***Дано:***

*Δϕ∑ = 2,5* ′

*Ωвв = 0,5 рад/с*

*Мн = 0,8 Нм*

*Jн = 0,3 Нмс²*

# εн = 0,7 рад/с²

*δ = 30 %*

*tпп = 0,3 с*

***Найти:***

1. *Составляющие* ***Δϕ∑*** *для определения добротности и коэффициент усиления усилителя.*
2. *Выбрать тип измерительного элемента и привести его характеристики , крутизну К1 и число каналов измерительной части .*
3. *Выбрать тип исполнительного элемента и привести его характеристики ,определить СΩ ,См ,Тм с учетом нагрузки , определить передаточное отношение редуктора .*
4. *Определить коэффициент усиления усилителя .*
5. *Начертить функциональную и структурную схемы нескорректированой системы , составить передаточные функции отдельных звеньев и системы в целом .*
6. *Построить ЛАЧХ нескорректированой системы и желаемую ЛАЧХ.*
7. *Определить вид и параметры корректирующего устройства (коррекция с обратной связью).*
8. *По ЛАЧХ скорректированой системы определить запас устойчивости по модулю и фазе , приблизительно оценить время переходного процесса в системе и величину перерегулирования при единичном ступенчатом воздействии на входе.*
9. *Начертить структурную схему скорректированой системы и записать ее передаточную функцию.*
10. *Построить переходной процесс одним из численных методов с приме-нением ЭВМ.*
11. *Определить время переходного процесса и величину перерегулирования и сравнить со значениями , полученными приближенно в пункте 8.*



## Расчетная часть

***1.***

*Δϕ∑ = Δϕиэ +Δϕ> +Δϕзз +Δϕл +Δϕмш +Δϕск +Δϕуск*

*Δϕ∑ – суммарная погрешность;*

*Δϕиэ – погрешность измерительного элемента ( должна быть меньше либо равна половине суммарной погрешности ) ;*

*Δϕ> – погрешность, вносимая усилителем – преобразователем ( в маломощных системах работающих на переменном токе , погрешность усилителя связанная с дрейфом нуля отсутствует ) ;*

*Δϕзз – погрешность зоны застоя ( зависит от конструкции двигателя и коэффициента усиления усилителя и в целом от коэффициента усиления разомкнутой системы ) ;*

*1*

*Δϕзз = Ку*

*Δϕл – погрешность люфта кинематической передачи ( используя разрезанные шестерни стянутые пружинами, а так же специальные двухдвигательные схемы для выборки люфта, т.е. два двигателя один из которых выполняет роль исполнительного, а второй создает тормозной эффект. Они связаны с выходной первичной шестерней и выполняют роль распорного устройства, т.е. поддерживает положение шестерни редуктора в одном из выбранных крайних положений. Эту погрешность можно принять равной нулю);*

*Δϕмш – механическая погрешность шестерен ( присутствует обязательно. Для высокоточных систем в лучшем случае ее можно считать равной одной угловой минуте ) ;*

*Δϕск – скоростная погрешность ( для ее устранения используем комбинированную систему , т.е. на входную ось ставится тахогенератор );*

*Н*

***Д***

П

###### ИД

***β***

***α***

Т Г

*Δϕуск – погрешность по ускорению , требующегося , по заданию , обеспечить на выходном валу.*

***εн*** *1*

*Δϕуск = К ( Ту + Тм – К )*

*Из выше изложенного следует :*

*Δϕ∑ = Δϕиэ +Δϕзз +Δϕмш +Δϕуск*

***2.***

### Так как 0,5Δϕ∑ ≥ Δϕиэ в качестве измерительного элемента используем синусно-косинусный вращающийся трансформатор типа ВТ-5.

### Параметры ИЭ:

### **U**п **= 40 В** ; **Δϕиэ = 1 ′;**

***f = 500 Гц ; m = 600 г ;***

***К1 = 5 мВ/угл. мин.***

***3.***

#### В качестве исполнительного элемента используем двухфазный асинхронный двигатель переменного тока , который обладает малой инерционностью и малой постоянной времени.

Для определения типа исполнительного двигателя рассчитаем требуемую мощность:

*Мн ⋅ Ωвв 0,8 Нм ⋅ 0,5 рад/с*

*Ртр = η = 0,9 = 0,43 Вт*

### Так как мощность реального двигателя в 2-3 раза больше Ртр выбираем двигатель из семейства двигатель-генератор типа ДГ-2ТА.

### Параметры ИД:

***Рном = 2 Вт ; Uу = 30 В ;***

***Пном = 16000 об/мин ; Тм = 0,05 с ;***

***Мном = 18*** *⋅* ***10ˉ Нм ;*** *Jд* ***= 1,4*** *⋅* ***10ˉ Нм ;***

***Мп = 34*** *⋅* ***10ˉ Нм ; Uтр = 0,5 В .***

*Проверим этот двигатель на выполнение условия по перегрузке:*

***М****н +Jнεн****0,8 Нм + 0,3 Нмс²·0,7 рад/с²***

***iо =*** *Jдεн****= 1,4*** *⋅* ***10ˉ Нм ·0,7 рад/с² = 10300***

***Мн*** *Jн* ***0,8 Нм 0,3Нмс²***

***Мтр = iо****η +* ***iо*** *+ Jд* ***iо*** *εн****=******10300 ·0,9*** *+* ***10300*** *+* ***1,4*** *⋅* ***10ˉ*** *⋅*

*⋅* ***Нмс²****⋅* ***10300*** *⋅* ***0,7 рад/с² = 2,05*** *⋅* ***10ˉ Нм***

*Проверка :* ***Мтр 2,05****⋅* ***10ˉ Нм***

1. ***Мном = 18*** *⋅* ***10ˉ Нм = 0,11 < 2*** *условие выполнено*

*2. Ωтр* ***=*** *Ωн* ***iо = 0,5 рад/с*** *⋅* ***10300 = 5150 рад/с***

***π пном 3,14*** *⋅* ***16000***

*Ωном* ***= 30 = 30 = 1675 рад/с***

*Ωном****<****Ωтр*

***1675<5150***

*условие не выполнено*

Случай , когда выполняется требование по моменту (ускорению), характерен для двигателей переменного тока . Очевидно, если двигатель , имеющий запас по мощности , не удовлетворяет требованию по скорости, то , изменяя передаточное отношение редуктора, можно согласовать соотношение между требуемой и располагаемой мощностями. Новое передаточное отношение можно определить по выражению:

Ωном **1675**

**i =** Ωвв **=**  **0,5 = 3350**

Если при найденном значении **i** выполняется условие **Мтр/Мном ≤ 2** , то выбор ИД можно считать законченным , т.к. этот двигатель удовлетворяет обоим условиям по обеспечению требуемой скорости и ускорения выходного вала.

Проверка:

***Мн*** *Jн* ***0,8 Нм 0,3Нмс²***

***Мтр = i****η +* ***i*** *+ Jд* ***i*** *εн****=******3350 ·0,9*** *+* ***3350*** *+* ***1,4*** *⋅* ***10ˉ*** *⋅*

*⋅* ***Нмс²****⋅* ***3350*** *⋅* ***0,7 рад/с² = 2,78*** *⋅* ***10ˉ Нм***

***Мтр 2,78****⋅* ***10ˉ Нм***

***Мном = 18*** *⋅* ***10ˉ Нм = 0,15 < 2*** *условие выполнено*

##### Определение коэффициентов СΩ ,См ,Тм с учетом нагрузки:

***Мп 34****⋅* ***10ˉ Нм***

***См = Uу = 30 В = 1,13****⋅* ***10ˉ Нм/В***

***30(Мп –Мном) 30 ( 34****⋅* ***10ˉ Нм - 18****⋅* ***10ˉ Нм )***

***вдв = π пном = 3,14****⋅* ***16000 об/мин = 9,6****⋅* ***10ˉ Нм***

***См 1,13****⋅* ***10ˉ Нм/В***

***СΩ = вдв = 9,6****⋅* ***10ˉ Нм = 117 рад/В****⋅ с*

*Найдем количество ступеней редуктора:*

***iред = 3350 = i12****⋅* ***i34****⋅* ***i56****⋅* ***i78 = 4*** *⋅* ***5*** *⋅* ***12*** *⋅* ***14 = 3360***

*Н*

***ИД***

***i78***

***i56***

***i34***

***i12***

***4.***

Для питания обмоток управления асинхронного двигателя целесообразно применить усилитель переменного тока на полупроводниковых элементах. Передаточную функцию усилителя запишем так:

***Ку*** *\_*

***Wу(Р) = ТуР*** *+* ***1*** *,**где* ***Ту = 0,02 с***

*Найдем* ***Ку*** *исходя из заданной суммарной погрешности:*

*Δϕ∑ = Δϕиэ +Δϕзз +Δϕмш +Δϕуск ,*

*где*

*Δϕ∑ =* ***2,5'*** *Δϕиэ =* ***1,0'*** *Δϕмш=* ***1,0'***

*Δϕзз+Δϕуск = Δϕ∑ - (Δϕиэ+Δϕмш)=* ***2,5' - 1' – 1'*** *=* ***0,5'***

***εн*** *1*

*Δϕуск = К ( Ту + Тм – К )*

*1*

*Δϕзз = Ку*

#### Пусть добротность **К** = **600 1/с** , тогда

***0,7****·****3438'***  *1*

*Δϕуск =* ***600*** *· (* ***0,02*** *+* ***0,1*** *–* ***600*** *) =* ***0,47'***

*Отсюда вычислим* ***Ку:***

***1\_***

***К = К1 · Ку · СΩ · Кред*** *, где* ***Кред = iред***

***( К⋅ iред ) ( 600 1/с · 3350 ) \_***

***Ку = ( К1· СΩ ) = ( 5 · 10ˉ³ В/угл.мин · 117 · 3438'/В · с ) = 1000***

***1 \_***

*Δϕзз* ***= 1000 = 0,001***

*ΔϕΣ =* ***1'*** *+* ***1'*** *+* ***0,001'*** *+* ***0,47' = 2,471'***

*ΔϕΣр* ***<*** *ΔϕΣз*

*условие выполнено*

***5.***

***Передаточные функции отдельных звеньев:***

Так как в параллель измерительному элементу ставим тахогенератор,

*в системе будет отсутствовать скоростная ошибка если:*

*К1 5 мВ/угл.мин*

*КТГ = К = 600 1/с = 0,008 мВ·с / угл.мин*

*Крутизна тахогенератора :*

*КТГ = 1÷ 5 мВ/об/мин*

*3 мВ·с\_*

*Выберем КТГ = 3 мВ/об/мин = 0,1·3438΄ = 0,008 мВ·с/ угл. мин*

***WТГ***

***W1***

***Wред***

***Wдв***

***Wу***

***W1(Р) = К1 ;***

***WТГ(Р)= КТГР ;***

***1000*** *\_*

***Wу(Р) = (0,02Р*** *+* ***1) ;***

***СΩ*** *\_* ***117 \_***

***Wдв(Р) = Р(ТмР*** *+* ***1) = Р(0,1Р*** *+* ***1) ;***

*Передаточная функция исходной системы:*

***К*** *\_* ***600 \_***

***Wисх(Р) = Р(ТмР*** *+* ***1)(ТуР*** *+* ***1) = Р(0,1Р*** *+* ***1)(0,02Р*** *+* ***1)***

***Проверка на устойчивость системы:***

***1 1***

***К ≤ Ту*** *+* ***Тм***

***600 ≤ 1/0,02 + 1/0,1***

***600 ≤ 60***

*условие не выполняется*

*( система не устойчива )*

***6.***

***L*/*W(jω)*/*:***

***20 lgК = 20 lg600 = 20 · 2,7782 = 55***

***ωу = 1/Ту = 1/0,02 = 50 1/с ;***

***lg50 = 1,7***

***ωд = 1/Тм = 1/0,1 = 10 1/с ;***

***lg10 = 1,0***

***L*/*Wж (jω)*/*:***

***4****⋅****π 4*** *⋅* ***3,14***

***ωср = tпп = 0,3 = 42 1/с ;***

***lg42 = 1,6***

***ω3 = 3*** *⋅* ***42 = 126 1/с ;***

***lg126 = 2,1***

***ω2 = ω3/10 = 126/10 = 12,6 1/с ;***

***lg12,6 = 1,1***

***ω1 = lg1,15 = 0,06***

***К*** *\_*

***Wисх(jω) = jω (Тм jω*** *+* ***1)(Ту jω*** *+* ***1)***

*К(Т2 jω + 1) \_*

*Wж(jω) = jω (Т1 jω + 1)(Т3 jω + 1)²*

***Φ*/*W****исх* ***(jω)*/*:***

*φисх = -90˚- arctgTy·ω - arctgTM·ω*

*φисх(****ω1****) = -90˚- arctg0,02· 1,15 – arctg0,1· 1,15 = - 98˚*

*φисх(****ω2****) = -90˚- arctg0,02· 12,6 – arctg0,1· 12,6 = - 156˚*

*φисх(****ωср****) = -90˚- arctg0,02· 42 – arctg0,1· 42 = - 207˚*

***Φ*/*Wж(jω)*/*:***

*φж = -90˚- arctgT1·ω –2· arctgT3·ω + arctgT2·ω*

*T1=1/****ω1****=1/1,15=0,87с; T2=1/****ω2*** *=1/12,6= 0,08с; T3=1/****ω3*** *=1/126= 0,008с*

*φж(****ω1****) = -90˚- arctg0,87·1,15 – 2· arctg 0,008· 1,15 + arctg0,08· 1,15 = - 131˚*

*φж(****ω2****) = -90˚- arctg0,87·12,6 – 2· arctg 0,008· 12,6 + arctg0,08· 12,6 = - 139˚*

*φж(****ωср****) = -90˚- arctg0,87· 42 – 2· arctg 0,008· 42 + arctg0,08· 42 = - 140˚*

*φж(****ω3****) = -90˚- arctg0,87· 126 – 2· arctg 0,008· 126 + arctg0,08· 126 = - 186˚*

***Δφ*** *= - 180˚- φж(****ωср)*** *= - 180˚- (- 140˚) = 40˚*

***ΔL*** *= 14дБ*

***7.***

Требуемая ЛАЧХ должна быть получена при введении корректирующего устройства в виде обратных связей ( по заданию ) .

Применение отрицательных обратных связей в качестве корректирующих устройств имеет ряд преимуществ . Они снижают влияние нелинейных характеристик тех участков цепи регулирования , которые охватываются обратными связями, снимают чувствительность к изменению параметров звеньев , уменьшают постоянные времени звеньев, охваченных обратной связью. На практике при проектировании следящих систем обратной связью чаще охватываются усилитеьные и исполнительные устройства.

Передаточная функция части системы , охваченной обратной связью, имеет вид: Wохв(P) \_

Wобщ(P) = (Wохв(P) Wос(P) + 1)

Передаточная функция всей скорректированной системы определяется выражением:

Wск(P) = Wобщ(P) Wн(P)

*где Wн(P) – произведение передаточных функций последовательно включенных звеньев основного канала , не охваченных обратной связью;*

Найдем передаточную функцию обратной связи Wос(P) с использованием передаточной функции системы с последовательным корректирующим устройством.

***Тг***

***β***

***Д***

***α***

***Тг***

***Дв***

***Пр***

***Н***

ДМ

КУ

М

*1 1 \_* *Ky* ***СΩ \_***

*Wос(P) = Wохв(P) Wк(P) – 1 ; Wохв(P) = Р(TyP + 1) (TмP + 1)*

***L*/*Wк (jω)*/***=* ***L*/*Wж (jω)*/***-* ***L*/*Wисх (jω)*/**

По разности этих характеристик определяется тип корректирующего устройства и выбираются его параметры .

*В нашем случае используем часто применяемый в следящих системах с последовательным корректирующим устройством интегродифференци-рующий контур с передаточной функцией:*

*(Т1Р + 1)(Т2Р + 1)*

*Wк(P) = (Т3Р + 1)(Т4Р + 1)*

Известно, что для коррекции обратной связью на основании интегродифференцирующего контура существует передаточная функция:

*Т****'****Р \_*

*Wос(P)= (Т1Р + 1)*

Эта передаточная функция соответствует передаточной функции дифференцирующего контура.

***10.***

*Построим переходной процесс одним из численных методов с приме-нением ЭВМ.*

*Х*

*1,28*

*tпп,c*

*0,3 с*

По этому графику переходного процесса проведем анализ качества следящей системы с выбранным корректирующим устройством.

Переходной процесс характеризуется перерегулированием **δ = 28 %**  и заканчивается за время  **tрег = 0,02 с**

# Список литературы

1. А.А. Ахметжанов, А.В. Кочемасов «Следящие системы и регуляторы» для студентов вузов. - М. : Энергоатомиздат, 1986г.
2. Смирнова В.И., Петров Ю.А., Разинцев В.И. «Основы проектирования и расчета следящих систем». - М. : Машиностроение, 1983г.
3. Бесекерский В.А., Попов Е.П. «Теория систем автоматического регулирования». – М. : Наука, 1972г.