателями качества и точности заданное функциональное движение. Отсюда следует, что рабочие машины, созданные на базе таких модулей, по существу приобретают качество **самонастраивающихся машин**. В зависимости от количества ЭВМ и характера взаимодействия аппаратуры ЦСП с ЭВМ верхнего уровня управления различают структуры ЦСП с **централизованным и децентрализованным управлением**.

#### 1.3.1. Однокоординатный цифровой СП

СП, построенные на основе управляющих ЭВМ, трансформируются в **цифровые следящие приводы (ЦСП)**, состоящие из двух основных частей: **цифровой и непрерывной (аналоговой)** (рисунок 1.3) [52].

Входящая в состав ЦСП **управляющая ЭВМ (УЭВМ)** является основным элементом цифровой части СП. Она предназначена для преобразования информации о желаемом и текущем состояниях объекта регулирования в регулирующее воздействие, подаваемое на непрерывную часть и обеспечивающее достижение цели управления. УЭВМ служит для непосредственного управления в реальном времени аналоговыми исполнительными устройствами ЦСП, например, усилителем мощности (рисунок 1.2).

УЭВМ представляет собой дискретно действующее устройство и реализует некоторую систему алгоритмов цифрового управления. Они характеризуют требуемое преобразование информации в результате выполнения арифметических и логических операций с числами, с помощью которых кодируются данные о переменных состояниях и воздействиях, приложенных к элементам ЦСП. Благодаря этому, функции управления, которые в аналоговом СП обеспечиваются с помощью непрерывных корректирующих устройств, воспроизводятся в ЦСП программно.

Реализация алгоритмов управления обеспечивается двумя взаимосвязанными компонентами – аппаратным и программным обеспечением УЭВМ.

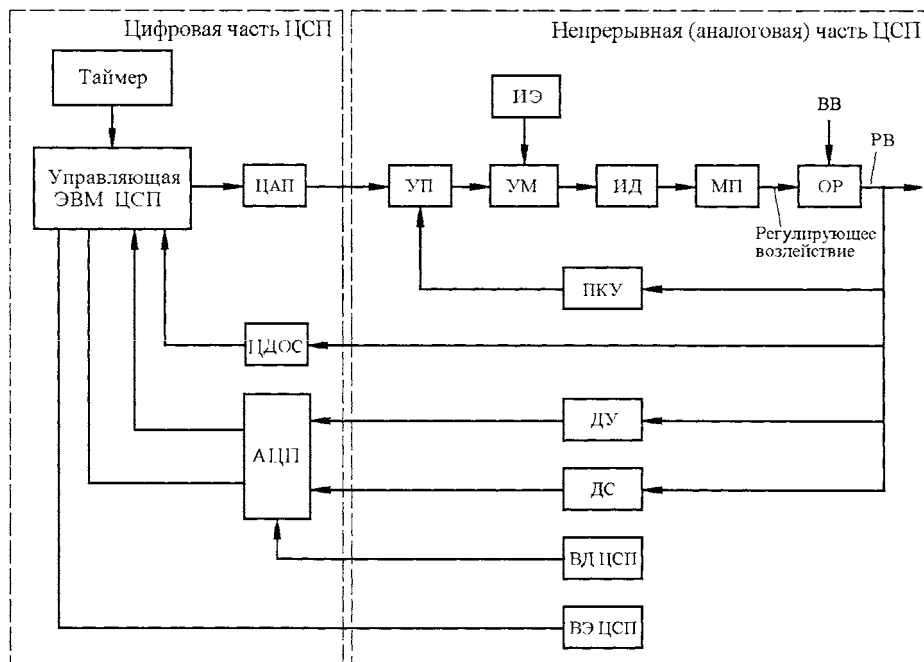


Рисунок 1.3 – Структура однокоординатного ЦСП:

ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь; ЦДОС – цифровой датчик обратной связи; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; ДУ – датчик ускорения; ДС – датчик скорости; ВД ЦСП – вспомогательные датчики ЦСП; ВЭ ЦСП – вспомогательные элементы ЦСП; УП – предварительный усилитель; УМ – усилитель мощности; ИЭ – источник энергии; ИД – исполнительный двигатель; МП – механическая передача; ОР – объект регулирования; ВВ – возмущающее воздействие; РВ – регулируемая величина; ПКУ – параллельное корректирующее устройство

Существенно важным элементом является **таймер**, необходимый для синхронизации во времени всех процессов, происходящих в ЦСП, и реализации цифрового управления в реальном времени.

Использование УЭВМ в составе ЦСП дает ряд преимуществ по сравнению с применением аналоговых средств регулирования. Цифровая система управления приводом обладает значительной функциональной гибкостью. УЭВМ позволяет получить ЦСП как multifunctionalное устройство, способное работать в нескольких режимах. Переключение режимов и изменение структуры и значений параметров программно реализуемых корректирующих устройств может осуществляться в широких пределах при неизменном составе аппаратных средств ЦСП. Это обеспечивает экономию времени и средств при проектировании, наладке, испытаниях и модернизации ЦСП.

Для ЦСП характерно использование многоразрядных цифровых ДОС, обладающих высокой разрешающей способностью. Обусловленная этим высокая точность измерения линейных и угловых координат, а также высокая точность вычислений, способность эффективно перерабатывать информацию, получаемую от цифровых и аналоговых датчиков, в сочетании с отсутствием влияния помех на формирование регулирующего воздействия и дрейфа, характерного для аналоговых устройств, позволяет отнести ЦСП к разряду высокоточных систем регулирования.

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)