

Министерство образования Российской Федерации

Ульяновский государственный технический университет

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД
МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ**

УЛЬЯНОВСК

Министерство образования Российской Федерации
Ульяновский государственный технический университет

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

Методические указания к выполнению контрольных заданий и
курсового проекта для студентов направления 18.04
«Электротехника ,электромеханика ,электротехнологии»

Составители : А.В. Коробко
И.Н. Белов

Ульяновск 2001

УДК 62-83.001.63(076)

ББК 31.291я7

A22

Рецензент канд.техн. наук Кузнецов А.В.

Одобрено секцией методических пособий

научно-методического совета УлГТУ

Автоматизированный электропривод металлорежущих станков :
A22 Методические указания к выполнению контрольных работ и
курсового проекта для студентов направления 18.04. /
Составители : А.В. Коробко, И.Н. Белов.- Ульяновск : УлГТУ,
2001. -74с.

Настоящие методические указания составлены для студентов
направления 18.04 всех форм обучения и содержат исходные данные
для выполнения контрольных заданий и курсового проекта с
различными вариантами , задания и методические указания для их
выполнения.

Работа выполнена на кафедре «Электропривод и автоматизация
промышленных установок»

УДК 62-83.001.63(076)

ББК 31.291я7

СОДЕРЖАНИЕ

Основные обозначения.....	4
Основные физические величины.....	6
1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.....	8
2. КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ.....	11
2.1. Выбор мощности главного электродвигателя	
фрезерно-сверлильно-расточного станка.....	11
2.2. Расчет параметров механического главного привода.....	18
2.3. Разработка функциональной и структурной схемы	
главного электропривода.....	20
2.4. Выбор электродвигателя подачи фрезерно-	
сверлильно-расточного станка.....	20
2.5. Выбор источника питания электродвигателя	
подачи.....	23
2.6. Расчет точности контурной отработки.....	24
3. КУРСОВОЙ ПРОЕКТ.....	28
3.1. Задание на курсовое проектирование.....	28
3.2. Варианты исходных данных и общие технические	
требования.....	35
3.3. Разработка технического задания.....	40
3.4. Методические указания к выполнению основных	
разделов проекта.....	42
3.5. Оформление курсового проекта.....	65
Приложения.....	66
Список рекомендуемой литературы.....	72

ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

МС – металлорежущий станок

МП – механический привод

ГП – главный привод

ПП – привод подачи

ЭДП , ЭДГ – электродвигатель подачи, главный (главного движения)

ЭПП , ЭПГ – электропривод подачи, главный (главного движения)

РЭП(СЭП) – регулируемый (следающий) электропривод

РР – режим резания

ПР – процесс резания

ДПТ – двигатель постоянного тока

ВД – вентильный двигатель

АД – асинхронный двигатель

ТПЯ , ТПВ – тиристорный преобразователь якоря, возбуждения

ШИП – широтно–импульсный преобразователь

ПЧ – преобразователь частоты

АИТ – автономный инвертор тока

АИН – автономный инвертор напряжения

УС – упругая система

САУР – система автоматического управления резанием

САУТО – система автоматического управления точностью обработки

СТД – система технической диагностики

СЧПУ – система числового программного управления

УЦИ – устройство цифровой индикации

МК – микроконтроллер

ЭА – электроавтоматика

РТ,РС,РП,РМ – регулятор тока, скорости, положения, момента

ФП – функциональный преобразователь

СИФУ – система импульсно–фазового управления

ДТ, ДС, ДП, ДПВ, ДМ, ДУ – датчик тока, скорости, положения,

проводимости вентиля, момента, усилия

НЗ – нелинейное звено

БЛ – блок логики

БЗ – блок защиты

БУ – блок управления

ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

Наименование	Обозначение	Размерность		Коэффициент приведения к системе СИ
		В отраслевой системе обозначений	В системе СИ	
1	2	3	4	5
1. Угловая частота вращения	n	об/мин	–	$\pi/30$
	ω	–	c^{-1}	1
2. Скорость поступательного движения	S	мм/мин	м/с	$10^{-4}/6$
3. Скорость резания	V	м/мин	м/с	1/60
4. Масса	m	кг	кг	1
5. Усилие	F	кГс	Н	9.81
6. Момент	M	кГс·м	Н·м	9.81
7. Мощность	P	кВт	кВт	1
8. Линейное перемещение по координатам	x, y, z	мм	м	0.001

9. Угловое перемещение	φ	Град	рад	$\pi/180$
10. Напряжение, э.д.с.	U, E	В	В	1
11. Сила тока	I	А	А	1
12. Электрическое сопротивление	R	Ом	Ом, $\text{м}^2 \cdot \text{кг} / \text{А}^3$	1
13. Электрическая емкость	C	Ф	Ф, $(\text{А} \cdot \text{с})^4 / (\text{м}^2 \cdot \text{кг})$	1
14. Индуктивность	L	Гн	Гн, $\text{м}^2 \cdot \text{кг} / (\text{А} \cdot \text{с})^2$	1
15. Частота	f ω	Гц –	– с^{-1}	2π 1
16. Постоянная двигателя	c	в·с, Н·м/А	в·с, Н·м/А	1
17. Момент инерции	J	$\text{кг} \cdot \text{м}^2$	$\text{кг} \cdot \text{м}^2$	1
18. Центральный момент инерции	$J_{\text{ци}}$	м^4	м^4	1

19. Угловое ускорение	ε	c^{-2}	c^{-2}	1
20. Линейное ускорение	a	m/c^2	m/c^2	1
21. Жесткость при вращательном движении	c_B	кг·м	Н·м	9.81
22. Жесткость при поступательном движении	c_{II}	кг/м	Н/м	9.81
23. Модуль упругости	G	кг/м ²	Н/м ²	9.81
24. Подача на зуб, оборот	S_z, S_0	мм/зуб, мм/об	м	0.001

1. Общая характеристика работы

Целью контрольных работ и курсового проектирования является приобретение навыков расчетов по автоматизированному электроприводу металлорежущих станков, обеспечивающих обработку заданных деталей с широким диапазоном типогабаритов инструмента на широкоуниверсальных тяжелых фрезерно–сверлильно-расточных станках.

В первой контрольной работе по заданным параметрам обрабатываемой детали необходимо рассчитать режимы резания для принятой технологии обработки, построить нагрузочную и технологическую диаграммы, выбрать ЭДГ и передаточное число редуктора, а также рассчитать годовую производительность станка для данной детали. Следует заметить, что требования задания и полученные результаты обосновывают применение регулируемого ЭДГ, причем кроме наиболее распространенного ДПТ наиболее перспективным является применение частотно-регулируемого АД. При недостаточном диапазоне регулирования ЭДГ во второй зоне при $P = \text{const}$ необходимо применить редуктор с переключаемыми ступенями, обеспечивающий нужный диапазон в соответствии с рассчитанной технологической диаграммой.

Во втором контрольном задании рассчитываются параметры главного МП, причем передаточное число двухступенчатого редуктора принимается минимальным из полученных результатов по заданию 1. Полученные значения резонансной частоты следует учитывать в задании 3.

В третьей контрольной работе необходимо разработать функциональную и структурную схемы ЭПГ в соответствии с выбранным типом ЭДГ и его рассчитанными параметрами. Для определения параметров структурной схемы нужно рассчитать и выбрать основные элементы силовой схемы преобразователя, после чего выбрать параметры регуляторов, построить частотные характеристики, переходные процессы по возмущающему воздействию и оценить полосу пропускания ЭПГ с учетом полученных результатов по заданию 2.

В четвертом задании в соответствии с полученными расчетными данными по п.1 необходимо выбрать наибольшее тяговое усилие, рассчитать усилие и мощность на быстром ходу, построить технологическую диаграмму $F(S)$, $M(\omega)$ и выбрать ЭДП. Также, как и в п.1 предпочтение следует отдавать регулируемым ВД и АД.

Пятая контрольная работа и требования задания аналогичны п.3:

разработка функциональной и структурной схем ЭПП, построение частотных характеристик и определение полосы пропускания СЭП, выбор основных параметров силовой схемы ЭПП и построение переходных характеристик по управляющему воздействию.

Шестое задание направлено на определение точности контурной обработки для заданных параметров детали и полученных результатов по п.1, а именно : расчет приводной ошибки, упругих деформаций инструмента для заданных по п.1 параметров, кинематической погрешности , люфта и ошибок, обусловленных погрешностью датчика.

Задачей курсового проекта является разработка функциональной и структурной схем САУР для черновых РР, расчет ее параметров с учетом полученных данных по контрольным заданиям 1–6, выбор способа реализации системы (аппаратная, программная) и ее основных элементов. Необходимо также рассчитать повышение точности обработки за счет уменьшения ошибок:

- а) приводной в 5 раз – путем соответствующего уменьшения темпа изменения задающего сигнала;
- б) упругих деформаций – за счет стабилизации усилия резания;
- в) кинематической, люфта и из-за износа инструмента – путем применения системы компенсации.

В заключительном разделе курсового проекта необходимо разработать алгоритм тестового диагностирования ЭП при пуске на максимальную скорость.

Начальными разделами курсового проекта являются технические требования в соответствии с результатами контрольных работ 1–6, разработка технического задания и расчетной части, выбор и обоснование выбора основных элементов системы.

2. Контрольные задания

2.1. Выбор мощности главного электродвигателя фрезерно-сверлильно-расточного станка

2.1.1. Чертеж обрабатываемой детали

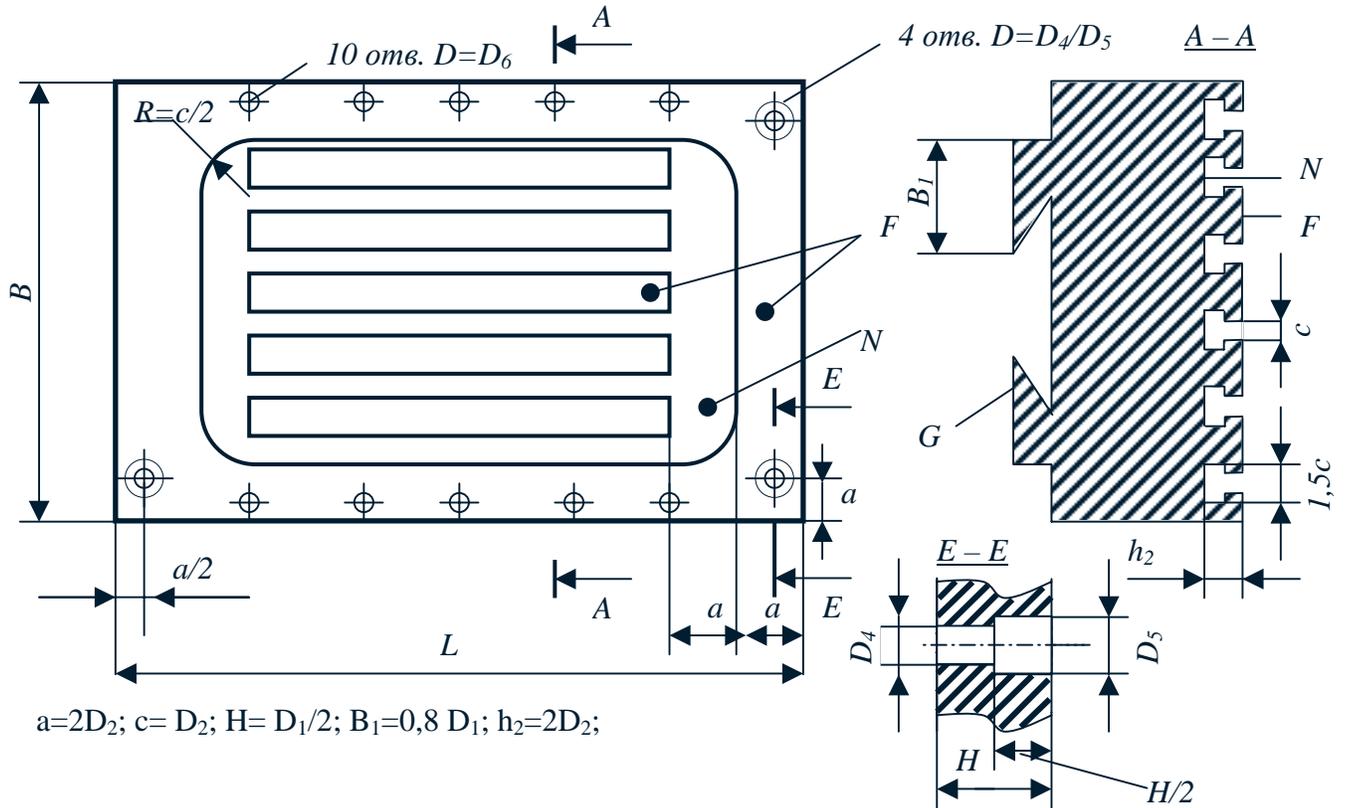


Рис.2.1.1

2.1.2. Технология обработки

Установка детали на опорную поверхность F – установка торцевой фрезы D_1 – торцевое фрезерование поверхности G направляющих – перестановка детали на опорную поверхность G – торцевое фрезерование поверхности F (в т. проходов, $m \approx B/b_1$) – установка концевой фрезы D_2 – фрезерование пазов и полостей до поверхности N в 10 проходов – установка концевой фрезы D_3 – фрезерование низа пазов до размера $1,5c = D_3$ – в 6 проходов – установка сверла D_6 – сверление 10 отверстий диаметром D_6 глубиной H – установка сверла D_4 – сверление 4-х отверстий D_4 глубиной H_1 – установка расточки D_5 – расточка 4-х отверстий диаметром D_5 глубиной $H/2$.

№ варианта Параметр	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$B \times L, м$	0.8x 1.2	0.8x 1.6	1x 1.6	1x 2.0	1.2x 1.6	1.2x 2.5	1.6x 2.5	1.6x 3.2	2.0x 3.5	2.0x 4.0	2.5x 5.0	2.5x 6.0	3.2x 6.0	3.2x 8.0	3.2x 10.0
$D_1, мм$	200	200	250	250	250	250	320	320	320	320	400	400	400	400	400
$h_1, мм$	5	6	6	7	8	9	8	9	10	12	12	14	16	18	20
$S_{z1}, мм /зуб$	0.3	0.25	0.35	0.3	0.4	0.35	0.5	0.48	0.45	0.4	0.6	0.55	0.5	0.45	0.4
$D_2, мм$	40	40	45	45	50	50	50	50	55	55	60	60	80	80	80
Z_1	14	14	18	18	18	18	24	24	24	24	28	28	28	28	28
Z_2	4	4	4	4	5	5	5	5	6	6	8	8	10	10	10
$S_{z2}, мм /зуб$	0.02	0.025	0.025	0.03	0.03	0.03	0.035	0.035	0.035	0.035	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05
$D_3, мм$	60	60	60	60	75	75	75	75	80	80	90	90	120	120	120
Z_3	4	4	4	4	5	5	5	5	6	6	8	8	10	10	10
$S_{z3}, мм /зуб$	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06
$D_4, мм$	25	25	25	25	30	30	30	30	35	35	35	40	40	40	40
$S_{o4}, мм /об$	0.2	0.25	0.3	0.4	0.35	0.4	0.45	0.5	0.45	0.5	0.6	0.7	0.6	0.8	1.0
$D_5, мм$	37	37	37	37	40	40	40	40	49	49	49	49	60	60	60
$S_{o5}, мм /об$	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	1.0	1.0	1.0
$D_6, мм$	6	6	6	6	8	8	8	8	10	10	10	10	12	12	12
$S_{o6}, мм /об$	0.2	0.25	0.3	0.35	0.25	0.3	0.35	0.4	0.3	0.35	0.4	0.45	0.4	0.45	0.5
$T_{o1}, мин$	$= D_1, мм$														
$T_{o2}, T_{o3}, T_{o4}, T_{o5}, T_{o6}$	$= 2D_i, мм$														
$H_2, мм$	$= 2D_2, мм$														
$h_3, мм$	$= D_2, мм$														
$b_3, мм$	$= (D_3 - D_2) / 2$														
$b_1, мм$	$= 0.8D_1$														
$h_5, мм$	$= H/2$														

№ варианта Параметр	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$B \times L, м$	0.6x 0.8	0.6x 1.0	0.6x 1.2	0.8x 1.0	0.8x 2.0	1.4x 2.0	1.4x 2.8	1.8x 3.0	1.8x 3.4	2.2x 3.8	2.8x 4.5	3.5x 6.0	3.5x 7.0	4x 8	4x 10
$D_1, мм$	125	125	125	150	150	200	200	250	250	320	320	400	400	630	630
$h_1, мм$	3.5	3.5	3.5	4	5	4	5	6	8	9	11	13	15	18	20
$S_{z1}, мм /зуб$	0.15	0.2	0.25	0.3	0.25	0.35	0.3	0.45	0.35	0.55	0.5	0.6	0.5	0.8	0.65
$D_2, мм$	25	25	25	32	32	32	32	40	45	45	45	50	55	60	80
Z_1	10	10	10	12	12	14	14	18	18	22	22	24	28	32	42
Z_2	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	5	6	8	10
$S_{z2}, мм /зуб$	0.03	0.035	0.04	0.035	0.04	0.045	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.1	0.12	0.15	0.2
$D_3, мм$	35	35	35	45	45	45	45	60	60	65	65	70	75	80	100
Z_3	4	4	4	4	4	4	4	6	8	8	8	8	8	10	10
$S_{z3}, мм /зуб$	0.035	0.04	0.045	0.05	0.055	0.06	0.065	0.12	0.15	0.15	0.18	0.2	0.2	0.2	0.25
$D_4, мм$	20	20	20	22	22	25	25	28	28	30	30	32	32	40	50
$S_{o4}, мм /об$	0.15	0.15	0.15	0.22	0.22	0.25	0.28	0.28	0.3	0.3	0.35	0.4	0.55	0.6	0.8
$D_5, мм$	30	30	30	30	32	35	35	36	36	40	40	42	45	50	60
$S_{o5}, мм /об$	0.35	0.37	0.4	0.37	0.4	0.42	0.45	0.45	0.5	0.5	0.55	0.55	0.6	0.7	0.8
$D_6, мм$	5	5	5	6	6	6	7	7	7	8	8	9	9	10	12
$S_{o6}, мм /об$	0.15	0.18	0.2	0.18	0.2	0.25	0.25	0.3	0.35	0.35	0.4	0.4	0.45	0.5	0.55
$T_{o1}, мин$	$= D_1, мм$														
$T_{o2}, T_{o3}, T_{o4}, T_{o5}, T_{o6}$	$= 2D_i, мм$														
$H_2, мм$	$= 2D_2, мм$														
$h_3, мм$	$= D_2, мм$														
$b_3, мм$	$= (D_3 - D_2) / 2$														
$b_1, мм$	$= 0.8D_1$														
$h_5, мм$	$= H/2$														

2.1.4. Задание

2.1.4.1. Выбрать габарит стола для обработки детали.

2.1.4.2. По заданной стойкости T_{oi} и параметрам режима D_i , Z_i , S_{oi} (S_{zi}), h_i , b_i рассчитать оптимальную скорость резания V_{oi} (м/мин), обороты шпинделя n_i (об/мин), минутную подачу S_i (мм/мин), мощность резания P_i (кВт), момент резания M_i (кНм), усилие окружное F_{oi} (кН), составляющие усилий по осям X, Y, Z, – F_{xi} , F_{yi} , F_{zi} .

2.1.4.2. Построить технологическую диаграмму нагрузки $P_i=F(n_i)$, $M_i=F(n_i)$ и выбрать двигатель с учетом редукции i .

Минимальная скорость $n_{min}=0,1n_i$; при этом $P_{min}=0,1P_i$.

2.1.4.3. Построить циклограммы $M_i(t_i)$ и $n_i(t_i)$ и проверить двигатель по нагреву методом эквивалентного момента. Момент холостого хода $M_{xx}=0,5M_{mini}$, пусковой момент $M_{пуск} = \lambda \cdot M_{ном}$. Время прохода $t_{pi} = L_{ni}/S_i$, время перехода $t_{пері} = L_{пері}/S_{бх}$, время смены инструмента $t_{си} = D_{i[мм]}/200$ [мин], время смены (переустановки) детали $t_{сд} = 3V_k$ [мин], где V_k – ширина детали по к- му варианту в [м].

2.1.4.4. Определить время цикла обработки и годовую производительность $Q = T_{кал} \cdot K_{пот}/T_{ци}$ при 2-х сменной работе, 250 рабочих дней в году и коэффициенте потерь $K_{пот} = 0,75$;

$S_{бх} = 12$ м/мин.

2.1.5. Методические указания

2.1.5.1. Оптимальная скорость резания при фрезеровании:

$$V_{oi} = \left(\frac{C_T}{D_i^{yd} Z_i^{yz} h_i^{yh} S_{zi}^{ys} T_{oi}} \right)^{\frac{1}{y_v}} [м/мин]$$

$C_T - 2 \cdot 10^{13}$ торцевое фрезерование стали твердым сплавом;

$C_T - 2 \cdot 10^7$ концевое фрезерование стали быстрорезом;

$u_d = u_z = u_h = 0,25$; $u_s = 1$; $u_v = 5$; D_i, h_i – [мм]; S_i – [мм/зуб]; T_{oi} – [мин].

2.1.5.2. Обороты шпинделя:

$$n_i = V_{oi} \times \frac{1000}{\pi D_i} [\text{об/мин}]$$

2.1.5.3. Минутная подача:

$$S_i = S_{zi} z_i n_i [\text{мм/мин}]$$

2.1.5.4. Мощность резания при фрезеровании:

$$P_i = C_p z_i n_i h_i^{xh} \frac{b_i}{D_i} S_{zi}^{xs} [\text{кВт}]$$

$C_p - 5 \cdot 10^{-3}$ торцевое фрезерование стали твердым сплавом;

$C_p - 4 \cdot 10^{-3}$ концевое фрезерование стали быстрорезом:

$xh = 0,9$; $xs = 0,75$.

2.1.5.5. Оптимальная скорость резания при сверлении:

$$V_{oi} = \frac{C_v D_i^{y_d}}{T_{oi}^{y_v} S_{oi}^{y_s}} [\text{м/мин}]$$

$C_v = 7$; $y_d = 0,5$; $y_v = 0,125$; $y_s = 0,5$.

2.1.5.6. Момент резания при сверлении:

$$M_i = D_i^{1,9} S_{oi}^{0,8} [\text{Н} \cdot \text{м}]$$

2.1.5.7. Усилие подачи при сверлении:

$$F_{zi} = C_F D_i^{xd} S_{oi}^{xs} [H]$$

$C_F=400$; $xd=0,4$; $xs=0,75$.

2.1.5.8. Мощность резания при сверлении:

$$P_i = M_i \omega_i [Bm] \quad \omega_i = \frac{\pi n_i}{30} [rad/c]$$

2.1.5.9. Оптимальная скорость резания при точении:

$$V_{o5} = \frac{C_v}{T_{o5}^{yv} h_5^{yh} S_{o5}^{ys}} [M/мин]$$

$C_v=100$; $yh=0,2$; $yv=0,15$; $ys=0,5$.

2.1.5.10. Окружное усилие при точении (расточке):

$$F_{o5} = 2500 h_5^{xh} S_{o5}^{xs} V^{xv} [H]$$

$xh=0,2$; $xs=0,75$; $xv=0,1$ - твердый сплав.

2.1.5.11. Момент и мощность резания при точении:

$$M_5 = F_{z5} \frac{D_5}{2} [H \cdot m] \quad P_5 = M_5 \omega_5 [Bm]$$

2.1.5.12. Пример построения технологических диаграмм

Диапазон регулирования при $P=\text{const}$ $D_p=n_{\max}/n_0$ (рис.2.1.2):

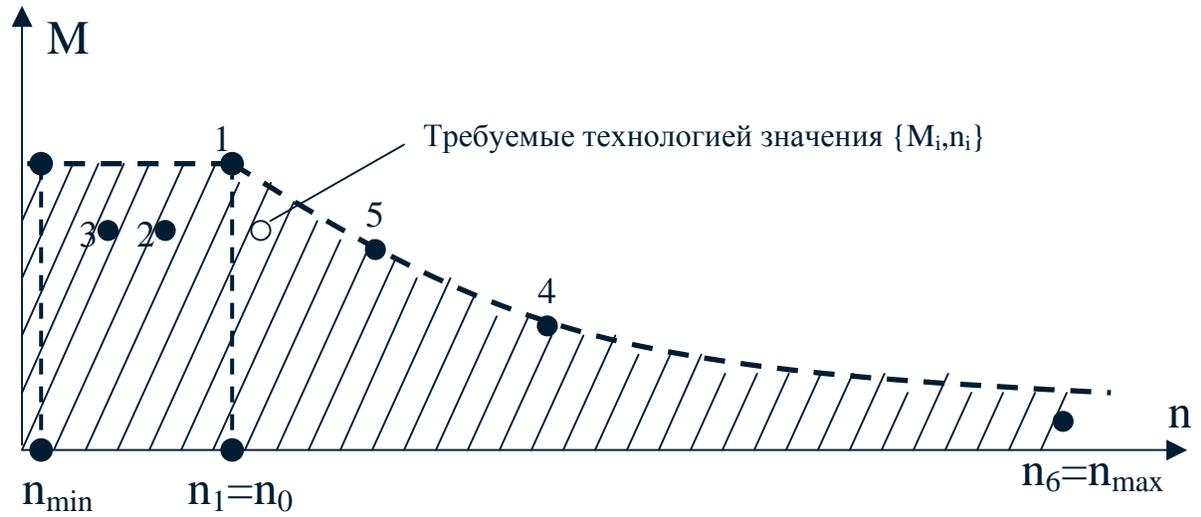
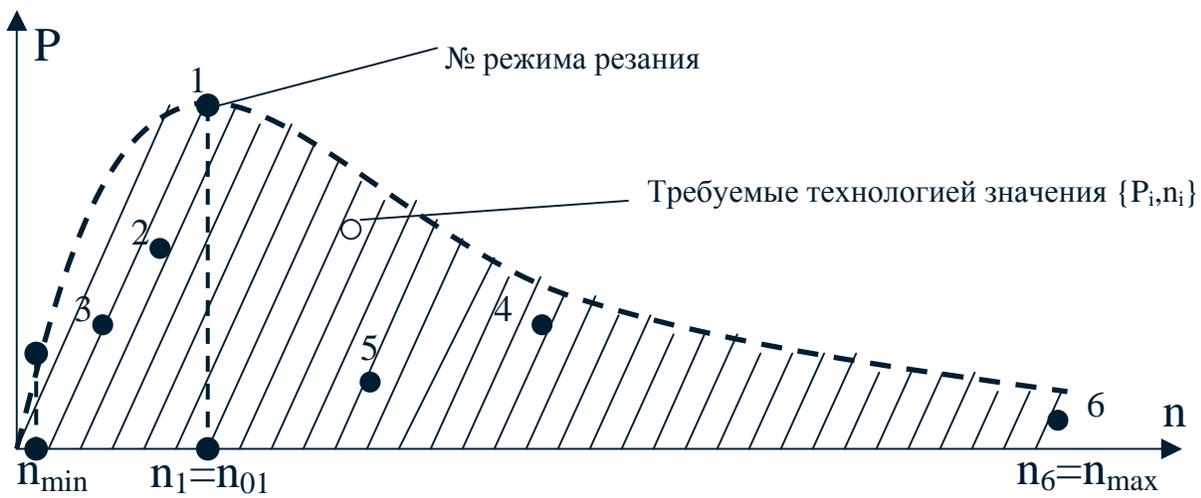


Рис.2.1.2

2.1.5.13. Пример построения нагрузочных диаграмм:

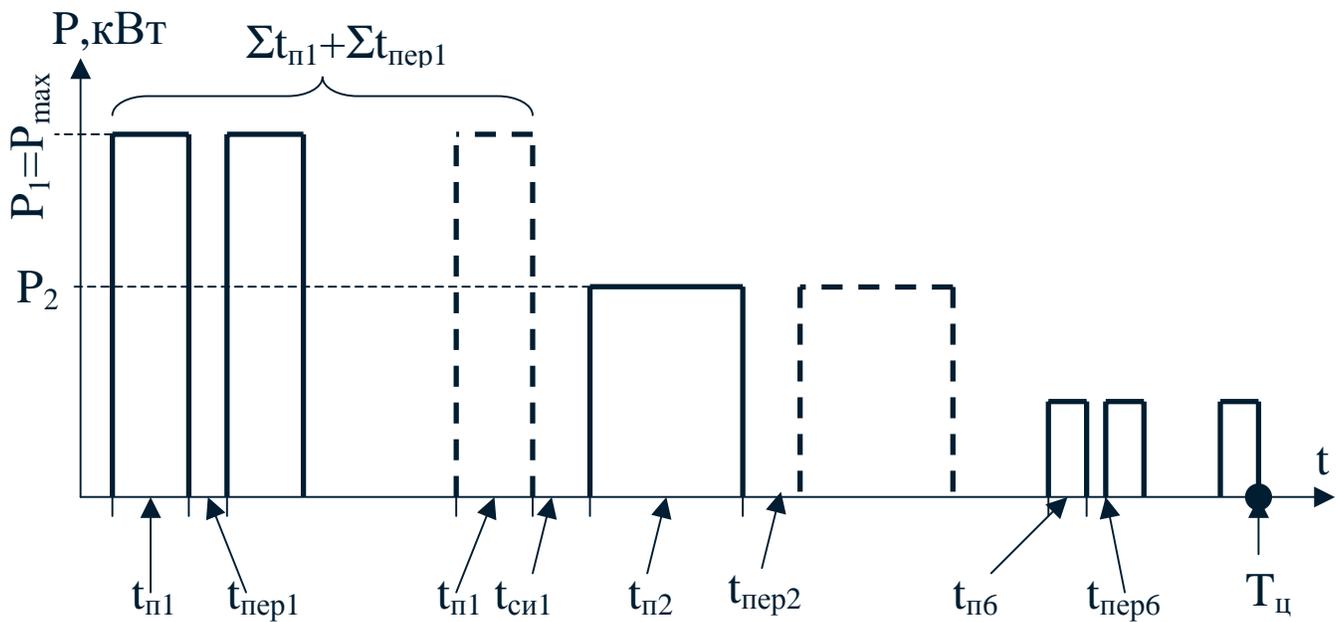


Рис.2.1.3

Если $\Sigma t_{п1} \geq 10$ мин., то номинальная мощность ЭД выбирается для продолжительного режима: $P_n \geq P_{max} = P_1$.

Если $\Sigma t_{п1} < 10$ мин., то P_n ЭД выбирается методом эквивалентной мощности:

$$P_n \geq P_{экр} = \sqrt{\frac{\sum P_i^2 \cdot t_{ni} + \sum P_{xx} \cdot t_{неп1}}{T_{ц}}} \geq \frac{P_{max}}{\lambda}$$

$P_{экр} \geq P_2$, где $\lambda \approx 1,5$ – коэффициент перегрузочной способности ЭП по току (моменту, мощности)

2.2. Расчет параметров механического главного привода

2.2.1. Чертеж одноступенчатого редуктора шпиндельного узла

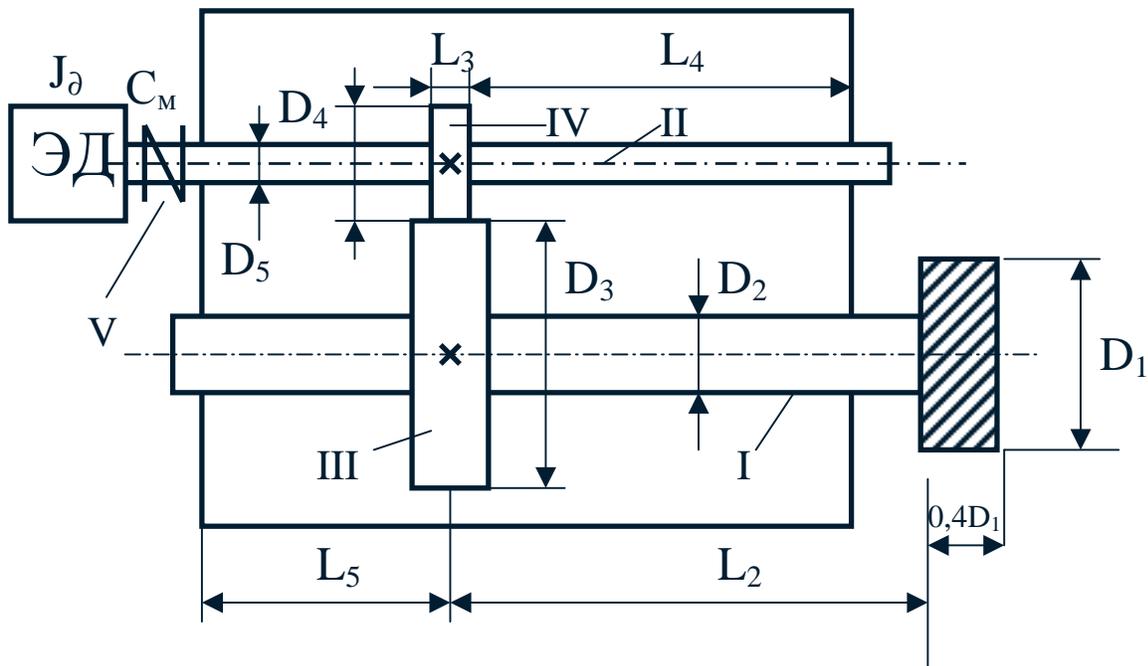


Рис.2.2.1

$$L_2 = 2,5D_3; L_4 = 2D_3; L_5 = 2D_3; L_3 = 0,4D_4;$$

I, II – валы; III, IV – шестерни; V – соединительная муфта

Таблица 2.4.1

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Параметр															
$D_4, мм$	60	60	80	80	90	90	100	100	120	120	130	130	150	150	150
$10^7 \times C_M, Н \cdot м$	4	5	5	6	6	5	6	7	7	8	7	8	9	8	10

2.2.2. Задание

2.2.2.1. Рассчитать диаметры валов I, II исходя из требуемой жесткости:

$$C_2 \geq 10^6 \text{ н} \cdot \text{м} \quad C_1 \geq 5 \cdot 10^6 \text{ н} \cdot \text{м}$$

Диаметр ведомой шестерни:

$$D_3 = D_4 i \text{ (м)}$$

i – передаточное число редуктора (по п.2.1) по условию $i = i_{\min} = i_2$.

Диаметр ведущего вала:

$$D_5 = \sqrt[4]{\frac{64 C_1 D_3}{\pi G}} [M]$$

$G = 8 \times 10^{10} \text{ н/м}^2$ – модуль упругости

Диаметр ведомого вала:

$$D_2 = \sqrt[4]{\frac{80 C_2 D_3}{\pi G}} [M]$$

2.2.2.2. Рассчитать моменты инерции элементов, приведенных к ведущему и ведомому

валам:

Момент инерции элемента:

$$J_i = \gamma \frac{\pi}{32} l_i D_i^4 [\text{кг} \cdot \text{м}^2],$$

где $\gamma = 7800 \text{ кг/м}^3$ – удельная плотность стали.

$$J_1' = J_1 + J_2 + J_3$$

$$J_2' = J_4 + J_4 + J_5$$

2.2.2.3. Рассчитать суммарную жесткость передачи:

$$C_{\Sigma}^{-1} = C_1^{-1} + C_2^{-1} + C_m^{-1} [\text{н}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}]$$

2.2.2.4. Определить резонансную частоту редуктора:

$$\omega_{рез} = \sqrt{\frac{C_{\Sigma} (i^2 J_2' + J_1')}{i J_1' J_2'}} [с^{-1}]$$

2.3. Разработка функциональной и структурной схемы главного электропривода

2.3.1. В соответствии с выбранным типом ЭД выбрать преобразователь, обеспечивающий 2-х зонный закон регулирования скорости.

Рассчитать параметры силовой схемы. Разработать функциональную и структурную схемы ЭПГ.

Наиболее перспективный вариант ЭПГ – ПЧ–АД . Приемлима система с ЭДП.

2.3.2. Пользуясь методом подчиненного регулирования, определить параметры регулирования тока и скорости; построить частотные характеристики и оценить полосу пропускания системы ω_n .

Оценить возможность пренебрежения упругим звеном при $\omega_{рез} > 5\omega_n$.

2.3.3. Построить переходные функции тока и скорости ЭП по возмущающему воздействию.

2.4. Выбор электродвигателя подачи фрезерно-сверлильно-расточного станка

2.4.1. В соответствии с расчетными данными по п.2.1 определить тяговые усилия, моменты на винте и ЭДП при резании и на быстром ходу. По полученным значениям рабочей подачи при резании и подачи быстрого хода рассчитать мощность ЭПП, выбрать передаточное

число редуктора и ЭДП. Проверить пусковой момент ЭДП на усилие трогания с места с учетом редукции и шага винта.

2.4.2. Исходные данные

Таблица 2.4.2

№ варианта	1 – 5	6 – 10	11 – 15
Шаг винта t_b , мм/об	10	20	40
η_b	0,9	0,85	0,75
Скорость быстрого хода S_{bx} , м/мин	10	12	15
Коэффици- ент трения μ	0,05	0,07	0,08

2.4.3. Методические указания

2.4.3.1. Наибольшее тяговое усилие ЭДП при резании:

$$F_P = F_{XMAX} + \mu(Q + F_{ZMAX} + 0,2F_{YMAX}) + b_{sp} [H],$$

где F_{XMAX} , F_{ZMAX} , F_{YMAX} – наибольшие усилия по координатам x, y, z станка;

$Q = q (m_{CT} + m_{ДЕТ}) [H]$ – вес стола с деталью; $q = 9,81 м/с^2$ – ускорение свободного падения;

$b \cong 10^4 Н \cdot с / м$ – коэффициент вязкого трения.

Масса детали $m_{дет}$ приближенно рассчитывается по данным чертежа детали п. 2.1, масса стола $m_{ст}$ определяется по данным таблицы 2.4.3 в соответствии с выбранными шириной $B_{ст}$ и длиной $L_{ст}$ стола.

Таблица 2.4.3

$B_{ст}, м$	1	1,2	1,5	2	2,5	3	4	5
$L_{ст}, м$	1,5/2	2/2,5	2/3	3/4	4/5	6/8	8/10	10/12
$2B_{напр}, м$	0,3	0,32	0,36	0,4	0,45	0,48	0,52	0,55
$m_{ст}, Т$	2,8/3,6	4,3/5,4	6,6/10	15/20	25/30	50/60	85/10	120/140

2.4.3.2. Усиление подачи на быстром ходу:

$$F_{бх} = \mu Q + bS_{бх} [Н].$$

2.4.3.3. Мощность ЭДП:

$$P_P = F_P \cdot S_P [кВт];$$

$$P_{БХ} = F_{БХ} \cdot S_{БХ} [кВт],$$

где $F_P, F_{БХ}$, принимается в [кН], $S_P, S_{БХ}$ в [м/ с].

Мощность ЭДП принимается:

$$P_H \geq P_P ; P_H \geq P_{БХ} .$$

В соответствии с выбранной номинальной скоростью двигателя $\omega_1 = \omega_H$, заданным шагом винта t_b и полученной угловой скоростью винта ω_2 определяется передаточное число

$$\text{редуктора: } \omega_{2\max} = 2\pi \cdot S_{БХ} / t_b [с^{-1}],$$

где $S_{БХ}$ принимается в [м/ с], а t_b – в [м];

$$i = \omega_H / \omega_{2\max} .$$

2.4.3.4. Проверка на трогание с места

Усилие трогания:

$$F_{\text{трог}} = \beta \cdot S_H [Н],$$

где $\beta \cong 0,5 \text{ Н/ см}^2$ – коэффициент сухого трения при подаче $S = 0$; S_H – площадь направляющих по табл. 2.4.3:

$$S_H = 2B_{напр} \times L_{ст} [см^2].$$

Момент трогания на винте:

$$M_{2\text{трог}} = F_{\text{трог}} \cdot t_b / 2\pi\eta_b \text{ [Н} \cdot \text{м]}.$$

Момент трогания на ЭДП:

$$M_{1\text{трог}} = M_{2\text{трог}} / i \leq \lambda M_H,$$

где λ – коэффициент перегрузки ЭДП.

2.4.3.5. Качественный вид нагрузочной диаграммы приведен на рис.2.4.3.

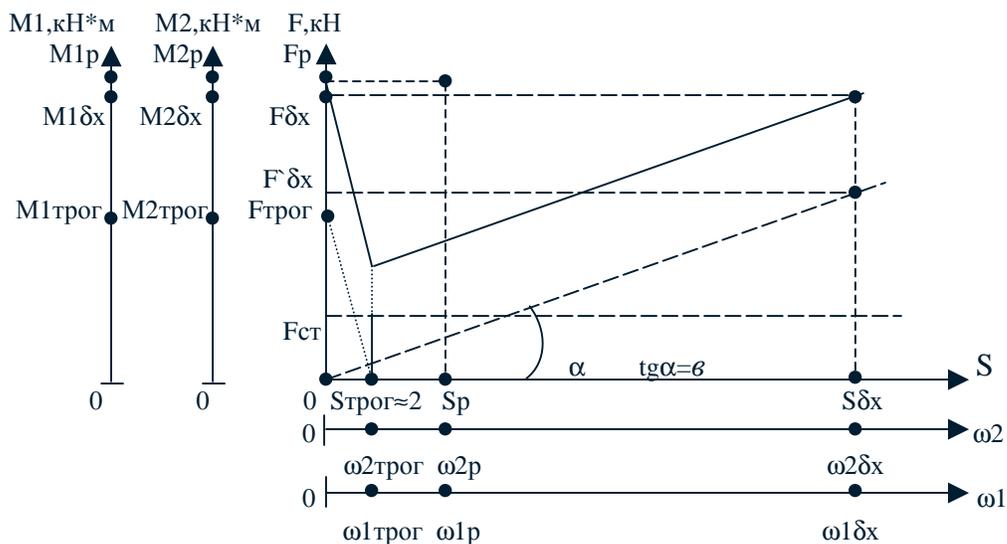


Рис.2.4.3

2.5. Выбор источника питания электродвигателя подачи

2.5.1. Задание

В соответствии с выбранным типогабаритом ЭДП выбрать источник питания и рассчитать параметры силовой схемы.

Наиболее приемлимые варианты ТП–ДПТ, ШИП–ДПТ, ПЧ–АД (возможные варианты исполнения ПЧ–АИТ, АИН–ШИП), управляемый выпрямитель УВ – инвертор И – вентильный двигатель ВД.

Рассчитать коэффициенты обратных связей по току, скорости и положению исполнительного органа. В качестве датчика перемещения принять круговой фотоэлектрический датчик на валу ЭДП. Для заданной дискреты перемещения $\Delta l \leq 1 \text{ МкМ}$ рассчитать число импульсов на оборот датчика и максимальную частоту при $S=S_{\text{бх}}$.

Разработать функциональную и структурную схемы ЭПП и рассчитать параметры регуляторов тока, скорости и положения. Определить частотные характеристики, полосу пропускания и переходные функции ЭПП по управляющему воздействию .

2.6. Расчет точности контурной обработки

2.6.1. Задание

В соответствии с приведенным чертежом по рис.2.6.1 детали рассчитать максимальные значения приводной ошибки $\Delta_{\text{пр}}$, упругой деформации Δ_y , ошибку датчика $\Delta_g = \Delta l_d$, ошибку «мертвого хода» (люфта) $\Delta_l \cong t_b / 1000$ [мм] для участков обработки I–V.

Геометрические размеры инструмента принять по режиму 2 для задания 2.1, ширина фрезерования $b_2 = R_2 = D_2 / 2$, глубина фрезерования $h_2 = D_2$, плечо изгибающего усилия концевой фрезы $l_n = 2D_2$, минутная контурная подача $S_k = S_2$.

Рассмотреть возможность уменьшения суммарной контурной ошибки.

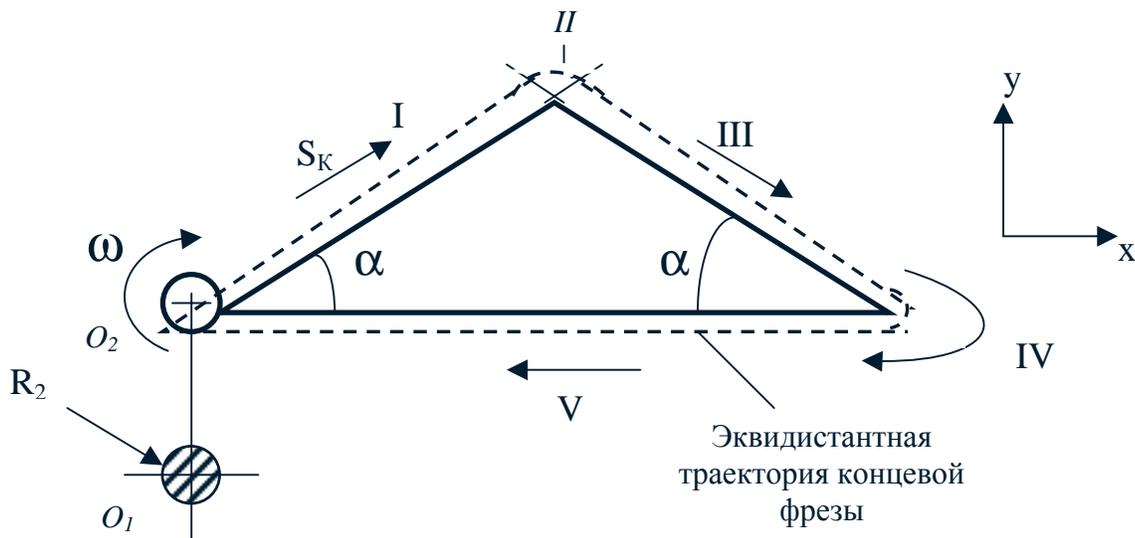


Рис.2.6.1

№ Варианта	1-5	6-10	11-15
α , град	30	45	60

2.6.2. Методические указания

2.6.2.1. Расчет приводной ошибки

Приводная ошибка появляется вследствие резких изменений сигнала задания на входе контура скорости ЭПП. Контурная скорость S_k определяется режимом резания, составляющие скоростей подач по координатам x , y :

$$S_x^2 + S_y^2 = S_k^2.$$

Например для участка 0_1-0_2 движение происходит по координате y со скоростью $S_{y0} = S_k$; на участке I $S_{y1} = S_k \sin\alpha$; $S_{x1} = S_k \cos\alpha$ и т.д. Таким образом, при переходе от участка 0_1-0_2 к участку I скорость подачи по координате x увеличивается от 0 до $S_x = S_{x1} = S_k \cos\alpha$, а по координате y уменьшается от значения $S_{y0} = S_k$ до $S_{y1} = S_k \sin\alpha$.

Характерные изменения приводных ошибок при этом иллюстрируются на рис.2.6.2.

Время $T_0 = t_1 - t_0$ при настройке контура скорости на технический оптимум определяется примерным соотношением $T_0 \cong 4,7T_{\mu c}$, где $T_{\mu c}$ – малая некомпенсированная постоянная времени контура скорости. Если в контуре тока наименьшая некомпенсируемая постоянная времени преобразователя $T_{\mu t} \cong 2T_{\mu}$, то $T_{\mu c} \cong 4T_{\mu}$.

В случае 3-фазного мостового управляемого выпрямителя $T_{\mu} \cong 0,0017c$,
 $T_{\mu c} \cong 0,0068c$, $T_0 \cong 0,032c$.

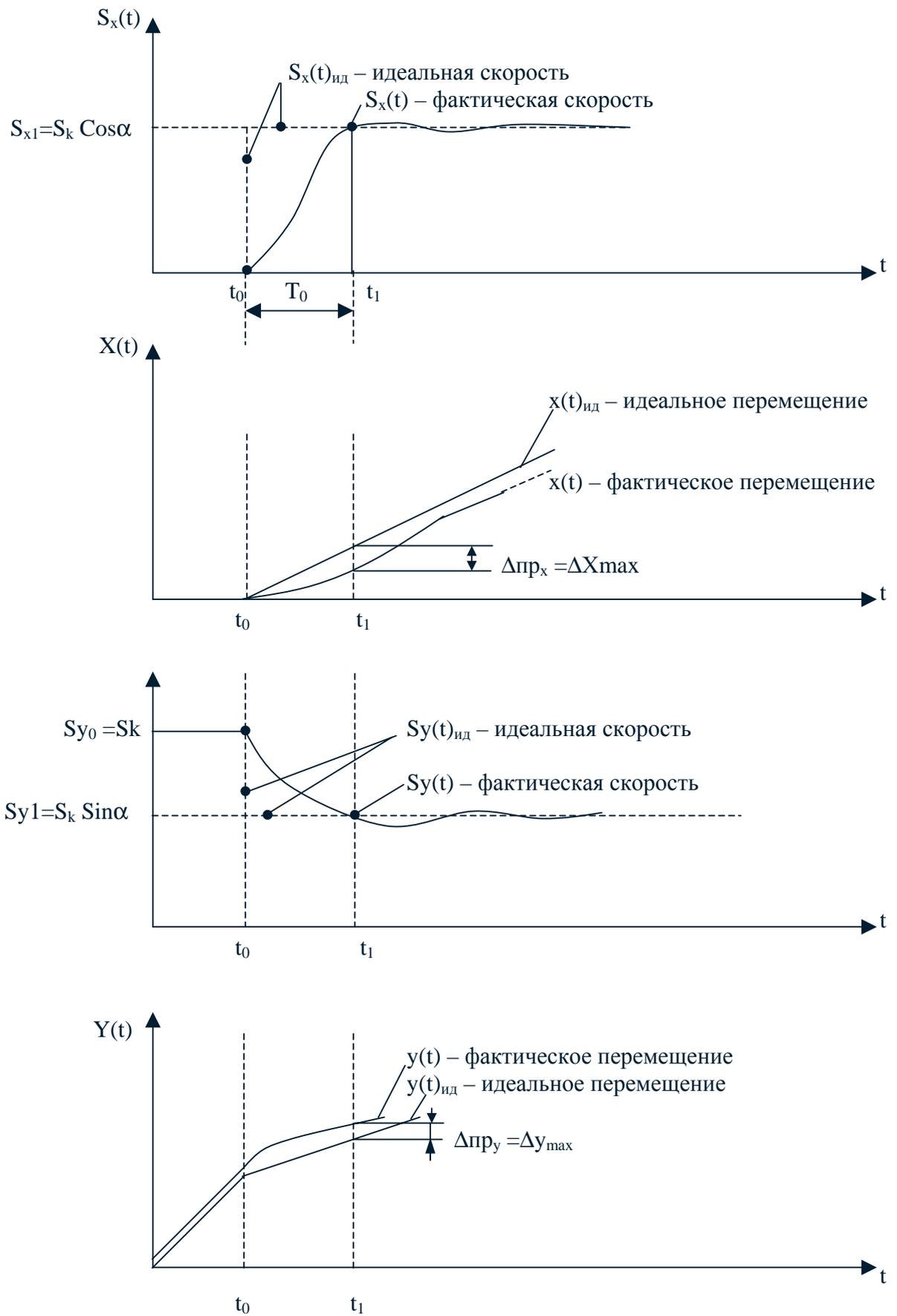


Рис. 2.6.2

Направление вектора результирующей ошибки $\Delta_{\text{прmax}}$ должно отсчитываться по нормали к обрабатываемой поверхности (рис.2.6.3).

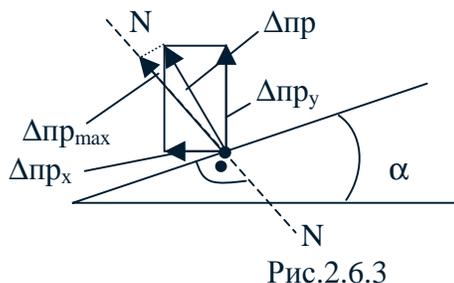


Рис.2.6.3

2.6.2.2. Расчет ошибки упругих деформаций

Ошибка упругих деформаций образуется вследствие отжатия концевой фрезы от идеального обрабатываемого контура за счет изгибающего усилия F_N (рис.2.6.4).

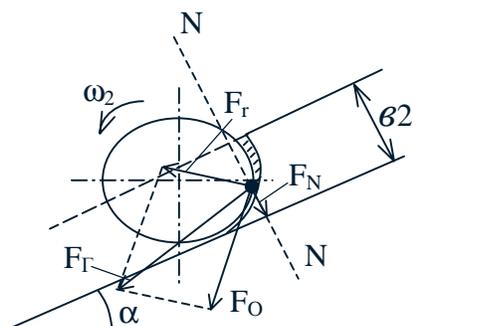


Рис 2.6.4

F_0 , F_{Γ} , F_{Γ} , F_N – окружное, радиальное, горизонтальное усилия и изгибающее усилие по нормали к обрабатываемой поверхности; N – N –нормаль.

Точку приложения окружного усилия F_0 можно принять $b \cong b_2 / 2 = D_2 / 4$.

Упругая деформация фрезы:

$$\Delta_y = F_N \cdot l_u^3 / 3EJ_{\text{цми}} \text{ [м]},$$

где $l_u \cong 2D_2$ – изгибающее плечо;

$E \cong 8 \cdot 10^{10}$ [Н/м²]- модуль упругости материала фрезы;

$J_{цми} = \pi \cdot R_2^4 / 2\sqrt{2}$ [м⁴] – центральный момент инерции круга (фрезы радиусом R_2).

2.6.2.3. Ошибка мертвого зазора (люфта)

Ошибка люфта образуется при реверсировании любой координаты за счет некомпенсированного проворота винта на заданное значение $\Delta\varphi = t_b \cdot 360 / 1000$ [град].

Очевидно, что направление ошибки Δ_l всегда противоположно направлению скорости реверсируемой подачи после реверса.

2.6.2.4. Ошибка датчика

Ошибка датчика образуется за счет возможной неотработки одной дискреты датчика системного управления.

Т.к. по условию задания применяется круговой импульсный датчик угла на валу ЭДП, то соответствующие значения ошибок на валу ЭДП, валу винта и линейного перемещения равны:

$$\Delta\varphi_1 = 360^\circ / N \text{ [град];}$$

$$\Delta\varphi_2 = \Delta\varphi_1 / i \text{ [град];}$$

$$\Delta g = \Delta\varphi_2 t_b / 360 \text{ [град],}$$

где N – число импульсов датчика на оборот; i – передаточное число редуктора ЭПП.

3. Курсовой проект

3.1. Задание на курсовое проектирование

Курсовой проект нацелен на разработку по результатам выполненных контрольных заданий и дополнительных технических требований систем автоматического управления станком, предназначенных для повышения производительности (САУР), точности (САУТО) и надежности (СТД) обработки .

3.1.1. При разработке САУР необходимо решить следующие вопросы:

- а) разработка подробной функциональной схемы с учетом заданных техническими требованиями способа реализации (программно–аппаратная, аппаратная), типов датчиков обратных связей (тока , момента, мощности, усилия) и выбранной элементной базы;
- б) разработка структурной схемы и расчет передаточных функций системы;
- в) синтез системы и расчет динамических характеристик (частотных и временных);
- г) разработка принципиальных схем датчиков обратных связей и системы управления (для программно–аппаратной реализации системы управления– алгоритмов управления);
- д) расчет повышения производительности обработки.

Расчет САУР следует вести для наиболее энергоемкого черного режима резания (режим 1 по заданию 1) с учетом заданных вариаций припуска обработки.

Обобщенная функциональная схема САУР приведена на рис.3.1.1, где приняты обозначения: РМ (Р,У) – регулятор момента (мощности, усилия) резания; ДОС (Т, М, Р,У) – датчики обратных связей (тока, момента, мощности, усилия); УОС – усилитель обратной связи; U_0, U_s, U_ω – задающие напряжения РМ (Р,У), ЭПП,ЭПГ; M_Π, M_Γ – моменты сопротивления ЭПП,ЭПГ; F_p, M_p, P_p – усилие, момент, мощность резания; $U_{S \max}$ – граничное напряжение ЭПП для заданного P_p , пропорциональное $S_{\max} = S_{z \max} \cdot z \cdot n_p$ ($n_p = 30 \cdot \omega_p / \pi$); $q, \Delta M_p$ – возмущения от изменения припуска q и M_p .

Вариации припуска обработки $q = h \cdot b / D$ по длине прохода заданны нормальным законом распределения (рис.3.1.2). Обозначения к рис.3.1.2:

$q_{\min}, q_{\max}, q_{cp} = m_q$ – минимальный, максимальный, средний (математическое ожидание) припуск; $P(q)$ – плотность распределения припуска; σ – среднеквадратическое отклонение; $S_{\min}, S_{cp}, S_{\max}$ – минимальное, среднее и максимальное значение скорости подачи для достижения стабилизации $P_p = P_0 = \text{const}$ ($M_p = M_0 = \text{const}$) при $n_p = \text{const}$, $S \leq S_{\max} = S_{z \max} \cdot z \cdot n_p$.

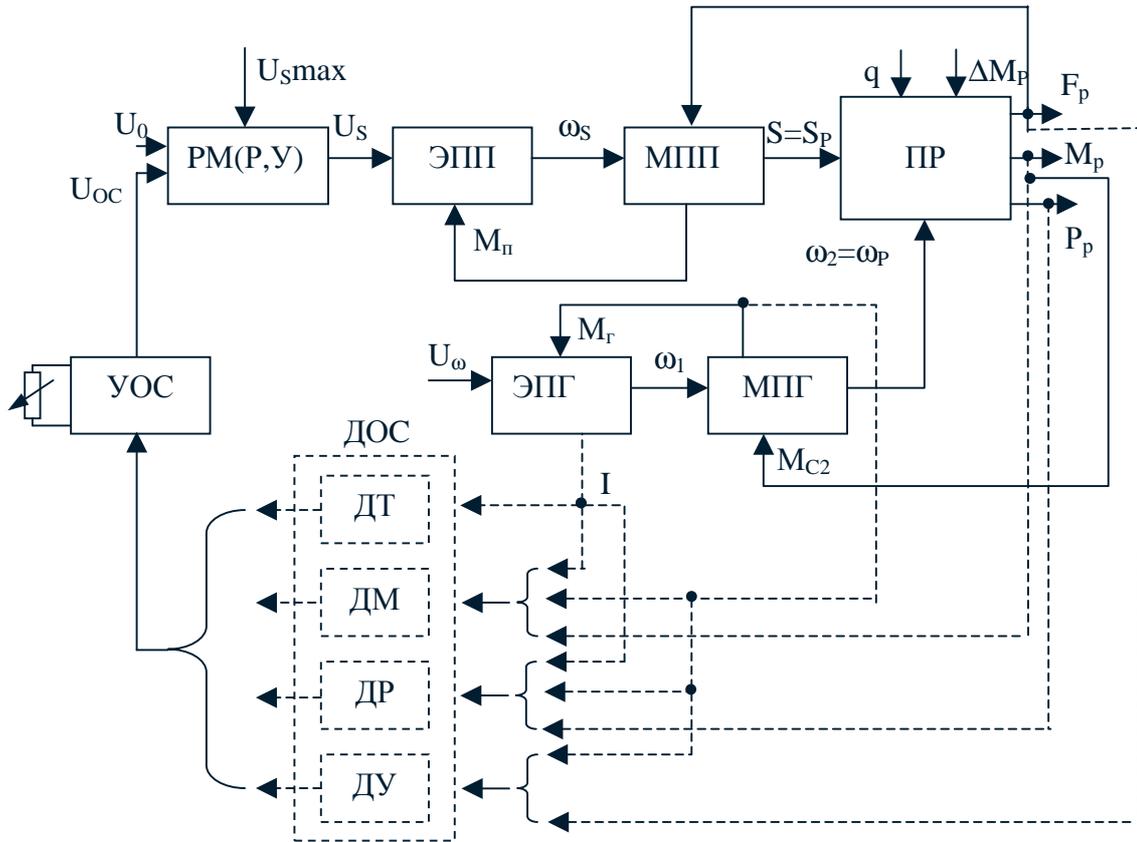


Рис.3.1.1. Обобщенная функциональная схема САУР

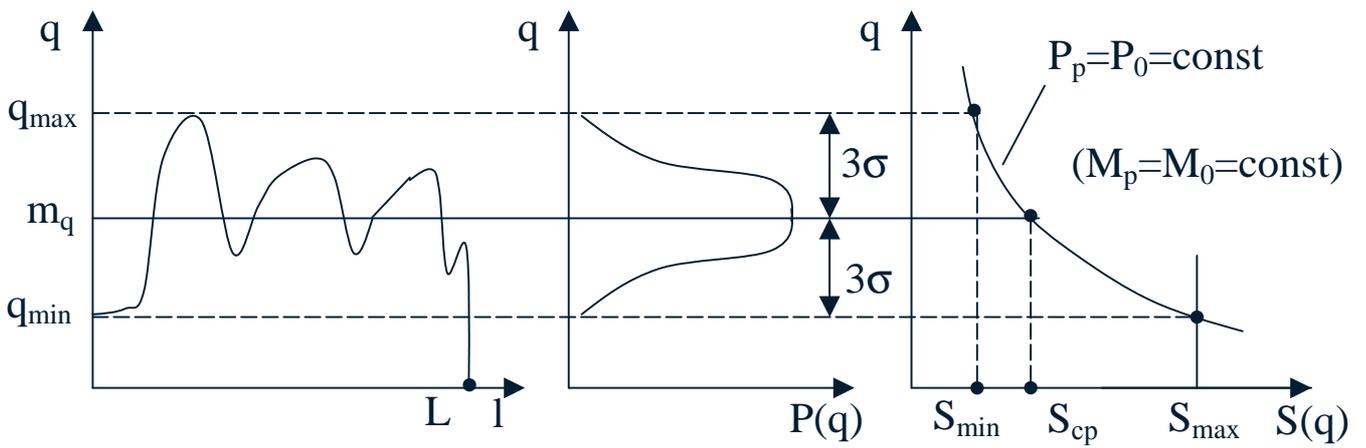


Рис.3.1.2. Распределение припуска обработки

Следует заметить, что при задании перерегулируемого РР технологом выбирается подача S_{\min} исходя из q_{\max} таким образом, чтобы выбранный силовой параметр резания $P_P (F_P, M_P)$ не превосходил заданного значения $P_0 (F_0, M_0)$ по условиям перегрузки ЭП (поломки МП, инструмента) или максимального упругого отжатия УС. Если стабилизировать $P_P = P_0 (M_P = M_0, F_P = F_0)$ путем регулирования $S_{\min} \leq S \leq S_{\max}$, то среднее значение подачи по контрольному заданию 2.1:

$$S_{cp1} = \left[\frac{P_0}{C_P \cdot (z_1 \cdot n_1)^{1-x} \cdot h_{cp1}^{xh} \cdot b_1 / D_1} \right]^{1/x_s} > S_{min1} = S_1,$$

за счет чего достигается повышение производительности.

Изменение уставки стабилизируемого параметра для других РР следует производить изменением коэффициента обратной связи УОС при опорном напряжении $U_0 = \text{const}$, т.к. меньшим типогабаритам инструмента соответствуют меньшие значения $P_0 (F_0, M_0)$ и среднего коэффициента передачи ПР. Поэтому для стабилизации статодинамических показателей САУР в целом, т.е. для всего разнообразия применяемых типогабаритов инструмента и РР, при уменьшении P_0 необходимо увеличивать k_{oc} .

Следующей существенной особенностью САУР является наличие периодических возмущений по моменту резания (соответственно по мощности, усилию) в ПР с частотой $\omega_p = \pi \cdot n_p / 30$ из-за биения инструмента. Отработка этих возмущений подачей нежелательна из-за периодического раскрытия люфта МПП и появления дополнительного источника возникновения вибраций станка. Т.к. частота ω_p для черновых режимов отработки, где применение САУР наиболее эффективно, обычно низка, то применение общепринятой коррекции демпфированием, т.е. подавлением коэффициента усиления системы на частоте ω_p , приводит к низким динамическим показателям при характерных режимах – «врезание» и «скачкообразный наброс припуска».

Поэтому кроме линейного РМ (Р,У), обеспечивающего требуемые показатели в статике, необходимо применить параллельный форсирующий канал регулирования для уменьшения динамических ошибок и , соответственно, перегрузок.

3.1.2. При разработке мер по обеспечению точности обработки необходима проработка следующего круга вопросов:

- а) уменьшение приводной ошибки, полученной в контрольном задании 2.6, в 5 раз путем соответствующего изменения темпа задающего сигнала;
- б) уменьшение ошибки из-за упругого отжатия фрезы при обработке «круга» из квадратной заготовки при стабилизации момента (мощности, усилия) резания путем регулирования контурной подачи. Уменьшение ошибки следует производить по профилаграммам обработанной детали с системой стабилизации и без нее, заданное значение стабилизируемого параметра принять равным значению, соответствующего минимальной упругой деформации при обработке без системы стабилизации;
- в) по заданному закону изменения кинематической ошибки и люфта по ходу винта разработать алгоритм компенсации ошибок и определить их уменьшение при обработке детали по п.3.1.2.б (центр детали совпадает с центром стола);
- г) по заданному закону изменения размерного износа режущей кромки фрезы от времени обработки h_p (t_p) разработать алгоритм компенсации ошибки из-за износа инструмента путем смещения эквидистанты и определить ее уменьшение по сравнению без системы компенсации при обработке детали по п.3.1.2.б.

Диаметр фрезы и режимы резания при контурной обработке принять равными диаметру D_2 и параметрам по контрольному заданию 2.1, размеры детали и заготовки – по рис. 3.1.3.

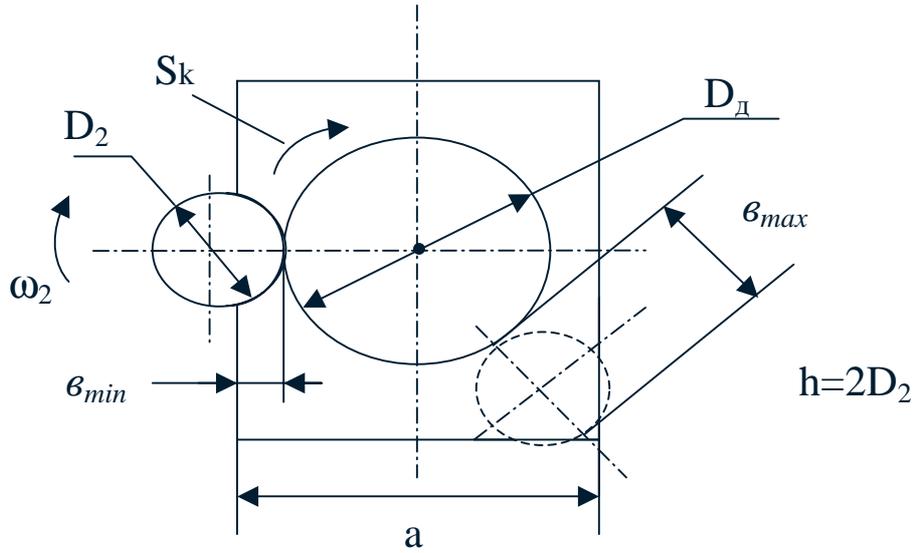


Рис.3.1.3. Геометрические параметры РР при обработке круга из квадратной заготовки

Качественные законы изменения кинематической ошибки $\Delta_K(l)$, люфта $\Delta_L(l)$ по длине хода винтов для координат x , y и размерного износа $\Delta_{ри}$ (t_p) от времени ($t_{pmax} = T_2$) резания приведены на рис.3.1.4, 3.1.5.

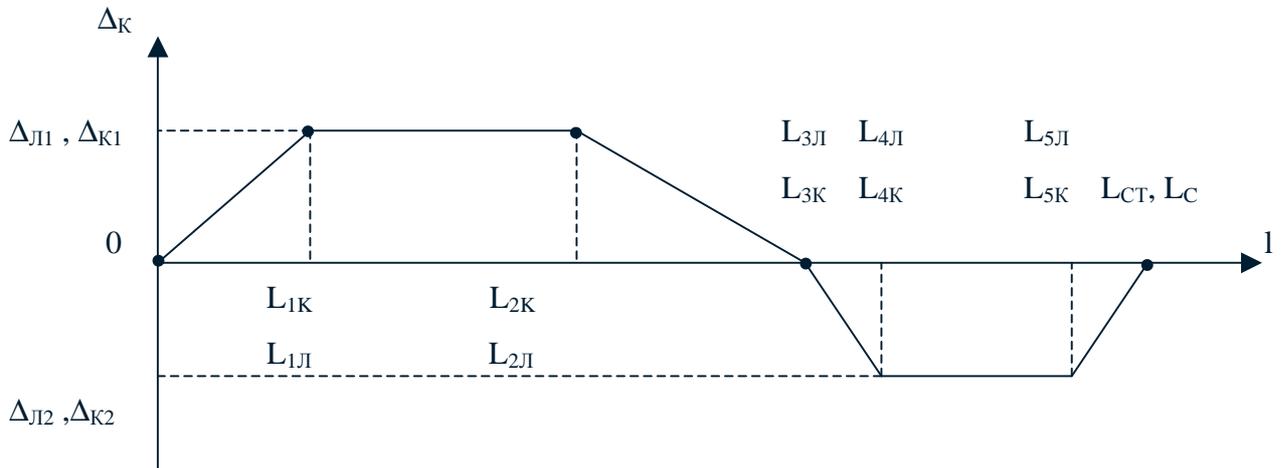


Рис.3.1.4. Изменение кинематической ошибки и ошибки люфта по длине хода стола и салазок

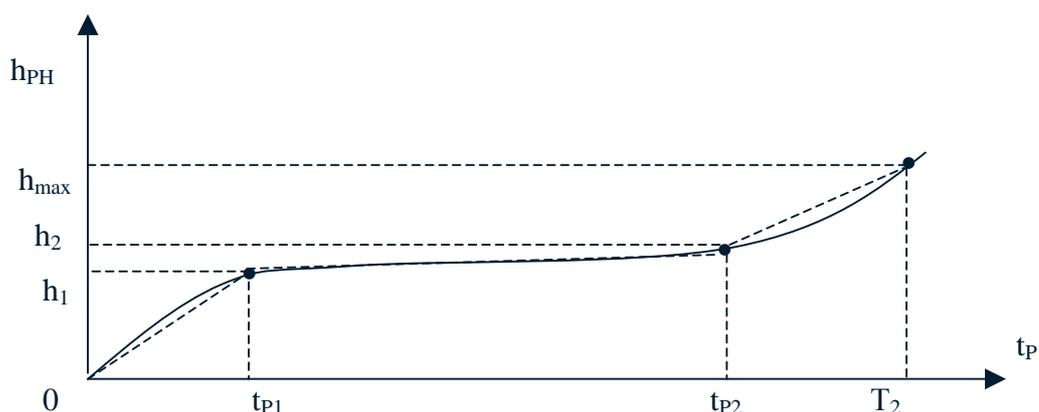


Рис.3.1.5. Изменение ошибки из-за размерного износа от времени обработки

3.1.4. Создание системы СТД предусматривает разработку 2-х алгоритмов тестового контроля: контроль кривых изменения тока и скорости ЭПГ и ЭПП при пуске на максимальную скорость. Эталонные кривые $\Gamma^3(t)$, $\omega^3(t)$ строятся расчетным путем по данным контрольных заданий 2.3, 2.5. Необходимо учесть, что при пуске на максимальную скорость некоторые элементы ЭП входят в насыщение, система становится нелинейной и кривые переходных процессов существенно отличаются от кривых для линейной системы.

Алгоритмы диагностики предусматривают выдачу 3-х команд по результатам теста: «Нормальная работа» (отклонение фактических значений $I(t)$, $\omega(t)$ в пределах $\pm 20\%$ от эталонных кривых), «Аттестация, поиск причины отклонения» (отклонение в пределах $+30 - 40\%$), «Аварийный останов, ремонт» (отклонение превосходит заданные пределы).

В расчете эталонных кривых тока необходимо учесть дополнительную инерцию фильтра нижних частот для сглаживания пульсаций тока.

Для всех случаев программной реализации алгоритмов управления предусматривается СЧПУ, МК или УЦИ со следующими данными: таймерный интервал – 10мс; максимальная разрядность ЦАП/ АЦП – 12 разрядов; предельное значение максимальной промежуточной величины в алгоритме управления, определяющей точность вычисления – одно 2-х

байтовое слово; среднее время выполнения одной логической или арифметической команды сравнения сложения/ умножения/ деления – 2мкс; среднее время вызова данных из ОЗУ/ ППЗУ – 1мкс; время для реализации сервисного алгоритма при обработке – не более 10% от времени таймерного интервала; дискретность линейного датчика перемещений – 5 мкм.

3.2.Варианты исходных данных и общие технические требования

3.2.1. Разработка САУР

Первичными данными для разработки САУР являются результаты расчетов контрольных заданий 2.1 – 2.5:

- коэффициенты передачи ЭПГ, ЭПП, МП, ПР по соответствующим входам/ выходам;
- аппроксимированные передаточные функции ЭПП, ЭПГ, полученные по переходным характеристикам заданий 2.3, 2.5 ;
- значения параметров ПР по заданию 2.1: P_1 , M_1 , F_{01} , S_1 , n_1 .

Для четных вариантов заданий предусматривается аппаратная реализация САУР, для нечетных – программно– аппаратная.

В вариантах 1-10, 20-25 в качестве датчика обратной связи задан датчик тока ЭПГ (косвенное измерение момента, мощности, усилия резания), 1-15– датчик момента (прямое измерение момента на шпинделе за счет использования магнитострикционного или тензометрического эффекта) , 16-20 – датчик мощности (косвенное измерение мощности путем перемножения тока и напряжения ЭДГ), 26-30 – датчик усилия (применение тензометрической промежуточной палеты между столом и деталью или другие известные способы измерения силы).

Значения остальных параметров приведены в таблице 3.2.1.

Таблица 3.2.1

№ варианта \ Параметр	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1. Среднеквадратическое отклонение $\sigma^* = \sigma/q_{\max}$	0.10	0.11	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12
2. Амплитуда периодического возмущения по моменту резания $\Delta M_p^* = \Delta M_p / M_o$	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.45	0.40	0.35	0.40	0.35	0.40
3. Коэффициент неравномерности подачи при отработке периодических возмущений $k_{HS} = \Delta S_{\max} / S_{\min}$	1.01	1.01	1.02	1.02	1.03	1.03	1.04	1.04	1.05	1.05	1.04	1.03	1.04	1.03	1.04
4. Статическая точность Δ , %	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	4	3	4	3	4
5. Припуск при врезании $q_{вр}$, мм	$q_{вр} = q_{ср} = m_q$														
6. Максимальное значение скачкообразного наброса припуска Δq_{\max} , мм	$\Delta q_{\max} = 2\sigma$														
7. Максимальное перерегулирование σ_{\max}	$\sigma_{\max} \leq 35\%$														

Таблица 3.2.1а

№ варианта / Параметр	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1. Среднеквадратическое отклонение $\sigma^* = \sigma/q_{\max}$	0.10	0.11	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12
2. Амплитуда периодического возмущения по моменту резания $\Delta M_p^* = \Delta M_p / M_o$	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.40	0.35	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.45	0.50
3. Коэффициент неравномерности подачи при обработке периодических возмущений $k_{hs} = S_{\max} / S_{\min}$	1.02	1.02	1.03	1.04	1.04	1.05	1.04	1.03	1.03	1.03	1.04	1.05	1.05	1.05	1.05
4. Статическая точность $\Delta, \%$	1	1	2	2	3	3	4	4	3	3	2	2	3	4	5
5. Припуск при врезании $q_{вр}, \text{мм}$	$q_{вр} = q_{ср} = m_q$														
6. Максимальное значение скачкообразного наброса припуска $\Delta q_{\max}, \text{мм}$	$\Delta q_{\max} = 2\sigma$														
7. Максимальное перерегулирование σ_{\max}	$\sigma_{\max} \leq 35\%$														

3.2.2. Разработка САУТО

Первичными исходными данными при разработке мер по повышению точности являются результаты задания 2.6:

- значение приводной ошибки привода;
- параметры частотной характеристики ЭПП;
- технологические параметры РР (режим 2 по заданию 2.1).

Геометрические параметры обрабатываемой детали (круга) и заготовки (квадрата):

$$D_d = 4D_2 ; b_{\min} = D_2 / 2 ; a = 5D_2 ; h_2 = 2D_2 .$$

Значения остальных параметров приведены в табл.3.2.2.

Таблица 3.2.2

№ варианта / Параметр	1-5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30
$\Delta K_1, \text{МКМ}$	200	250	300	250	350	300
$\Delta K_2, \text{МКМ}$	250	200	250	300	300	350
$L_{K1}, \text{М}$	0.1	0.5	1.0	0.1	0.4	1.0
$L_{K2}, \text{М}$	0.4	1.6	3.0	0.4	1.0	3.0
$L_{K3}, \text{М}$	0.6	2.0	3.5	0.6	1.3	3.5
$L_{K4}, \text{М}$	0.8	2.2	4.5	0.7	1.6	4.2
$L_{K5}, \text{М}$	1.0	2.5	5.0	0.8	1.9	4.5
$\Delta L_1, \text{МКМ}$	150	250	300	200	350	200
$\Delta L_2, \text{МКМ}$	200	300	250	150	300	350
$L_{L1}, \text{М}$	0.1	0.5	0.8	0.1	0.3	0.8
$L_{L2}, \text{М}$	0.3	1.5	3.0	0.3	1.1	3.2
$L_{L3}, \text{М}$	0.5	1.8	3.3	0.5	1.2	3.6
$L_{L4}, \text{М}$	0.6	2.0	4.3	0.6	1.5	4.0
$L_{L5}, \text{М}$	1.0	2.4	4.8	0.7	1.8	4.2
$h_{\max}, \text{МКМ}$	300	320	350	200	250	300

Продолжение таблицы 3.2.2

$h_1, \text{мкм}$	80	80	90	60	70	80
$h_2, \text{мкг}$	250	270	300	160	200	250
$t_{p1}, \text{мин}$	10	15	20	5	7	15
$t_{p2}, \text{мин}$	70	90	140	45	55	100

3.2.3. Разработка СТД

Исходными данными здесь являются результаты контрольных заданий 2.3, 2.5. Для сравнения фактических и эталонных кривых необходимо наметить несколько контрольных точек (не менее 8-10 – для ЭПГ, 6-8 – для ЭПП). Окончательный результат теста вычисляется как среднеарифметическое отклонение по этим точкам и сравнивается с заданными предельными отклонениями.

3.2.4. Разработка общих технических требований

В начальных разделах проекта проектант должен представить не исходные данные и задание, а общие технические требования, которые в установленном порядке разработки и ведения конструкторской документации предъявляются Заказчиком проекта Исполнителю (Разработчику).

Общие технические требования (ТТ) должны содержать следующие обязательные разделы:

- а) Цель работы, например: «Целью разработки является создание системы управления станком (или комплекта электрооборудования), обеспечивающей повышение производительности, надежности, точности обработки и уровня автоматизации».
- б) Предлагаемые пути для достижения цели. В данном случае Заказчик должен бы оценить следующее: «Система управления должна обеспечивать автоматическое управление черновыми режимами резания, автоматическое управление точностью обработки и систему

технической диагностики и контроля важнейших параметров и узлов станка во время работы и при холостых пробегах».

в) ТТ к основным показателям составных частей изделия. Например: «САУР должна обеспечивать:

– статическую ошибку $\Delta_{ст} \leq \Delta_{зад}$;

– перерегулирование $\sigma_{max} \leq \sigma_{зад}$ и т.д.».

г) Условия эксплуатации (температура, влажность, давление, вибрации и т.д.).

д) Показатели назначения(производительность, себестоимость, минимаксные значения скоростей, мощностей , моментов, величин перемещений и т.д.).

е) Показатели надежности (безотказность, долговечность, ремонтпригодность).

ж) Показатели стандартизации и унификации (насыщенность стандартными опробированными решениями).

з) Общие конструктивные требования (оперативность работы, обслуживания, удобство и безопасность обслуживания, требования к корпусу изделия).

и) Метрологические требования (возможность контроля параметров в процессе монтажа, наладки и эксплуатации).

3.3. Разработка технического задания

Техническое задание (ТЗ) разрабатывает Исполнитель на основании ТТ Заказчика и поэтому оно более детально должно отвечать не только на вопрос «что сделать», но и «как сделать», т.е. перед началом разработки Исполнитель должен себе четко представлять основную структуру объекта, его комплектность, его основные технические показатели и подробные ТТ, удовлетворяющие или не удовлетворяющие на существующем уровне развития техники требованиям Заказчика.

Подробно описываются: назначение объекта, цель работы, основные функции, состав разрабатываемого изделия, ТТ к изделию и к его составным частям и элементам.

Например, одним из пунктов ТЗ «Состав изделия» является: «Система управления должна содержать следующие датчики обратной связи: датчик момента, фотоэлектрический круговой датчик угла поворота вала ЭДП» и т.д.

В разделе ТТ к круговому датчику угла поворота предъявляются конкретные требования к его характеристикам: «Круговой фотоэлектрический датчик должен обеспечивать:

- выдачу 2500 импульсов на 1 оборот;
- максимальная частота не более 150 кГц;
- питание – $24\text{в} \pm 0.25\text{в}$, 20 мА;
- выходной сигнал – $22\text{в} \pm 1\text{в}$, 5 мА ».

Все технические характеристики, полученные в соответствующих контрольных заданиях и являющиеся исходными данными для курсового проекта, должен найти отражение в ТТ. Например, для ЭПП: «Электропривод подачи должен обеспечивать:

- коэффициент передачи $100\text{ в}^{-1}\text{ с}^{-1}$;
- номинальные значения тока $I_H = 100\text{ А}$ и момента $M_H = 100\text{ н}\cdot\text{м}$;
- кратность перегрузки по току и моменту $\lambda = 4$ » и т.д.

В заключительной части ТЗ желательно иметь раздел: «Экономические показатели», поскольку любое техническое решение, повышающее производительность, точность, надежность работы оборудования имеет соответствующий стоимостной эквивалент.

3.4. Методические указания к выполнению основных разделов проекта

3.4.1. Разработка функциональной схемы САУР

Общая функциональная схема САУР по рис.3.1.1. должна быть детализированна для каждого ее элемента. На рис.3.4.1. – 3.4.3 показаны примеры детализации таких функциональных блоков, как ПР и САУР в аппаратной и программной реализации.

3.4.2. Разработка структурной схемы САУР

В полной структурной схеме САУР отдельные функциональные блоки представляются соответствующими передаточными функциями, при этом многоконтурные и многосвязные структуры некоторых элементов в целях упрощения задач синтеза и анализа представляются, если возможно, передаточными функциями типовых элементарных звеньев. Например, анализ переходной функции ЭПП (см. задание 2.5.) показывает , что передаточную функцию одномассовой системы ЭПП можно представить колебательным звеном:

$$W_{пп}(p) = \frac{\omega_s(p)}{U_s(p)} = \frac{K_{пп}}{T_{пп}^2 p^2 + 2\varepsilon_{пп} T_{пп} p + 1}, \text{ где } K_{пп} = 1/K_{тг}.$$

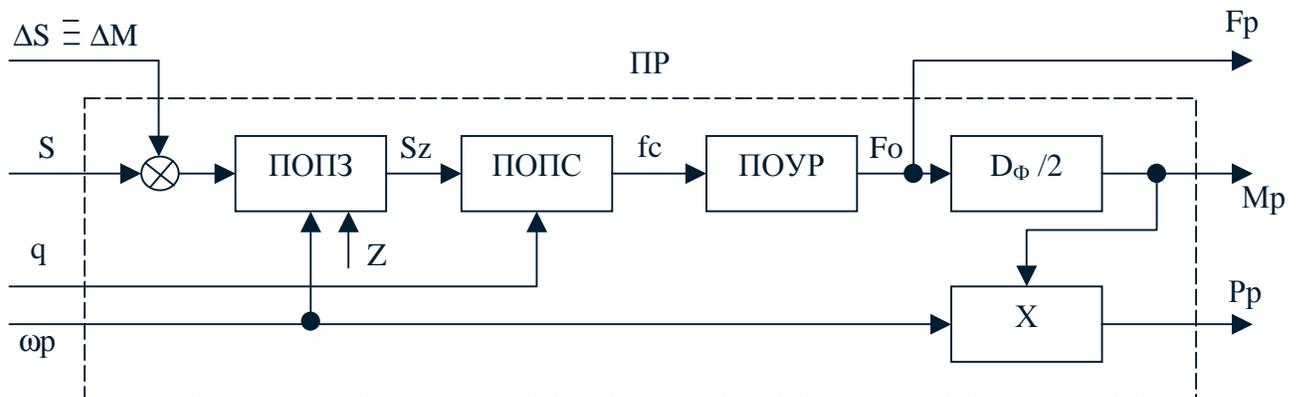


Рис. 3.4.1. Функциональная схема ПР

ПОПЗ – процесс образования на зуб: $S_z = S / n_p \cdot z$; ПОПС – процесс образования сечения стружки: $f_c = S_z \cdot q$; ПОУР – процесс образования усилия резания $F_0(f_c)$.

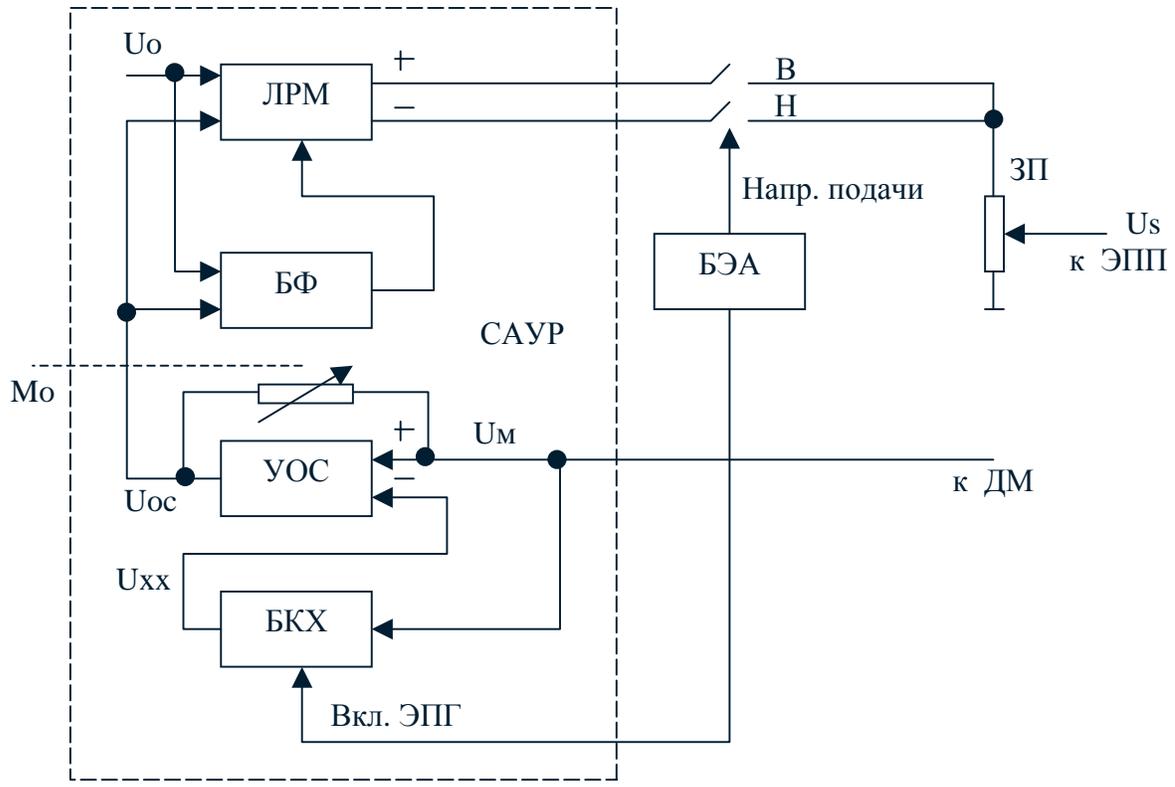


Рис. 3.4.2. Аппаратная реализация САУР

ЛРМ – линейный регулятор момента; БФ – блок форсировки; УОС – усилитель обратной связи; БКХ – блок компенсации; БЭА – блок электроавтоматики; ЗП – задатчик подачи; U_0 , U_{oc} , U_{xx} , U_m , U_s – напряжения: опорное, обратной связи, холостого хода, датчика момента ДМ, задающее ЭПП; M_0 – уставка заданного значения M_p .

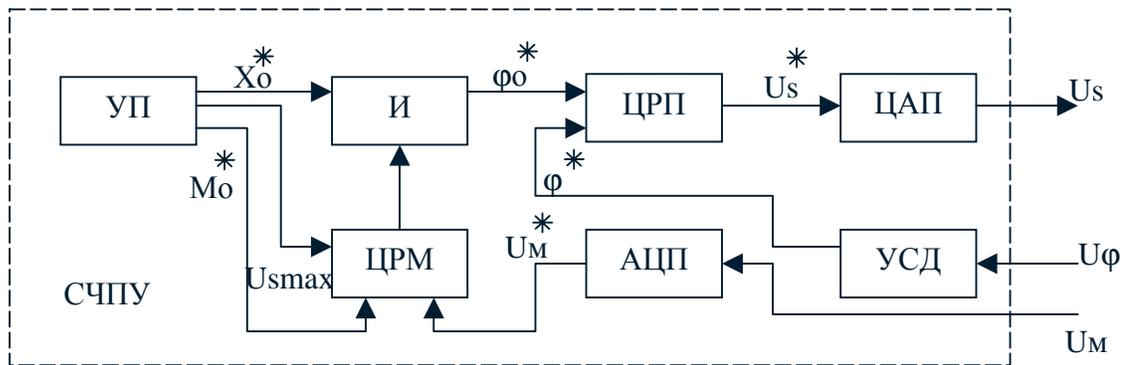


Рис. 3.4.3. Программная реализация САУР.

УП-управляющая программа; И-интерполятор; УСД-устройство связи с датчиком перемещения; ЦАП-цифро-аналоговый преобразователь; АЦП-аналого-цифровой преобразователь; ЦРП, ЦРМ-цифровые регуляторы положения, момента.

При настройке на технический оптимум $\xi_{ПП} = 0.707$, $T_{ПП} = 8T_{П}$, $T_{П}$ – наименьшая постоянная времени преобразователя в контуре тока ЭПП.

Для датчиков косвенного измерения силовых параметров ПР, входной величиной является ток ЭПГ, поэтому необходимо знать передаточную функцию ЭПГ по возмущающему воздействию:

$$W'_{Г}(P) = \frac{I(P)}{M_P(P)} = \frac{k_{Г}(T'_{Г} p + 1)}{T_{Г}^2 \cdot p^2 + 2\xi_{Г} \cdot T_{Г} p + 1},$$

где при работе в 1-й зоне регулирования и при настройке ЭПГ на технический оптимум

$$k_{Г} = I / M = C^{-1} [A / H \cdot m], T_{Г} = 8T_{П}, T'_{Г} = 4T_{П}.$$

Передаточная функция ПР:

$$W_P(P) = \frac{M(P)}{S(P)} = \frac{k_P^0 (1 - e^{-p\tau})}{p} \approx \frac{k_P}{T_P p + 1},$$

где $k_P^0 = \Delta S / \Delta M(P)$ – коэффициент передачи ПР в точке линеаризации для заданных значений $q = q^0$, $S = S^0$ (рис.3.4.4.); $\tau = \omega^{-1}_P \cong T_P$.

Входы по возмущающим воздействиям при изменении припуска $\Delta q(p)$ и из-за периодических биений инструмента приводятся к управляющему входу эквивалентными воздействиями $\Delta S_q(p)$ и $\Delta S_m(p)$ (рис. 3.4.5).

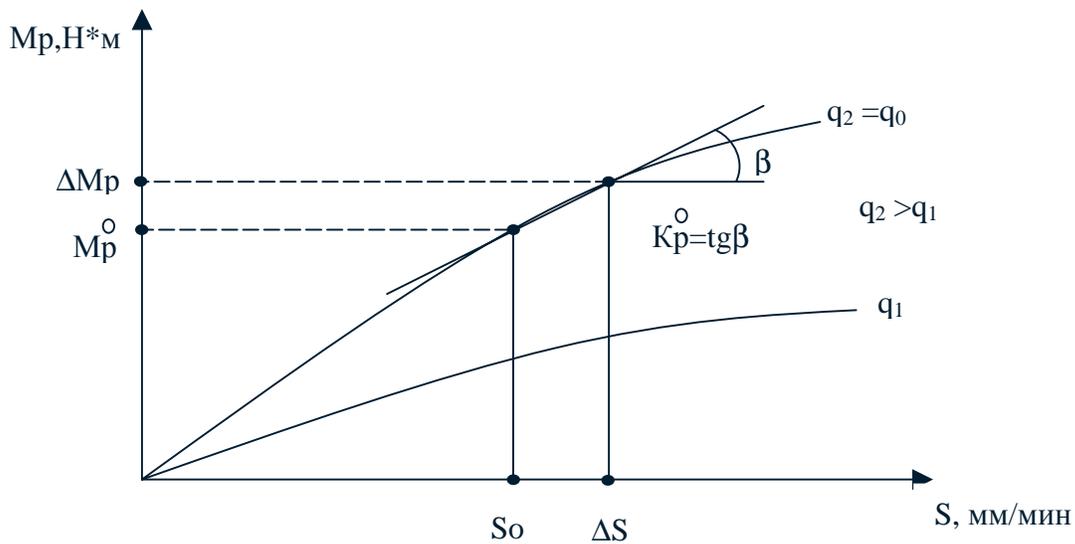


Рис. 3.4.4. Статическая характеристика ПР

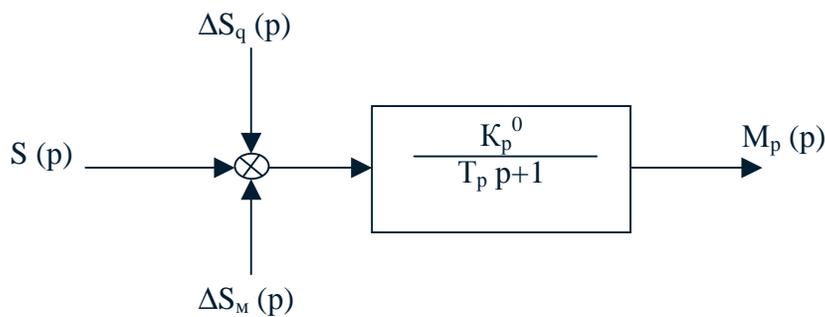


Рис. 3.4.5. Структурная схема ПР

В полной структурной схеме САУР необходимо также учитывать инерционность датчика обратной связи из-за наличия фильтра нижних частот для уменьшения помех. Постоянная времени фильтра выбирается по условию подавления 1-й гармонической составляющей помехи до требуемого значения, обеспечивающего помехоустойчивость системе.

3.4.4. Синтез САУР

Начальный этап синтеза определяется решением 2-х задач:

- достижение заданной статической точности;
- неотработка подачей периодических возмущений ΔM_p частотой ω_p .

Представим полную структурную схему САУР в виде по рис.3.4.6.

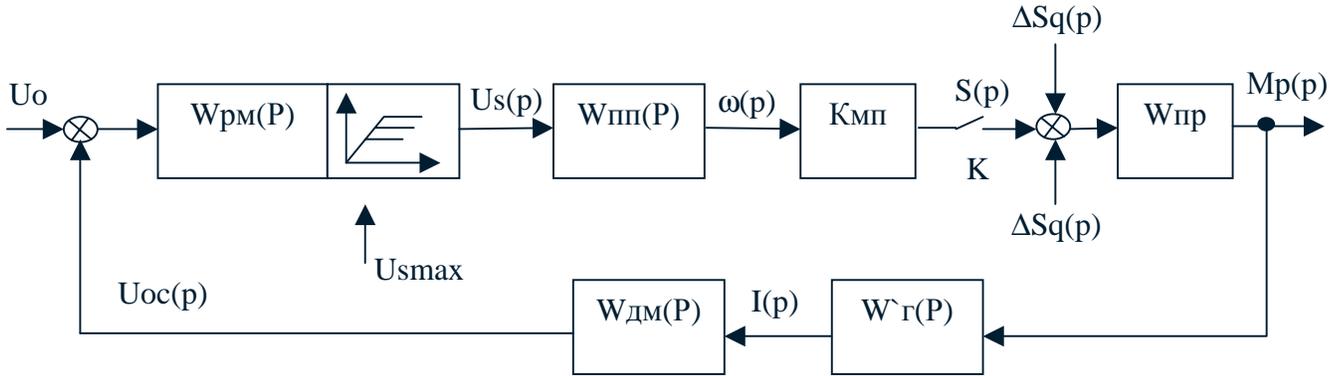


Рис. 3.4.6. Структурная схема САУР

Введение ключа К означает, что система работает по замкнуто-разомкнутому циклу, т.е. при резании К замкнут, а на холостых пробегах – разомкнут.

Обеспечение статической точности достигается путем введения в закон регулирования интегральной составляющей (И – регулятор), при этом $\Delta_{СТ} = 0$.

Вторая задача решается следующим образом. Вначале определяется амплитуда эквивалентного гармонического возмущения: $\Delta S_m = \Delta M_p^* \cdot M_0 / k_{ПР}^0$. Соответствующее гармоническое значение подачи ΔS по условиям ТЗ не должно превосходить заданного коэффициента неравномерности:

$$k_{НС} = \frac{S_{\min} + \Delta S}{S_{\min}} \leq k_{НС \text{ зад}} .$$

Отсюда легко определить требуемый коэффициент $K_{раз}(\omega_p)$ ослабления сигнала в замкнутой системе на частоте ω_p :

$$\Delta S \leq (k_{НС \text{ зад}} - 1) \cdot S_{\min} ;$$

$$K_{раз}(\omega_p) \leq \Delta S / \Delta S_m ;$$

$$L_{раз}(\omega_p) \leq 20 \lg K_{раз}(\omega_p) .$$

Последнее выражение с учетом введения в закон регулирования И– регулятора иллюстрируется ЛАЧХ разомкнутой системы по рис.3.4.7.

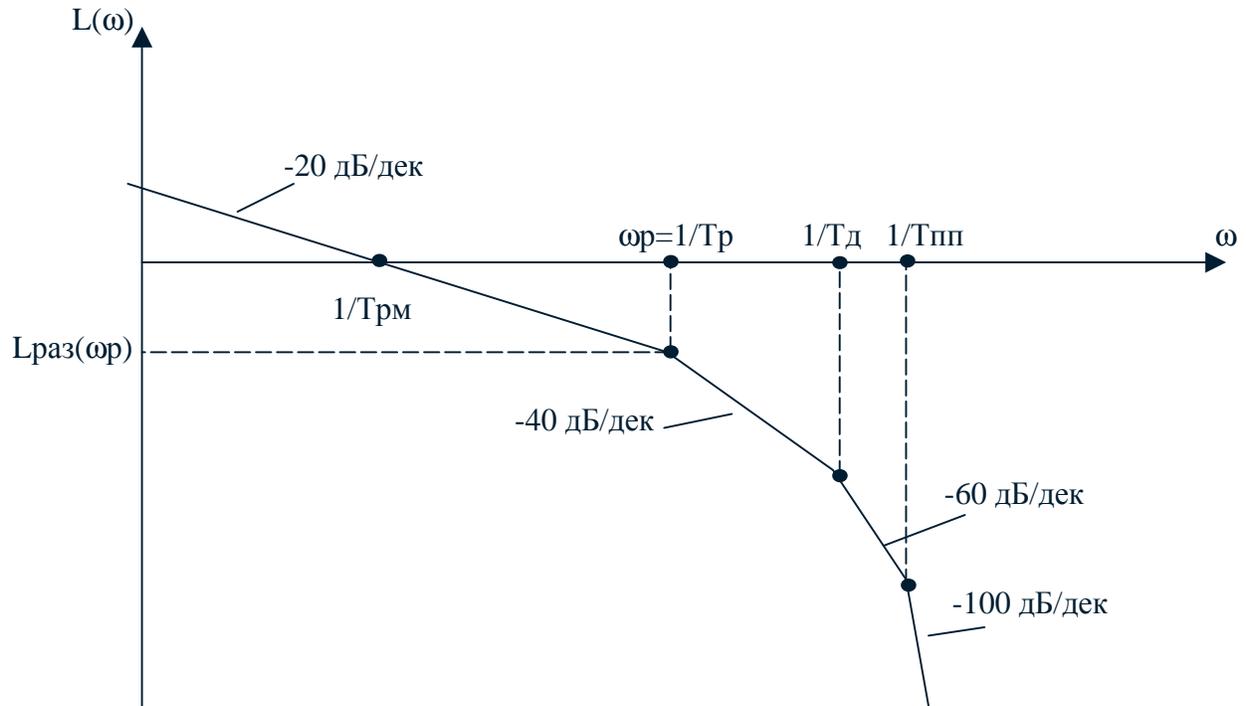


Рис. 3.4.7. Желаемая ЛАЧХ разомкнутой системы

3.4.5. Расчет переходных процессов

Анализ частотной характеристики САУР (рис.3.4.7.) показывает , что $T_{рм} \gg T_{пп} > T_g, T_{пп}, T_{гп}$ и структурная схема может быть приведена к виду по рис.3.4.8.

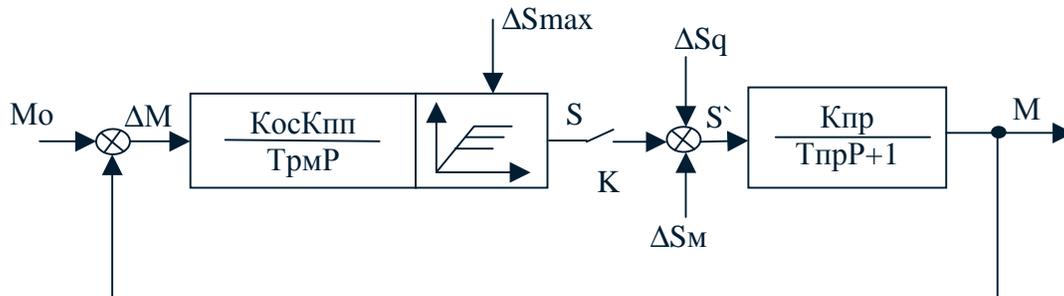


Рис. 3.4.8. Преобразованная структурная схема САУР

По требованиям ТЗ следует определить динамические показатели при «врезании» (замыкание ключа К, $\dot{S} = 0$, $S = S_{\max}$, припуск при врезании $q = m_q = q_{\text{CP}}$) и набросе припуска $\Delta M_p = 2\sigma_M$, соответствующего эквивалентному возмущению $\Delta S_q = \Delta M_p / k_{\text{ПР}}$.

Регулировочная и статическая характеристика ПР для этих случаев иллюстрируется на рис.3.4.9.

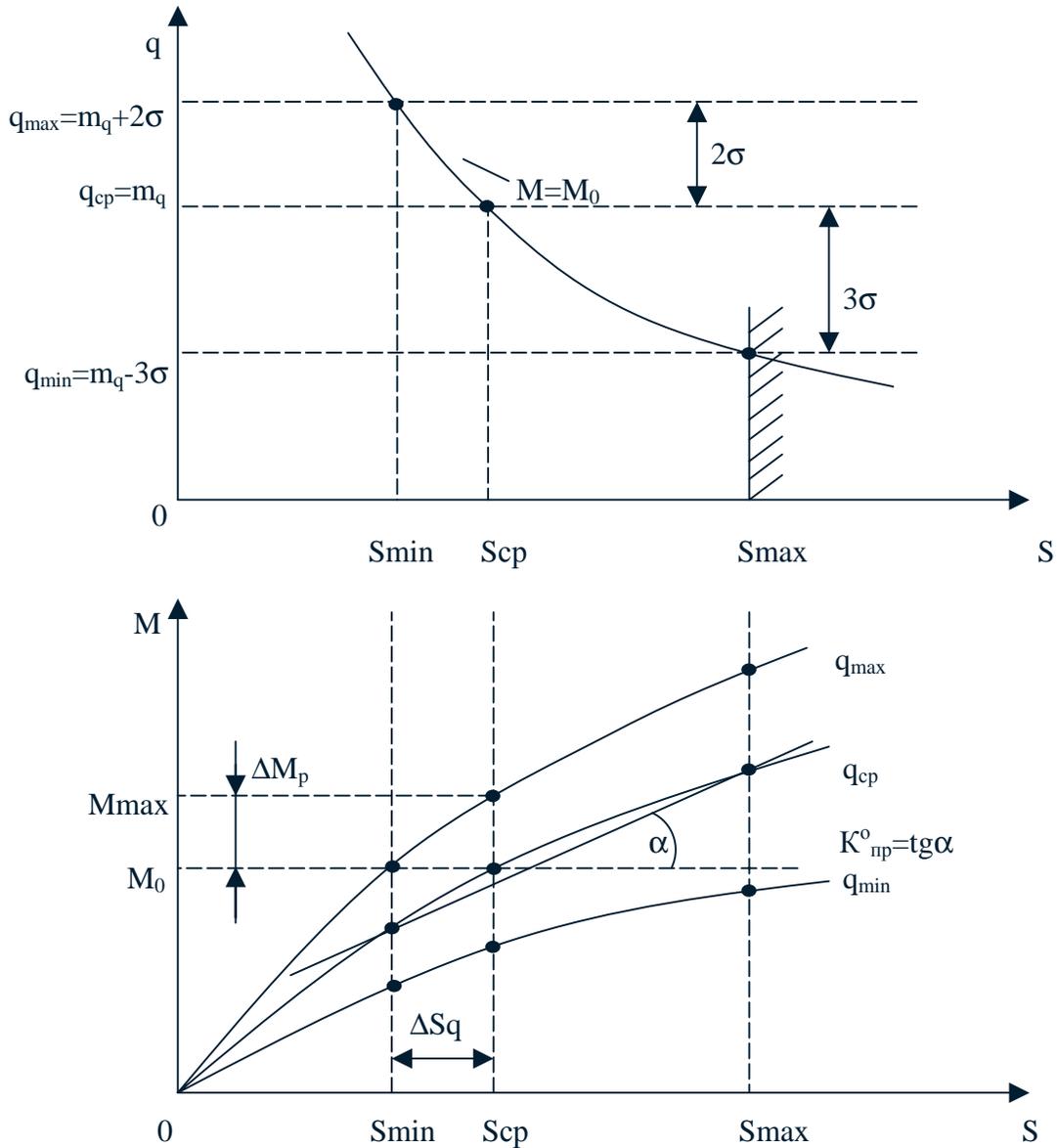


Рис. 3.4.9. Регулировочная и статическая характеристика ПР

При замыкании ключа К структура может быть приведена к линейной при линеаризации коэффициента передачи ПР (рис.3.4.10)

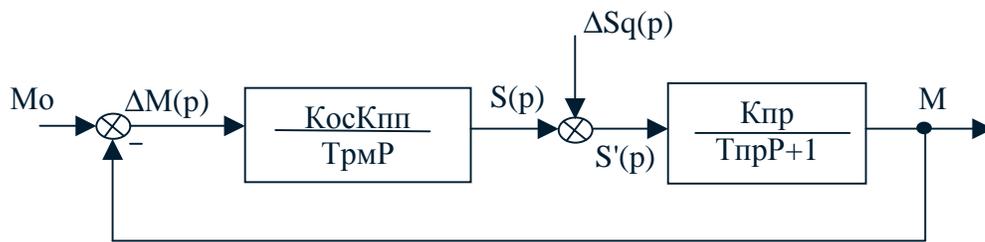


Рис.3.4.10. Линеаризованная структура САУР

Заметим, что при врезании до момента t_1 (рис.3.4.11) система разомкнута и переходной процесс определен уравнением:

$$M(t) = k_{\text{ПР}} \cdot S_{\text{max}} (1 - e^{-t/T_{\text{ПР}}}).$$

Начальные условия при $t = t_1$:

$$S(t_1) = S_{\text{max}}; \quad \dot{S}(t_1) = 0; \quad M(t_1) = M_0;$$

$$\dot{M}(t_1) = \frac{k_{\text{ПР}} \cdot S_{\text{max}}}{T_{\text{ПР}}} \left(1 - \frac{M_0}{k_{\text{ПР}} \cdot S_{\text{max}}} \right);$$

$$\ddot{M}(t_1) = - \frac{k_{\text{ПР}} \cdot S_{\text{max}}}{T_{\text{ПР}}^2} \left(1 - \frac{M_0}{k_{\text{ПР}} \cdot S_{\text{max}}} \right);$$

$$t_1 = - T_{\text{ПР}} \cdot \ln \left(1 - \frac{M_0}{k_{\text{ПР}} \cdot S_{\text{max}}} \right).$$

При приведении режима «врезание» к эквивалентному скачкообразному набросу припуска $\Delta S_q = q_{\text{СР}} / k_{\text{ПР}}^0$ переходные процессы для $t > t_1$ определены изображениями (вывести самостоятельно):

$$- \frac{M(P)}{\Delta S_q(P)} = \frac{k_{\text{ПР}} T_{\text{РМ}} p}{T_{\text{РМ}} T_{\text{ПР}} p^2 + T_{\text{РМ}} p + 1} = \frac{k_{\text{ПР}} T_{\text{РМ}} p}{T_k^2 p^2 + 2\xi_k T_k p + 1};$$

$$- \frac{S(P)}{\Delta S_q(P)} = \frac{1}{T_k^2 p^2 + 2\xi_k T_k p + 1},$$

где $T_k = \sqrt{T_{\text{РМ}} T_{\text{ПР}}}$; $\xi_k = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{T_{\text{РМ}}}{k T_{\text{ПР}}}}$; $k = k_{\text{ПП}} \cdot k_{\text{ПР}} \cdot k_{\text{ос}}$ – эквивалентные постоянная времени и демпфирование колебательного звена.

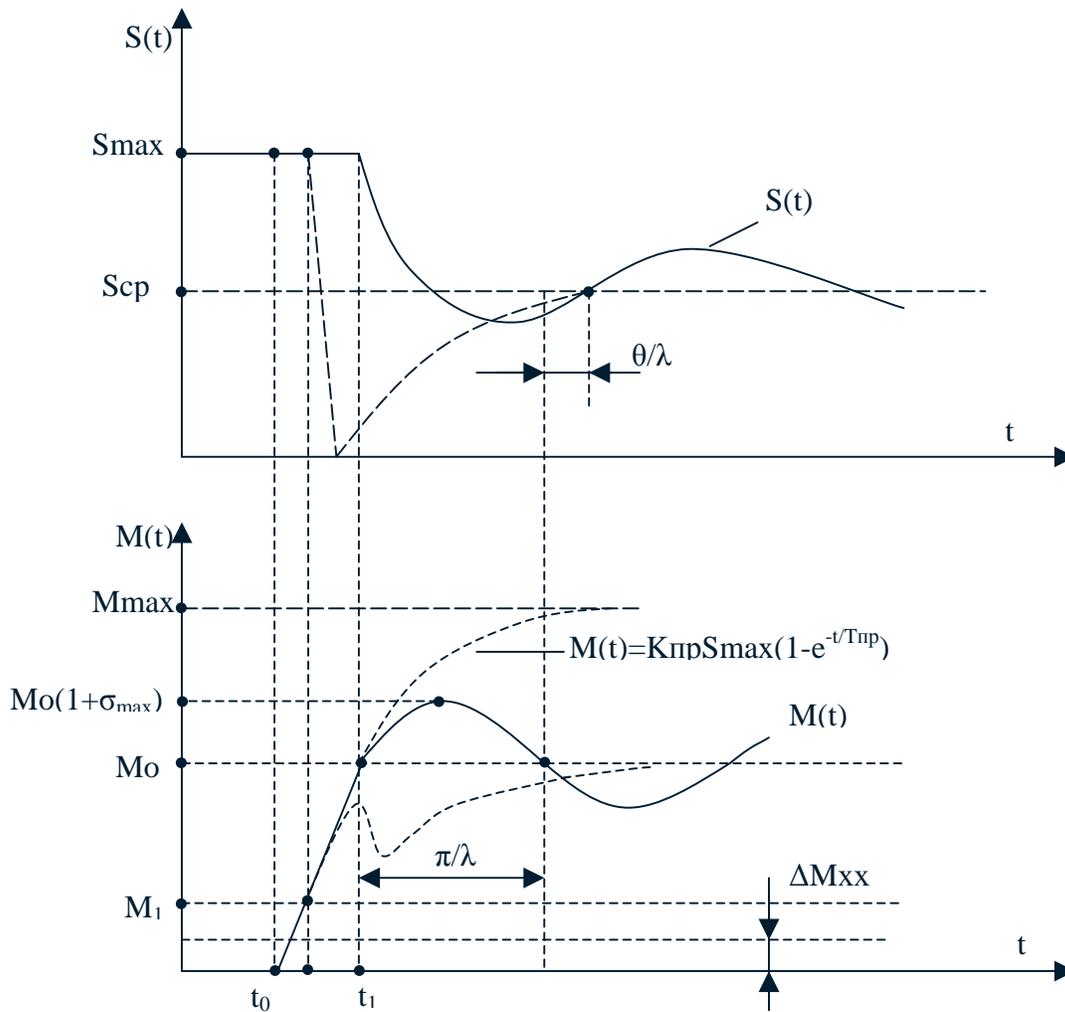


Рис.3.4.11. Переходные процессы САУР при врезании

При переходе от оригинала к изображению с учетом начальных условий имеем:

$$S(t) = S_{max} - (S_{max} - S_{cp}) \cdot [1 - C_1 \cdot e^{-\gamma t} \cdot \sin(\lambda t + \theta)];$$

$$M(t) = M_0 (1 + C_2 \cdot e^{-\gamma t} \cdot \sin \lambda t),$$

где $\lambda = \sqrt{(1 - \xi_k^2) / T_k}$; $\gamma = \xi_k / T_k$; $C_2 = 1 / \lambda T_k^2$; $C_1 = 1 / \lambda T_k$; $\theta = \arctg \lambda / \gamma$.

Аналогичные выражения могут быть получены и при набросе припуска

$\Delta M_p = 2\sigma (\Delta S_q = 2\sigma / k_{IP}^0)$ с учетом новых начальных условий при $t = t_0$: $S(t_0) = S_{cp}$;

$S'(t_0) = 0$; $S(\infty) = S_{min}$; $M(t_0) = M_0$; $M'(t_0) = 0$; $M(\infty) = M_0$ (рис.3.4.12., вывести

самостоятельно).

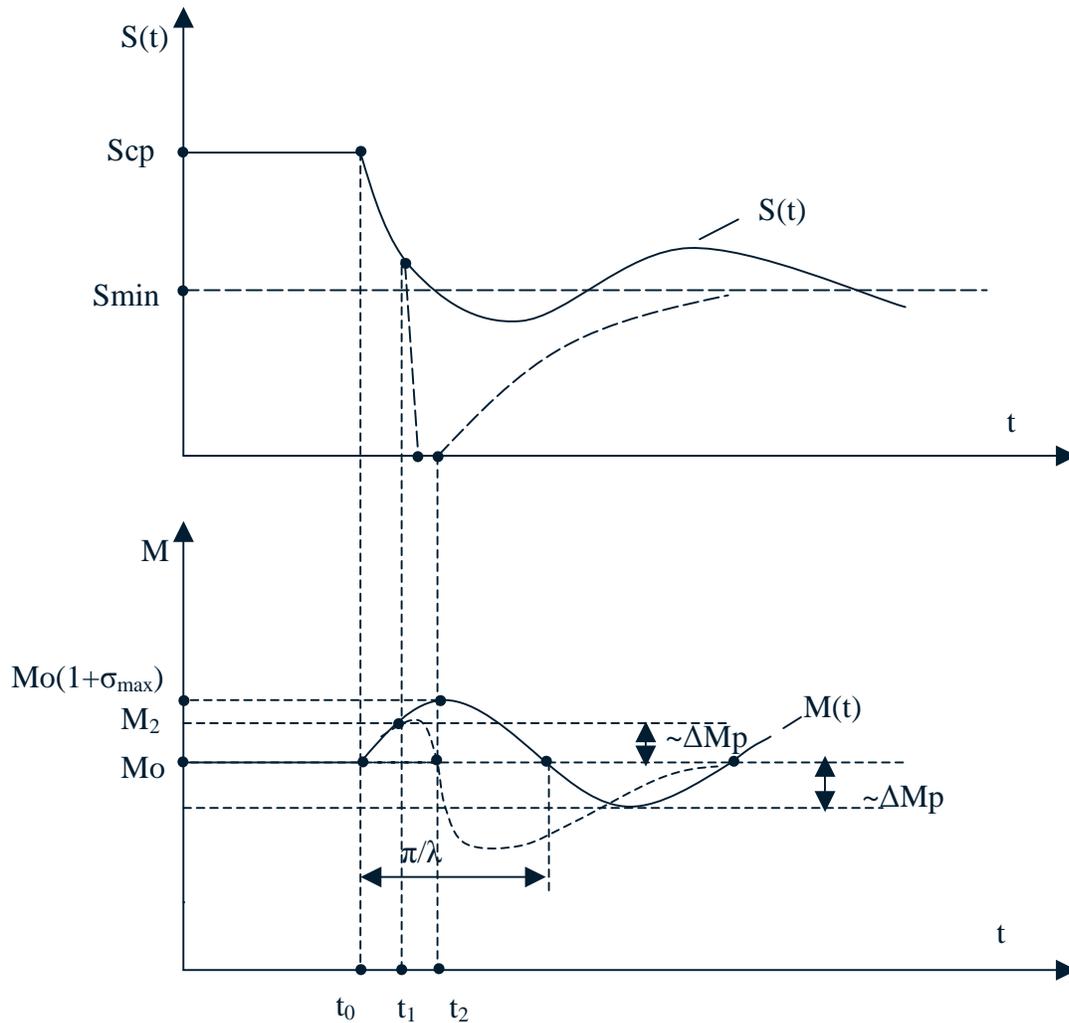


Рис.3.4.12. Переходные процессы САУР при набросе припуска

Анализ переходных процессов показывает, что имеет место значительные перегрузки вследствие большой постоянной времени T_{PM} . Уменьшение перерегулирования σ_{max} возможно введением в закон регулирования релейной составляющей, обеспечивающий резкий сброс сигнала РМ, форсированное торможение ЭПП и устранение перегрузки. Моменты срабатывания релейного регулятора (блока форсировки) и его воздействия на линейный интегральный регулятор определены условиями при врезании $M = M_1$ (рис.3.4.11) и набросе припуска $M = M_2$ (рис.3.4.12). Уровни M_1 и M_2 определены максимальными

значениями уравнения помех холостого хода ΔM_{xx} и амплитуды колебаний периодических возмущений $\sim \Delta M_p$:

$$M_1 \geq \Delta M_{xx}; M_2 \geq M_0 + \sim \Delta M_p.$$

Качественный вид переходных процессов показан на рис.3.4.11, 3.4.12 пунктирными линиями. Функциональная схема РМ приведена на рис.3.4.13.

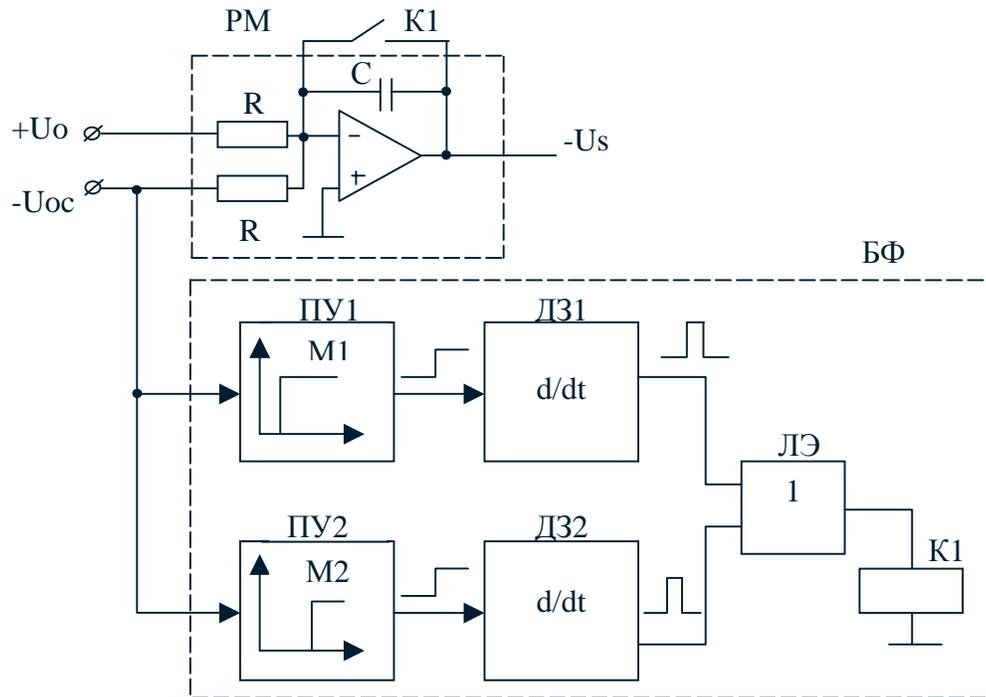


Рис.3.4.13. Функциональная схема РМ с форсировкой.

ПУ1, ПУ2 – пороговые устройства, ДЗ1, ДЗ2 – дифференцирующие звенья; ЛЭ – логический элемент (схема “ИЛИ”); К1 – быстродействующее реле.

В моменты достижения $M = M_1$ или $M = M_2$ реле К1 кратковременно замыкает контакт, обнуляет заряд интегрирующего конденсатора С и, соответственно, напряжение РМ U_S . В последующем при $M < M_0$ положительная разность $U_o - U_{oc}$ заряжает С с постоянной времени $T_{PM} = RC$ до уровня U_S , при котором $M = M_0$.

3.4.6. Разработка принципиальных схем элементов

а) Датчик тока

Варианты различных исполнений ДТ приведены на рис.3.4.14.

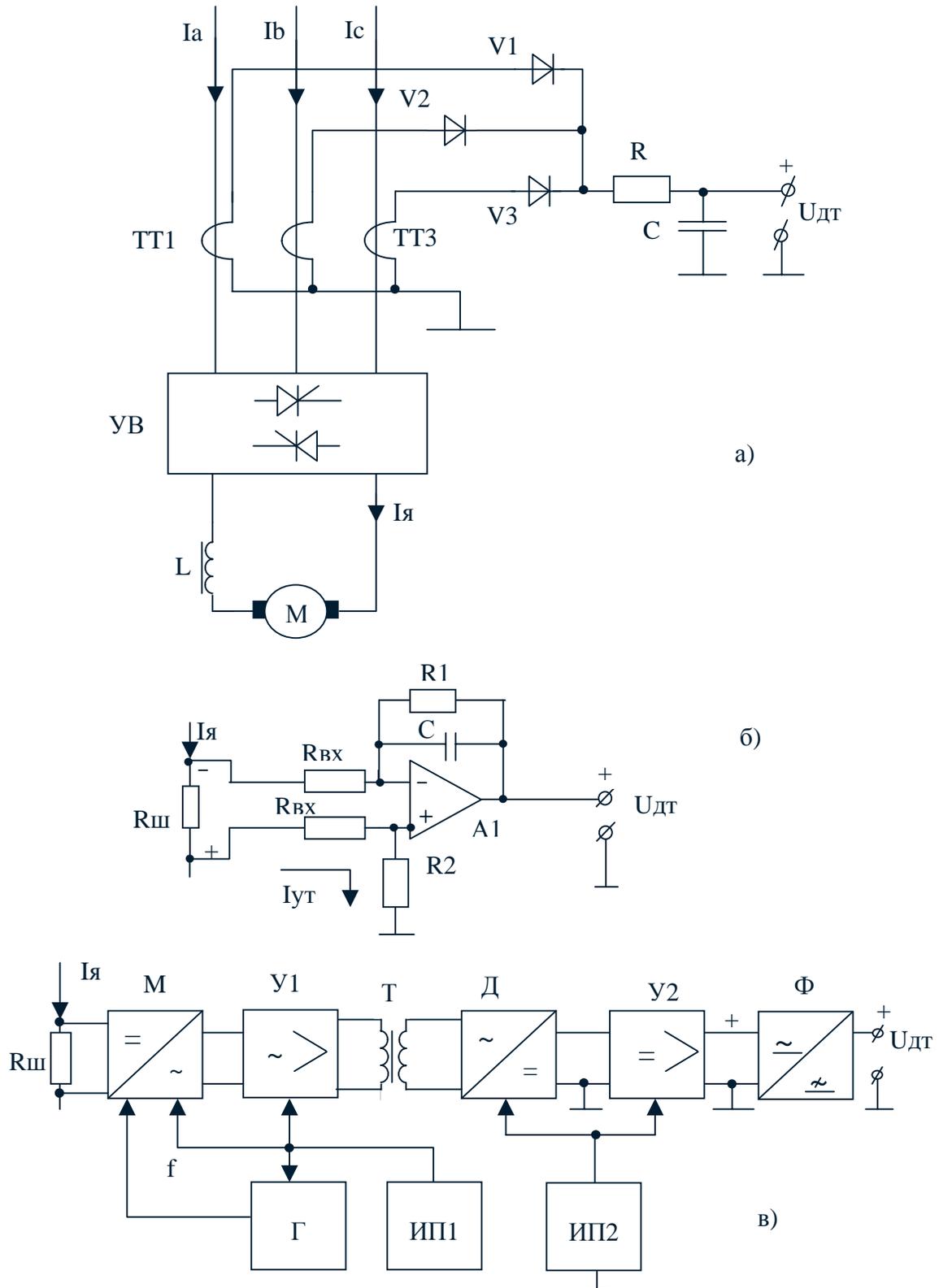


Рис.3.4.14. Варианты исполнений ДТ

В схеме 3.4.14а действующее значение токов I_a , I_b , I_c пропорционально I_y ; следовательно, и выпрямленное и отфильтрованное R·C фильтром напряжение $U_{дт}$ пропорционально I_y . Трансформаторы тока ТТ1 – ТТ3 кроме функции измерения фазных токов осуществляют гальваническую развязку.

В схеме 3.4.14б гальваническая развязка от силовой цепи осуществляется за счет больших входных сопротивлений $R_{Вх} \geq 1\text{МОм}$. Малые значения токов утечки $I_{ут}$ при этом мало влияют на работу схемы управления. Коэффициент передачи определяется при соотношении сопротивлений $R_{Вх}$, R_1 , R_2 . Стандартный сигнал с шунта $R_{ш}$ принимается 75 мВ или 150 мВ при номинальных токах 5,10,25,50,100,150,200,400,600 А. Постоянная фильтра $T_{ф} = R_{Вх} \cdot C$ обеспечивает подавление пульсаций тока.

Схема 3.4.14в выполнена по принципу «модулятор М» – «усилитель переменного тока У1» – «гальваническая развязка (трансформатор) Т» – «демодулятор Д (выпрямитель)» – «усилитель переменного тока У2» – «фильтр Ф». Питание схемы осуществляется от 2-х гальванически развязанных источников питания ИП1, ИП2, модуляция сигнала с шунта обеспечивается при помощи высокочастотного генератора Г ($f = 1 - 10$ кГц).

б) Датчик момента

Схема тензометрического измерителя крутящего момента на шпинделе приведена на рис.3.4.15.

Тензодатчики сопротивления 3 наклеены в проточке 2 шпинделя 1 таким образом, что при приложении положительного значения $+M_k$ на тензометрическом мосте RT1 – RT4 получается положительный разбаланс, при отрицательном $-M_k$ – отрицательный разбаланс. В зависимости от типа тензодатчиков, напряжения питания, угла закручивания напряжение разбаланса может составлять от сотых до десятых долей милливольт. Усилитель А1 усиливает этот сигнал до необходимого уровня (3 – 5 в) и при помощи компаратора А2 и ГПН он преобразуется в широтно – импульсно – модулированный сигнал.

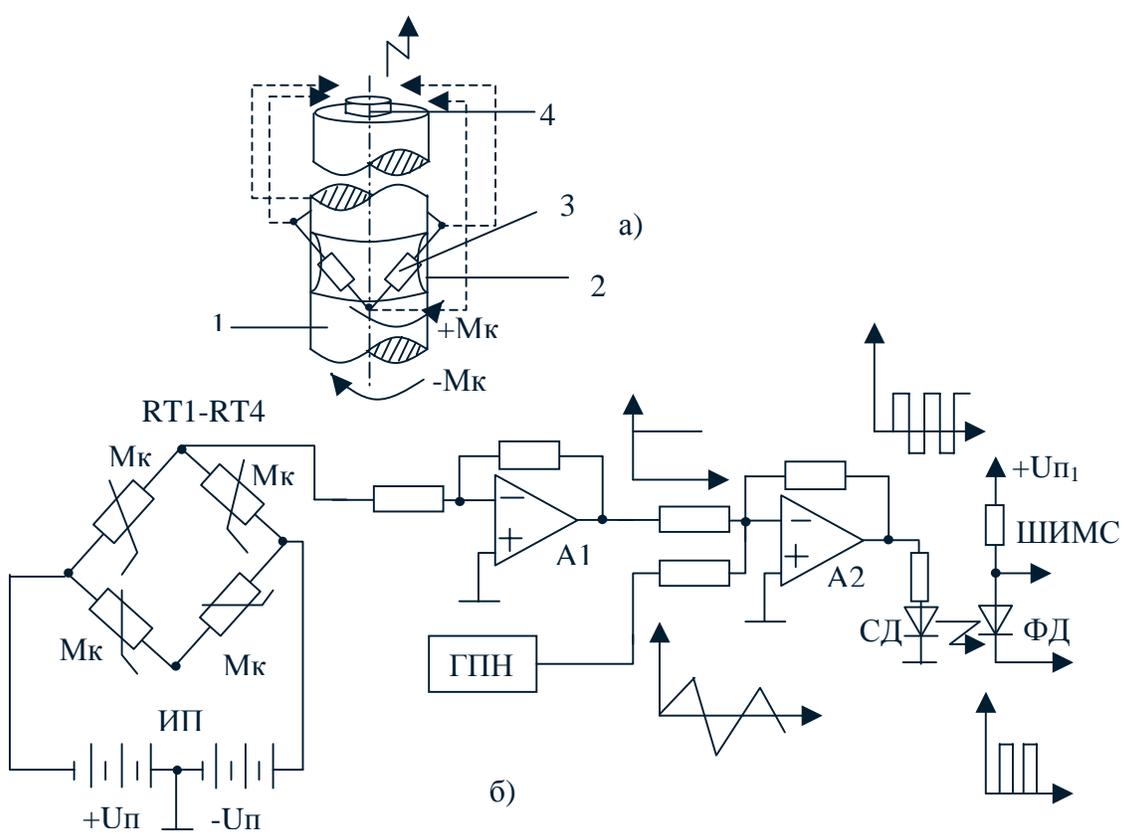


Рис.3.4.15. Тензометрический измеритель крутящего момента с бесконтактной передачей сигнала с вращающегося вала.

а) 1 – шпиндель; 2 – проточка; 3 – тензодатчики сопротивления; 4 – усилитель для бесконтактной передачи. б) RT1 – RT4 – тензодатчики; ИП – автономный источник питания (батарейный, аккумуляторный); A1 – усилитель; A2 – компаратор; ГПН – генератор пилообразного напряжения; СД, ФД – свето– фотодиод; ШИМС – широтно – импульсно – модулированный сигнал.

При помощи пары свето- и фотодиод инфракрасного излучения сигнал передается бесконтактным образом на усилитель – преобразователь, установленный на стационарных органах станка, и далее в схему управления комплектного устройства электрооборудования.

Датчик крутящего момента может быть построен также на основе магнестрикционного эффекта, основанного на изменении магнитной проводимости ферромагнетиков при приложении механических напряжений (рис.3.4.16).

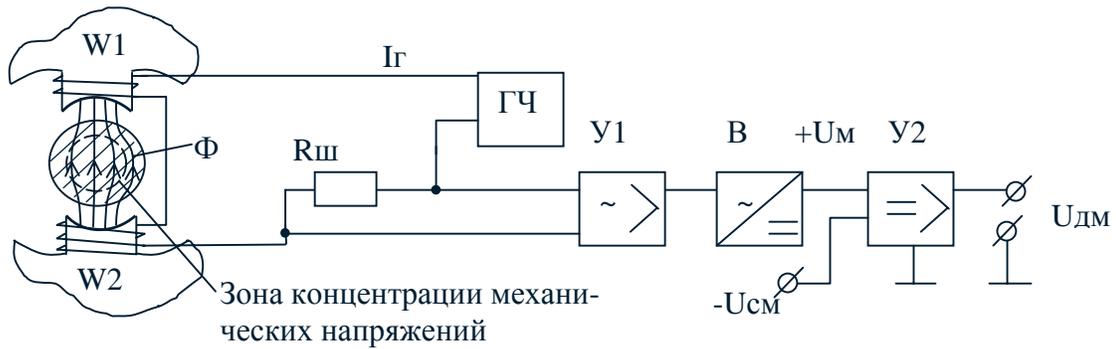


Рис.3.4.16. Магнестрикционный измеритель момента.

У1, У2 – усилители переменного и постоянного тока; ГЧ – генератор частоты;

В – выпрямитель.

Магнитный поток Φ высокой частоты, создаваемый полюсами с обмотками W_1 , W_2 , замыкается через деформируемый вал. При приложении крутящего момента изменяется магнитная анизотропия кристаллов металла, поток Φ и ток $I_{Г}$ генератора ГИ. Ток $I_{Г}$ измеряется при помощи шунта $R_{ш}$, сигнал усиливается и выпрямляется. Постоянная составляющая сигнала, соответствующая $M_k = 0$, компенсируется смещением $U_{см}$.

в) Датчик усилия (рис.3.4.17)

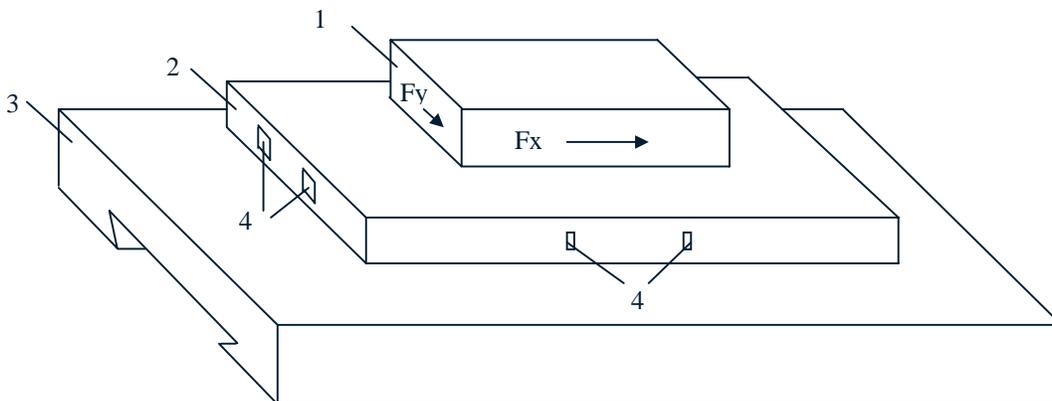


Рис.3.4.17. Тензометрический измеритель составляющих усилия резания.

1 – деталь; 2 – тензометрическая измерительная сменная палета; 3 – стол; 4 – тензодатчики.

Составляющие усилия резания по координатам станка F_x , F_y вызывают упругие деформации Δ_x , Δ_y палеты, которые измеряются тензодатчиками 4. Дальнейшее преобразование сигнала может быть аналогично преобразованию по рис.3.4.15.

г) Датчик мощности

Косвенное измерение мощности возможно при помощи ДТ (рис.3.4.14); при этом при работе ЭПГ в 1-й зоне регулирования сигнал датчика пропорционален моменту, а во 2-й зоне – мощности резания. При $\omega_T \neq \text{const}$ для получения сигнала, пропорционального потребляемой мощности ЭПГ, необходимо применение 2-х датчиков – тока и напряжения. Т.к. $P = U_{\text{я}} \cdot I_{\text{я}}$, то выходные сигналы датчиков перемножаются в электронном аналоговом или цифровом устройстве. При прямом измерении крутящего момента на шпинделе возможно использование уравнения $P = M_k \cdot \omega_T$; сигнал ω_T при этом контролируется тахогенератором.

д) Канал обратной связи

В канале обратной связи осуществляется следующие функциональные преобразования:

- нормирование сигнала датчика;
- изменение сигнала задания путем изменения коэффициента передачи обратной связи;
- компенсация холостого хода с целью получения сигнала, пропорционального «чистой» мощности (моменту) резания $P_p = P_{\Sigma} - P_{\text{хх}}$.

Функциональная схема канала приведена на рис.3.4.18.

При включении ЭПГ схема «И» разрешает прохождение сигнала от генератора импульсов ГИ на счетчики Д1, Д2. Сопровождающие сопротивления R1 – R8 цифроаналогового преобразователя на микросхеме А1 подобраны с соответствующими весовыми коэффициентами. Напряжение на выходе А1 линейно ступенчато нарастает и в момент достижения $U_{A1} = U_{\text{дмхх}}$ компаратор А2 изменяет полярность выходного сигнала, срабатывает реле К и блокирует счетчики Д1, Д2.

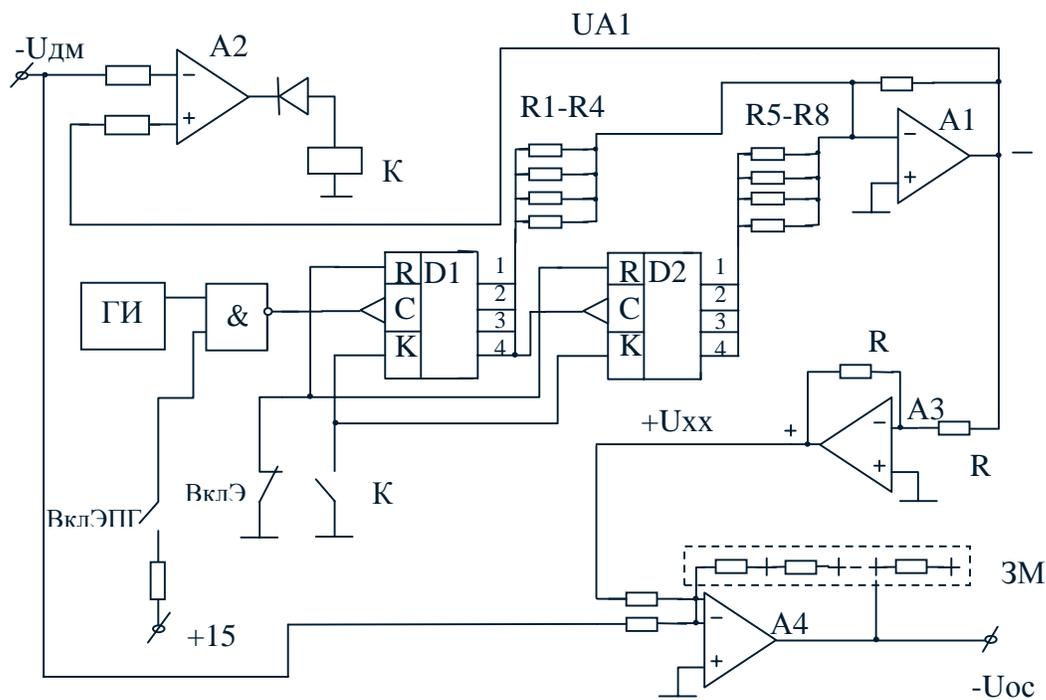


Рис.3.4.18. Функциональная схема канала обратной связи

Выходной сигнал $U_{A1} = U_{дмхх}$ инвертируется и в усилителе–сумматоре A4 компенсирует сигнал $U_{дмхх}$. Возврат счетчика D1, D2 в исходное состояние, при котором $U_{A1} = 0$, производится н.з. контактом при выключении ЭПГ.

3.4.7. Программно – аппаратная реализация САУР

Программный модуль САУР в качестве исходных данных имеет оцифрованный сигнал ДМ $U_{дмi}$, дискретный сигнал “ЭПГ вкл / выкл” $ВГ = 1/0$, постоянные параметры, характеризующие данный РР и хранящиеся в библиотеке типовых режимов ППЗУ: уставка момента M_0 ; значения уровней M_1, M_2 ; выдержка времени на окончание переходного процесса $t_{ПП}$ ЭПГ в таймерных интервалах $N = t_{ПП} / \Delta t_i$ (Δt_i – время таймерного интервала); постоянная времени интегрирования T_{PM} ; максимальная скорость подачи S_{max} .

Алгоритм реализуется на основе уравнений :

$$M_{ki} = M_i - M_{xx} ;$$

$$M_{xx} = M_{i-N} \text{ при } ВГ = 1 \text{ и } \Sigma i \geq N;$$

$$M_{ki} < M_1 \rightarrow S_i = S_{\max};$$

$$M_{ki} \geq M_1 \rightarrow S_i = 0;$$

$$\Delta M_i = M_0 - M_{ki};$$

$$S_i = 1 / T_{pm} \cdot \Sigma \Delta M_i;$$

$$M_{ki} < M_2 \rightarrow S_i = 1 / T_{pm} \cdot \Sigma \Delta M_i;$$

$$M_{ki} \geq M_2 \rightarrow S_i = 0;$$

Блок – схема алгоритма приведена на рис.3.4.19.

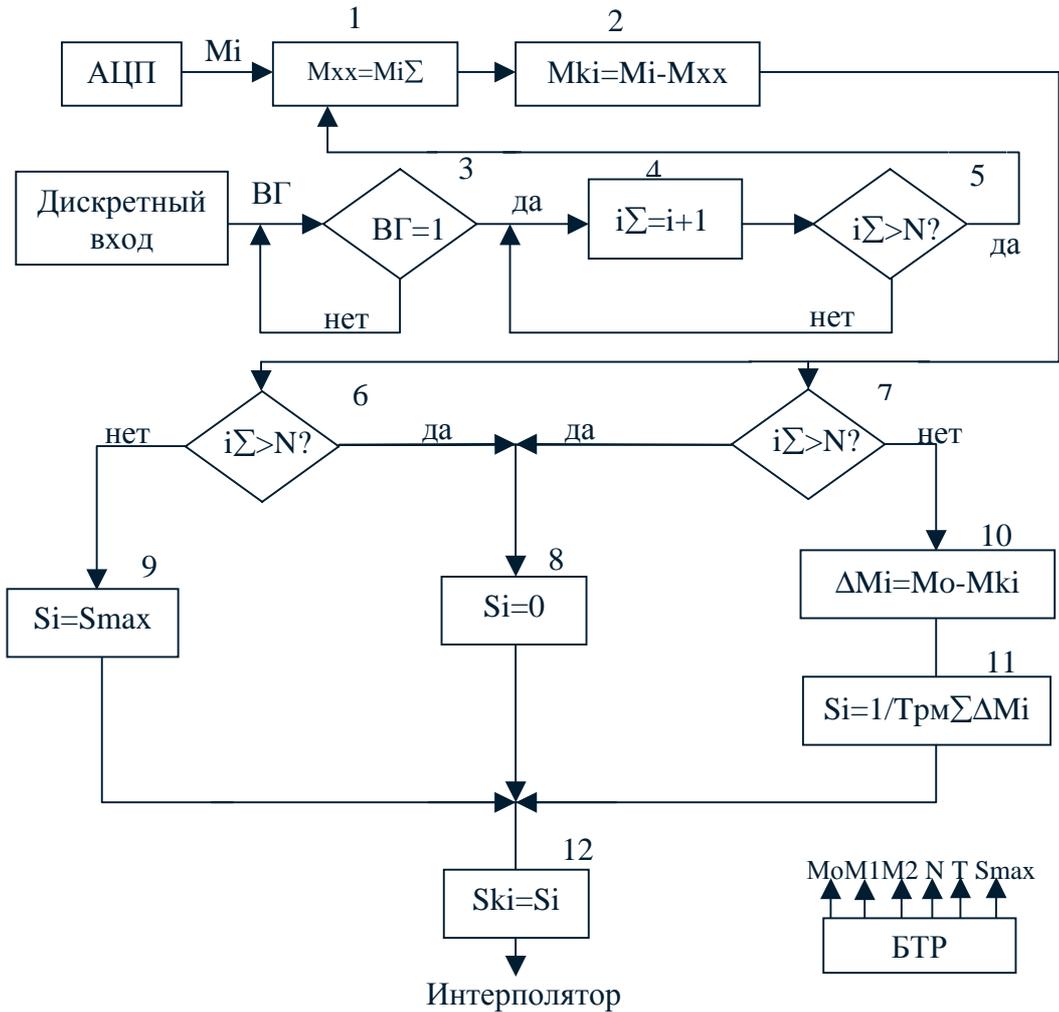


Рис.3.4.19. Программная реализация САУР



Рис.3.4.20. Распределение времени таймерного интервала на решение задач ЧПУ

По условиям ТЗ суммарное время исполнения алгоритма не должно превышать 10% от времени таймерного интервала (1 мС), поэтому необходимо рассчитать суммарное время исполнения алгоритма САУР, чтобы не « запортить » остальные алгоритмы функционирования СЧПУ (рис.3.4.20).

3.4.8. Расчет повышения производительности обработки

Среднее повышение подачи при черновом торцевом фрезеровании (режим 1 по заданию 2.1) зависит от заданного значения среднеквадратического отклонения припуска σ . При повышении подачи уменьшается время обработки и повышается штучная производительность. Рассчитав процентное сокращение времени обработки для 1-го режима , принять аналогичное уменьшение для 2-го и 3-го режима, определить годовую штучную производительность при обработке с САУР и сравнить ее с производительностью обработки с фиксированными РР.

3.4.9. Уменьшение приводной ошибки

По условиям ТЗ расчетные значения приводной ошибки в задании 2.6 необходимо уменьшить в 5 раз. Исходными данными являются – значение ошибки $\Delta_{пр}$, максимальная величина контурной скорости $S_{k \max}$, частотная характеристика СЭП. Требуемое значение приводной ошибки : $\Delta_3 \leq \Delta_{пр} / 5$.

Максимальным перемещением задаемся в пределах $x_{\max} \leq 1...2$ мм. Требуемый коэффициент усиления разомкнутого СЭП: $K_{\text{раз}} \geq x_{\max} / \Delta_3$.

Частота эквивалентного воздействия определяется по ЛАЧХ разомкнутого СЭП (рис.3.4.21).

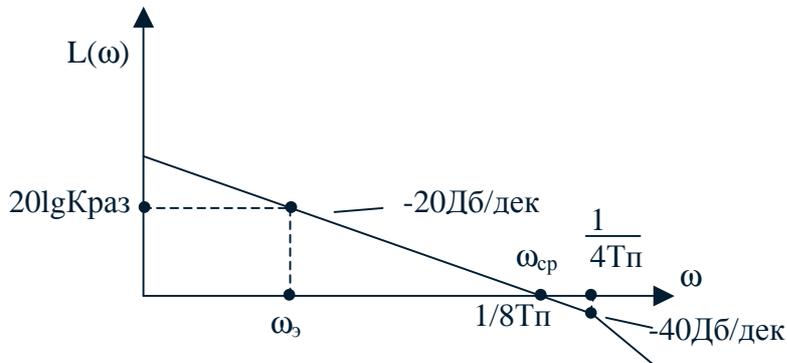


Рис.3.4.21. Определение частоты эквивалентного гармонического воздействия по ЛАЧХ разомкнутого СЭП

Входное воздействие формируем по закону , иллюстрируемого рис.3.4.22.

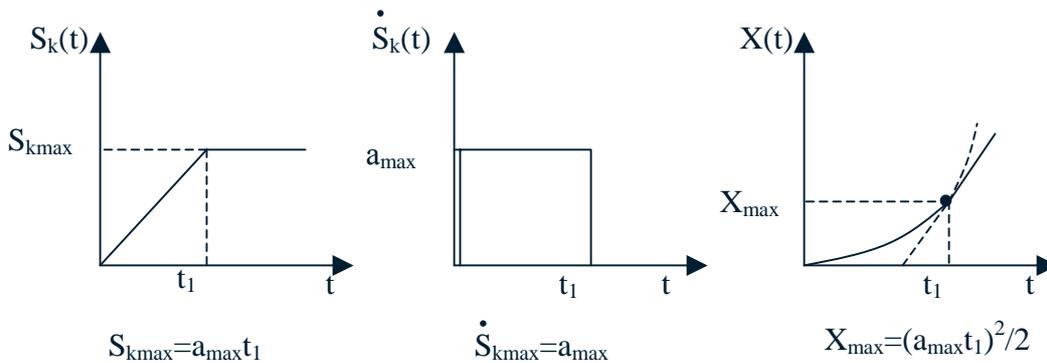


Рис.3.4.22. Изменение $X(t)$, $S_k(t)$, $\dot{S}_k(t)$ при линейном задании на входе контура скорости

Время t_1 определяется из соотношения : $t_1 = \omega^{-1}$.

Требуемое ускорение ЭПП: $\dot{S}_{k \max} = a_{\max} = S_{k \max} / t_1$.

3.4.10. Уменьшение ошибки упругой деформации

Для заданной по рис.3.1.3 детали рассчитываем нормальные к контуру обрабатываемой детали усилия упругого отжатия в соответствии с 2-м режимом по заданию 2.1 и строим профилограмму обработанной поверхности (рис.3.1.23).

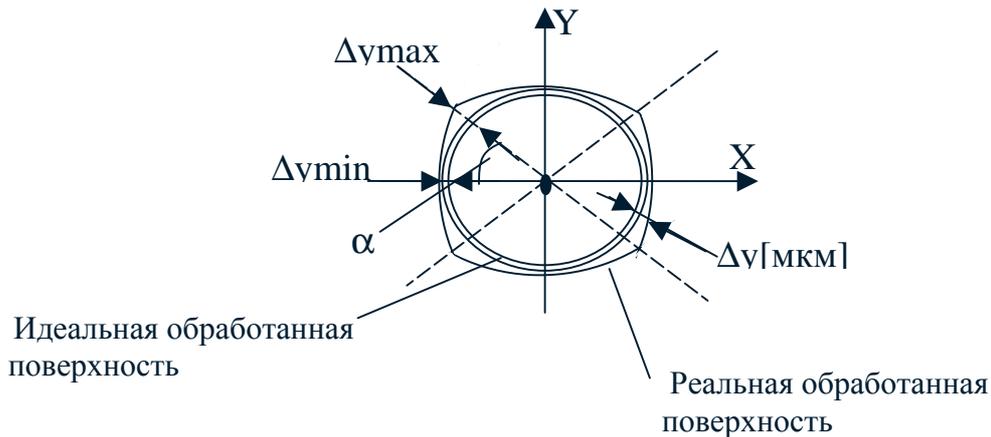


Рис.3.4.22. Профилограммы обработанной поверхности

При стабилизации усилия резания (при $\omega_r = \text{const}$ – момента, тока, мощности) на уровне $F_0 = F (b = b_{\min})$ ошибка упругой деформации будет относительно постоянной $\Delta_y \cong \Delta_{y\min}$ (без учета изменения направления вектора усилия) и ее можно скомпенсировать путем введения коррекции на радиус (смещение эквидистантной траектории фрезы на величину $-\Delta_{y\min}$) в СЧПУ. Или, зная фактические перемещения x_i, y_i по осям координат в каждый i – тый момент времени при помощи датчиков перемещений, можно рассчитывать величину корректирующих поправок по формулам:

$$\alpha_i = \arctg y_i / x_i; \Delta_{xi} = \Delta_{y\min} \cdot \cos \alpha_i; \Delta_{yi} = \Delta_{y\min} \cdot \sin \alpha_i.$$

3.4.11. Компенсация кинематических ошибок и люфта

В соответствии с рис. 3.1.4 и данными таблицы 3.2.2 алгоритмы компенсации кинематических ошибок по координате X (ход стола):

$$X_{ki} = X_i - X_i \cdot \Delta_{k1} / L_{1k}, \quad 0 < X_i \leq L_{1k};$$

$$X_{ki} = X_i - \Delta_{k1}, \quad L_{1k} < X_i \leq L_{2k};$$

$$X_{ki} = X_i - \Delta_{k1} + X_i \cdot \Delta_{k1} / L_{3k}, \quad L_{2k} \leq X_i \leq L_{3k};$$

$$X_{ki} = X_i + X_i \cdot \Delta_{k2} / L_{4k}, \quad L_{3k} \leq X_i \leq L_{4k};$$

$$X_{ki} = X_i + \Delta_{k2}, \quad L_{4k} \leq X_i \leq L_{5k};$$

$$X_{ki} = X_i + \Delta_{k2} - X_i \cdot \Delta_{k2} / L_{ст}, \quad L_{5k} \leq X_i \leq L_{ст}.$$

Для координаты Y (ход салазок) значения L_{1k}, \dots, L_{5k} следует принять пропорциональными значениям для координаты X с учетом полного хода салазок. На основании вышеприведенных уравнений строится блок – схема алгоритма. По заданным размерам обрабатываемого круга строится профилограмма погрешности обработки с введением компенсации и без нее. Значение величины люфта рассчитывается каждый таймерный интервал по аналогичным уравнениям $\Delta_{ли} = \Delta_{л1} \cdot X_i / L_{1k}$, но компенсация поправок вводится только при реверсе координаты, т.е. при изменении знака $\text{sign } S_x = \pm 1$.

3.4.12. Компенсация износа инструмента

По данным рис.3.1.5 и таблицы 3.2.2 записываем алгоритм компенсации :

$$N_1 = t_{p1} / \Delta t_i; N_2 = t_{p2} / \Delta t_i; N_3 = T_2 / \Delta t_i; N_i = \Sigma \Delta t_i / \Delta t_i;$$

$$h_i = h_1 \cdot N_i / N_1; \quad 0 \leq N_i \leq N_1;$$

$$h_i = h_1 + (h_2 - h_1) \cdot (N_i - N_1) / (N_2 - N_1), \quad N_1 \leq N_i \leq N_2;$$

$$h_i = h_2 + (h_{\max} - h_2) \cdot (N_i - N_2) / (N_3 - N_2), \quad N_2 \leq N_i \leq N_3.$$

Значения h_i представляют собой износ по задней грани режущей кромки фрезы, размерный износ вычисляется с учетом главного угла в плане :

$$h_{pi} = h_i \sin(90^\circ - \varphi_{пл}). \text{ Для стандартных фрез } \varphi_{пл} \cong 75^\circ.$$

По расчетному времени резания t_p при обработке круга определяется размерный износ, вводимая коррекция на радиус эквидистантной траектории $R_i = D_2 / 2 - h_{pi}$ и строится профилограмма погрешности обработки без компенсации износа и с ней.

3.4.13. Реализация алгоритмов СТД

Вначале строятся расчетные кривые переходных процессов $\omega(t)$, $M(t)$ 2-х зонного ЭПГ при пуске на максимальную скорость (рис.3.4.24).

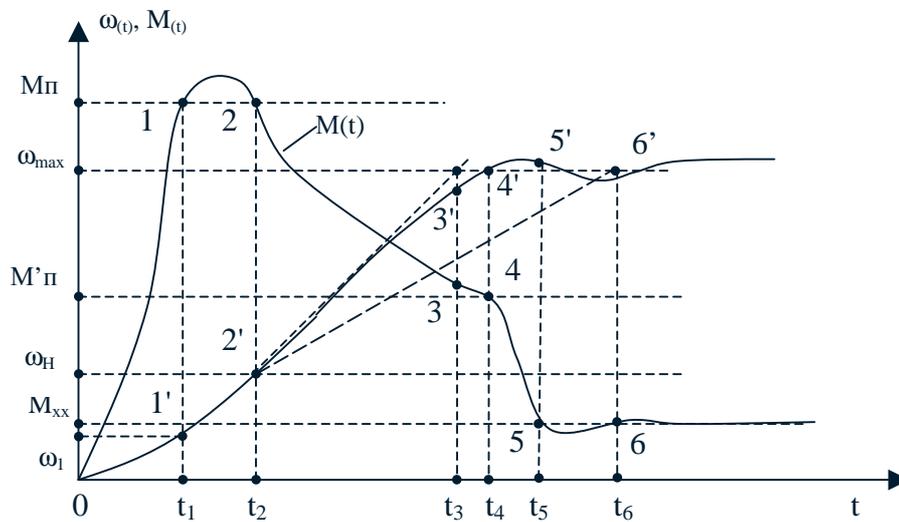


Рис.3.4.24. Переходные процессы при пуске 2-х зонного ЭПГ на максимальную скорость

Интервалы времени определяются по уравнениям :

$$t_1 = 4,7 T_{\mu c} ;$$

$$\omega_1 \cong t_1 (M_{\pi} - M_{xx}) / 2J_{\Sigma} ;$$

$$t_2 - t_1 \cong J_{\Sigma} \cdot (\omega_H - \omega_1) / (M_{\pi} - M_{xx}) ;$$

$$t_3 - t_2 \cong J_{\Sigma} \cdot (\omega_{max} - \omega_H) / (M_{\pi} - M_{xx}) ;$$

$$t_6 - t_2 \cong J_{\Sigma} \cdot (\omega_{max} - \omega_H) / (M'_{\pi} - M_{xx}) ;$$

$$M'_{\pi} \cong M_{\pi} \cdot \omega_H / \omega_{max} ;$$

$$t_4 - t_2 \cong (t_6 - t_2) + (t_3 - t_2) / 2 ;$$

$$t_5 - t_4 \cong \sqrt{(T_{\mu c} \cdot T_{\mu T})} ,$$

где –малые $T_{\mu c}$, $T_{\mu T}$ нескомпенсированные постоянные времени контура тока и скорости (при настройке обоих контуров на технический оптимум и наименьшей постоянной времени контура тока $T_{\text{мин}} = T_{\mu T} : T_{\mu T} = 2T_{\mu T}$, $T_{\mu c} = 4T_{\mu T}$). Значение $M_{\text{хх}}$ принять 15% от $M_{\text{н}}$.

В контрольных точках 1 – 6, 1' – 6' устанавливаются контрольные значения $M(t)$ и $\omega(t)$. Соответствующие интервалы времени задаются программным таймером. Блок – схему алгоритма сравнения эталонных расчетных кривых и фактических предлагается разработать самостоятельно.

3.5. Оформление курсового проекта

Курсовой проект должен иметь следующие обязательные разделы :

- титульный лист (пример оформления см. приложение 1);
- введение;
- исходные технические требования ;
- техническое задание ;
- расчетно – пояснительная часть ;
- заключение ;
- список литературы.

Каждый лист обрамляется рамкой с полями по 5 мм справа , снизу и сверху и слева 20 мм .

Внизу листа располагается штамп 185×15 мм , в котором проставлена нумерация листа , год разработки , специальность (направление) , шифр группы и № варианта.

КП – АЭП МС– 1804 – АД51– 15 – 2001	22
-------------------------------------	----

Расчетно – пояснительная часть может оформляться с 2-х сторон листа ; рисунки и чертежи выносятся на отдельные листы белой бумаги с одной стороны.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

КАФЕДРА « ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ
УСТАНОВОК »

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

“Разработка систем автоматического управления электроприводами тяжелого фрезерно –
сверлильно – расточного станка”.

Вариант №15

Выполнил студент гр. Ад – 51

Иванов И.И.

Руководитель проекта доц.

Петров П.П.

Ульяновск 2001

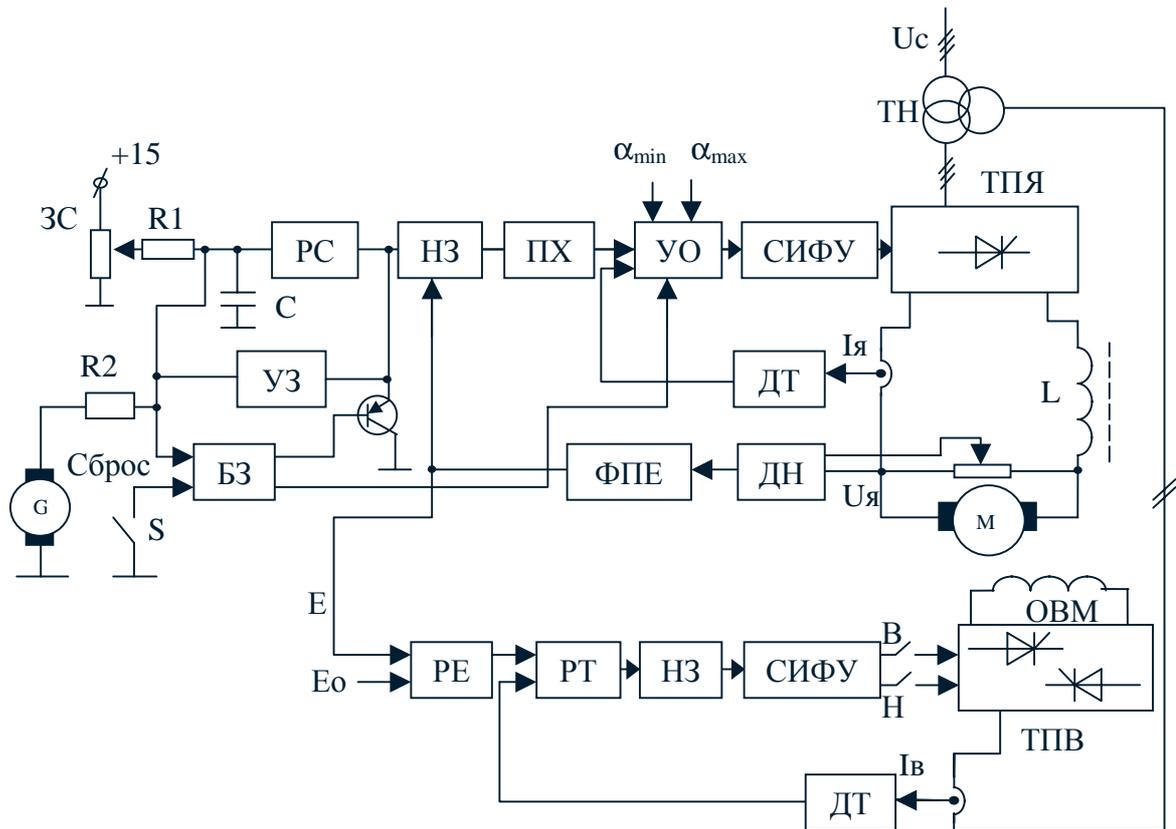


Рис.П2.2. Функциональная схема 2-х зонного ЭПГ с реверсом по полю.

ТПВ – реверсивный 2-комплектный однофазный тиристорный преобразователь возбуждения; остальное – по рис. П2.1.

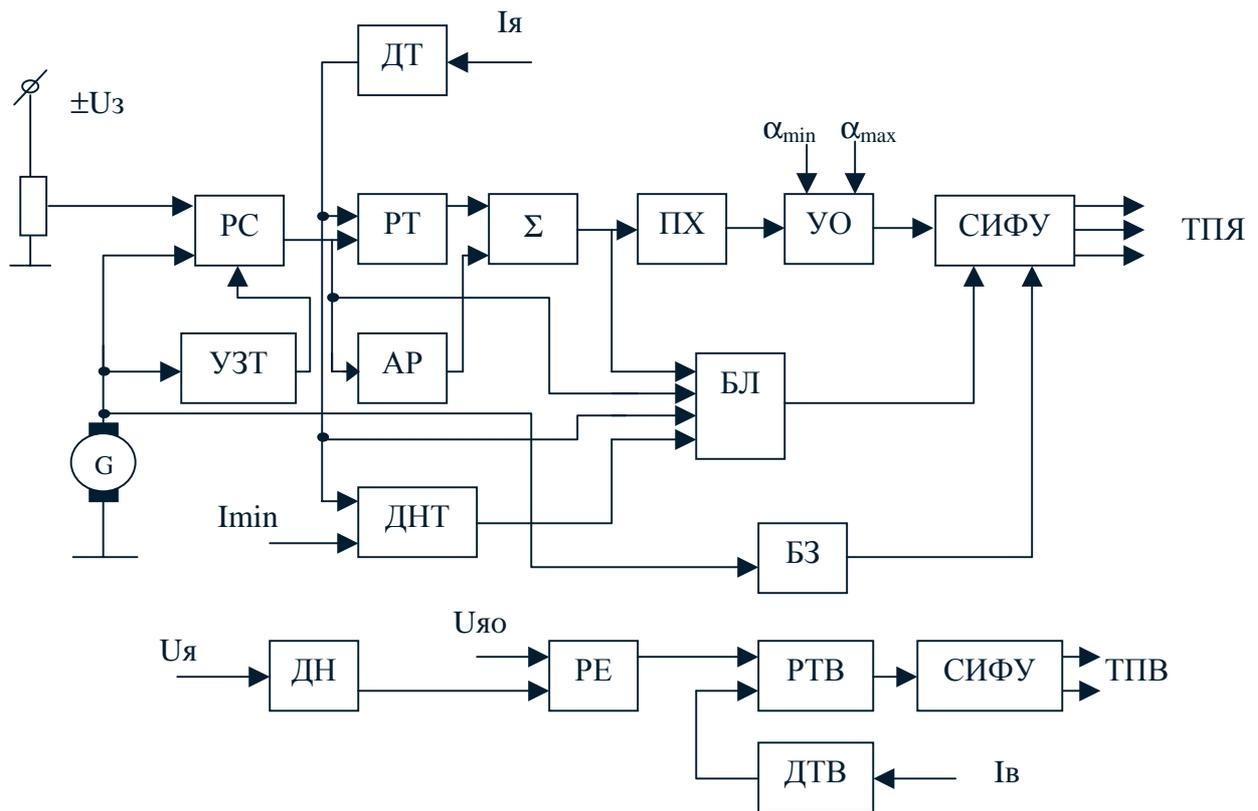


Рис.П2.3. Функциональная схема ЭПГ «Мезоматик-V».

АР – адаптивный регулятор, ДНТ – датчик нулевого тока, остальное – по рис. П2.1.

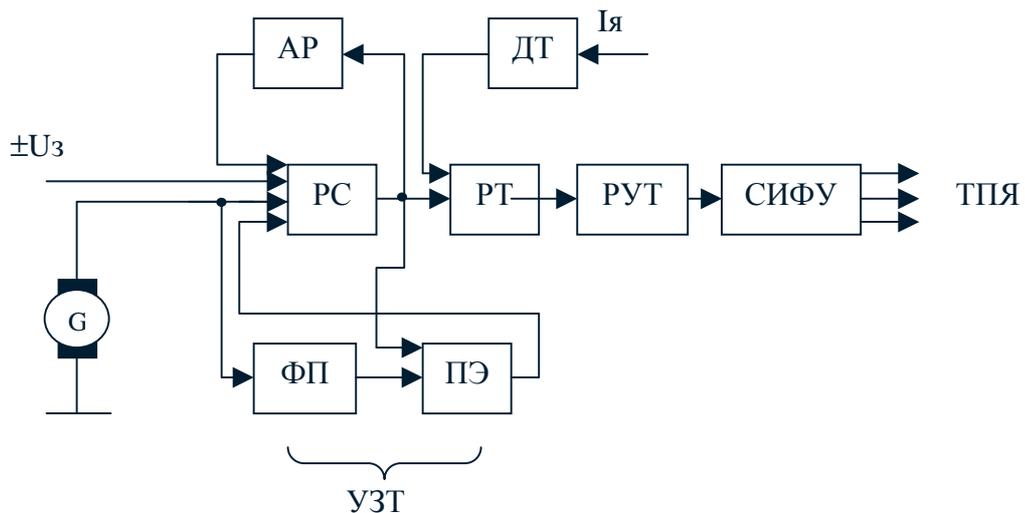


Рис.П2.4. Функциональная схема однофазного широкорегулируемого ЭПП типа «Кемток».

АР – адаптивный регулятор, РУТ – регулятор уравнивающего тока; ФП – функциональный преобразователь; ПЭ – пороговый элемент.

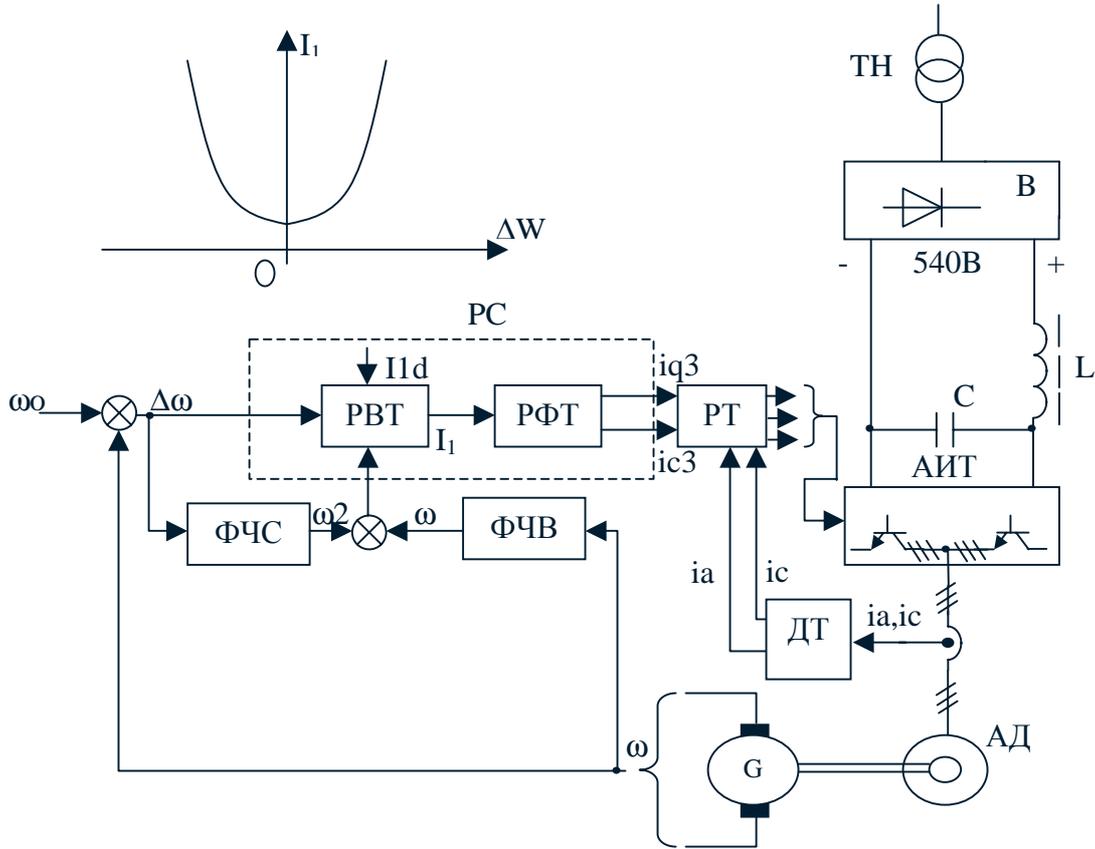


Рис.П2.5. Функциональная схема частотно-регулируемых ЭП типа «Размер-2М», ЭПА-1. АИТ – транзисторный автономный инвертор тока ;РВТ – регулятор векторного тока статора; РФТ – регулятор фазных токов ; ФЧС,ФЧВ – формирователи частоты скольжения и вращения.

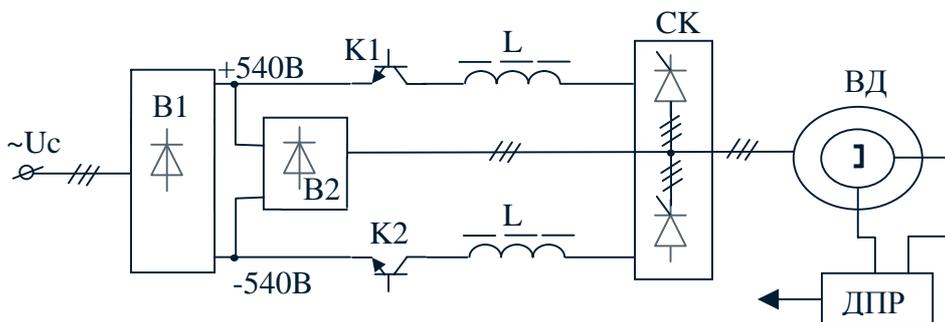


Рис.П2.6. Функциональная схема силовой части вентильного ЭП типа ЭПБ-1.

В1 – силовой выпрямитель; В2 – мост возврата реактивной мощности ; СК – силовой коммутатор ; К1,К2 – ШИМ ключи.

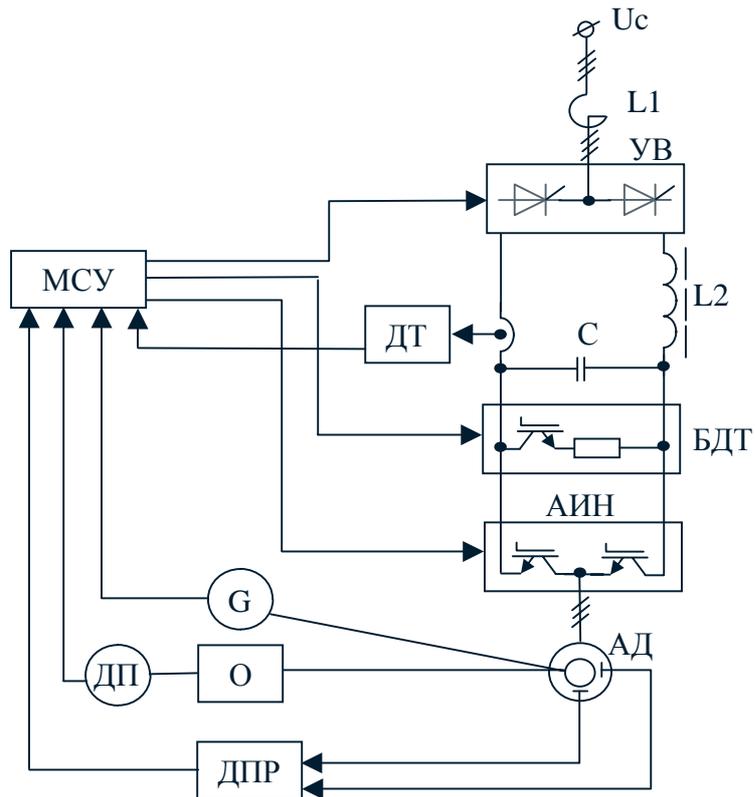


Рис.П2.7. Функциональная схема частотно-регулируемого ЭП типа АТО5 с трансвекторным управлением корпорации Триол.

МСУ – микропроцессорная система управления ; ДП – датчик положения рабочих органов объекта О ; ДПР – датчик составляющих потока ротора ; БДТ – блок динамического торможения ; АИН – автономный инвертор напряжения с ШИМ.

Список рекомендуемой литературы

1. Справочник технолога – машиностроителя М.: Машиностроение , 1972.
2. Сандлер А.С. Электропривод и автоматизация металлорежущих станков. М.: Высшая школа , 1972.
3. Шапиро И.Л. Электропривод тяжелых металлорежущих станков. М.: Машиностроение , 1964.
4. Соколов М.Г., Елисеев В.А. Расчеты по автоматизированному электроприводу металлорежущих станков. М.: Высшая школа, 1970.
5. Комплектные системы управления электроприводами тяжелых металлорежущих станков./ Под ред. Поздеева А.Д. М.: Энергия , 1980.
6. Чернов Е.А., Кузьмин В.П. Комплектные электроприводы станков с ЧПУ. Справочное пособие. Горький, Волго – Вятское книжное издание , 1989.
7. Михайлов О.П. Динамика электромеханического привода металлорежущих станков. М.: Машиностроение , 1989.
8. Андреев В.И., Кондриков А.И., Босинзон М.А. Электроприводы главного движения металлорежущих станков с ЧПУ. М.: Машиностроение, 1980.
9. Поздеев А.Д. и др. Динамика вентильного электропривода постоянного тока. М.: Энергия, 1975.
10. Зимин Е.Н., Кацевич В.Л., Козырев С.К. Электроприводы постоянного тока с вентильными преобразователями. М.: Энергоатомиздат, 1982.
11. Электроприводы и электродвигатели для ГПМ и ГПС. Методические рекомендации. М.: ВНИТЭМР, 1986.
12. Коробко А.В., Коваль М.И. Расчет режимов резания для станков с автоматическим управлением процесса резания. Методические рекомендации. М.: ВНИИТЭМР, 1986.

13. Елисеев В.А. , Шинянский А.В. Справочник по автоматизированному электроприводу. М.: Энергоатомиздат, 1983.
14. Справочник по проектированию автоматизированного электропривода и систем управления технологическими процессами./ Под ред. Круповича В.И., Барыбина Ю.Т, Самовера М.Л. М.: Энергоатомиздат, 1982.
15. Сосонкин В.Л. Микропроцессорные системы ЧПУ станками М.: Машиностроение, 1985.
16. Михеев В.Н., Сосонкин В.Л. Системы адаптивного управления станками. М.: Машиностроение, 1978.
17. Пум Э.А., Сосонкин В.Л. Автоматические станочные системы. М.: Машиностроение, 1972.
18. Расчет автоматических систем./ Под ред. Фатеева В.А. М.: Высшая школа, 1973.
19. Фишбейн В.Г. Расчет систем подчиненного регулирования вентильным электроприводом постоянного тока. М.: Энергия, 1972.
20. Лебедев Е.Д., Неймарк В.Е., Тметрак М.Я. Управление вентильными электроприводами постоянного тока. М.: Энергия, 1972.
21. Эпштейн Н.И. Автоматизированный электропривод переменного тока. М.: Энергия, 1988.
22. Сандлер А.С., Сарбантов Р.С. Автоматическое частотное управление асинхронными двигателями. М.: Энергия, 1974.
23. Мейстель А.М., Найдис В.А., Харсонский Ю.Н. Комплектные тиристорные устройства для управления асинхронными электроприводами. М.: Энергия, 1971.
24. Пальков В.Д. Методы и средства диагностирования металлообрабатывающего оборудования автоматизированного производства. Методические рекомендации. М.: ВНИИТЭМР, 1985.
25. Нахапетян Е.Г. Диагностика оборудования гибкого автоматизированного производства. М.: Наука, 1985.

26. Коваль М.И., Коробко А.В. Система технической диагностики тяжелых и уникальных станков.// Станки и инструмент. 1990, №12.
27. Коваль М.И. , Коробко А.В. Система управления тяжелым ГПМ.// Станки и инструмент. 1992, №2.
28. Коробко А.В., Крончев Г.И. Контроль состояния инструмента на многоцелевых станках.// Станки и инструмент. 1992, №2.
29. Коробко А.В., Коваль М.И. Особенности расчета автоматически регулируемых процессов резания.// Станки и инструмент. 1986, №3.