УТВЕРЖДАЮ

Начальник отдела

перспективных разработок

А.Л. Гаврилов

**НАУЧНО-****ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ**

ПО ТЕМЕ «Разработка компьютерной программы, реализующей методику расчета регуляторов для сепаратных каналов САУ»

(Этап 1.2)

**Разработка компьютерной программы, реализующей методику расчета регуляторов для сепаратных каналов САУ.**

**Шифр программы: «cs»**

ИСПОЛНИТЕЛИ

Бурдинов К.А.

Молин Д.А.

Карпов А.И.

Казань 2014

# ПРОГРАММА ДЛЯ РАСЧЕТА СЕПАРАТНЫХ КАНАЛОВ ЦСАУ

«CS»

**Аннотация**

Методика, предложенная ранее Карповым А.И. в отчете по этапу 4.3 (2013г.) и 4.4 (2013г.), реализована в виде прикладной программы. Программу было решено писать на объектно-ориентированном языке программирования C#. В качестве среды разработки использовалась Sharp Develop 5, так как она является бесплатной IDE.

Данная программа способна рассчитывать систему из 2х каналов (азимутальный и угломестный). Алгоритм расчета системы идентичен алгоритму, предложенному в отчете по этапу 4.3. Расчет САУ осуществляется полностью в программе. В программе не учитываются моменты трения на двигателях.

Результатом расчета программы, являются коэффициенты передаточных функций, параметры регуляторов.

Приведено руководство пользователя программы (которое вызывается в программе в разделе *Помощь*) и результаты апробирования разработанной программы в разделе 2.

К программе прилагается исходный код, находится в архиве controller\_synthesis.rar.

Установщик .NET frwmework 4.0 необходимый для работы программы так же находится в корне с программой.

# *1. К алгоритму расчета регуляторов для сепаратных каналов САУ*

Так как все расчёты для отдельных каналов полностью идентичны, то далее будет рассмотрен только один канал (УМ).

## 1.1. Определение параметров математической модели двигателя

В качестве исходных данных используются следующие параметры

Таблица

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| п/п | Параметр | Значение |
| 1 | Скорость холостого хода Ωном, об/мин | 108 |
| 2 | Минимальная частота вращения Ωмин, об/мин | 0,1 |
| 3 | Номинальный момент Мном, Нм | 3,5 |
| 4 | Пусковой момент Мп, Нм | 7,7 |
| 5 | Номинальный ток Iном, А | 6,2 |
| 6 | Пусковой ток Iп, А | 12,5 |
| 7 | Номинальное напряжение питания U, В | 21,6 |
| 8 | Сопротивление статорной обмотки Rс, Ом | 3,09 |
| 9 | Электромагнитная постоянная времени Тэ, мкс | 58,25 |
| 10 | Момент инерции ротора Jр, кгм2 | 0,017 |
| 11 | Момент инерции нагрузки Jн, кгм2 | 0,158 |
| 12 | Максимальный момент сопротивления Mc, Нм | 0,525 |

Используя параметры имеющегося двигателя, определим параметры матмодели:

* скорость холостого хода

где - пусковой момент, - номинальный момент, - номинальная скорость;

* электромеханическая постоянная времени

а) собственно двигателя

где - момент инерции двигателя.

б) двигателя с учетом нагрузки

где - суммарный момент инерции.

* коэффициент передачи по моменту
* коэффициент противоэдс

Упрощенная схема математической модели ЭБМ-320 может быть представлена структурной схемой:

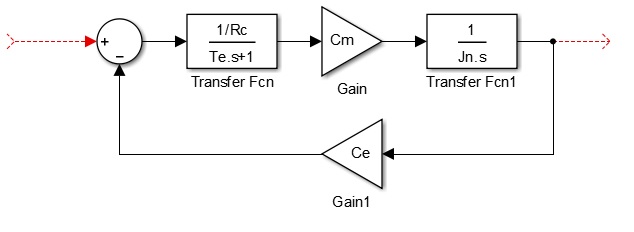


Рисунок 1 - Структурная схема двигателя

Используя параметры математической модели двигателя, найдем передаточную функцию электродвигателя.

где - передаточная функция электродвигателя.

Передаточную функцию электродвигателя можно получить используя электрические параметры.

где - статический коэффициент передачи электродвигателя, - электромагнитная постоянная времени, - электромеханическая постоянная времени.

## Сводная таблица

Далее представлены формулы, используемы в расчете в единую таблицу

Таблица

|  |  |
| --- | --- |
| скорость холостого хода |  |
| электромеханическая постоянная времени двигателя с учетом нагрузки |  |
| суммарный момент инерции |  |
| коэффициент передачи по моменту |  |
| коэффициент противоэдс |  |
|  |  |
| статический коэффициент передачи электродвигателя |  |

## 1.2. Синтез регуляторов

В качестве исходных данных используются следующие параметры

Таблица

|  |  |
| --- | --- |
| Максимальный допустимая ошибка (угл.сек) | 4 |
| Максимальная скорость (град/сек) | 60 |
| Максимальное ускорение (град/сек^2) | 120 |
| Показатель колебательности M (1.05 - 1.25) | 1,1 |
| Точность инвариантности | 0,01 |
| Коэффициент передачи датчика, Кd | 1 |

Можно подобрать эквивалентные гармонические входные возмущающие воздействия:

Синтез проводился частотным методом для изолированных каналов управления линеаризованной системы

Ниже будет рассмотрен синтез регуляторов при выполнении условий устойчивости и требований качества регулирования: показатели колебательности регуляторов *М*, запасы устойчивости: по фазе *Δϕi* ≥ 45 град. и по амплитуде *ΔLi* ≥ 6db, а также условий выполнения допустимой точности слежения. (См Таблица 3)

САУ с астатизмом 2-го порядка обладает тем замечательным свойством, что установившееся динамическая погрешность равна нулю от входных воздействий: .

Исходя из этого, определим требуемую добротность регуляторов по ускорению

В установившемся движении динамическая погрешность определяется выражением:

Регулирование по отклонениюнаоснове ПИД регулятора

|  |  |
| --- | --- |
|  | (10) |

Преобразуем (**1)** к виду, удобному для моделирования

|  |  |
| --- | --- |
|  | (11) |

откуда имеем:

Параметры регуляторов (***,***) выбирались таким образом, чтобы скомпенсировать влияние инерционности приводов и обеспечить устойчивость и требуемое качество регулирования (показатель колебательности ) при больших добротностях по ускорению и широкой полосе пропускания замкнутых контуров регулирования по отклонению, необходимых для отработки широкого диапазона управляющих и возмущающих воздействий. Ввиду того, что регуляторы по отклонению совместно с приводами имеют астатизм второго порядка, то добротности по ускорению и постоянные времени форсирующих звеньев для линейной системы определены из условий (В.А.Бесекерский, 1975) при заданных показателях колебательности:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (12) |

где - добротность по ускорению,– максимальное значение угловых ускорений, - значение погрешности, *М* – показатель колебательности САУ.

В установившемся процессе (*t*→∞, *p*→0) динамическая погрешность для комбинированной системы запишется в виде:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (13) |

Здесь - точность инвариантности комбинированной САУ.

Можно определить коэффициент передачи регулятора с учетом известной точности инвариантности

K=/, (14)

где - коэффициент передачи датчика угла совместно с усилителем.

Отсюда можно найти коэффициент передачи датчика угловых скоростей

(15)

где - коэффициент передачи ДУСа совместно с усилителем.

## 1.. Синтез параметров цифровой САУ

Рассмотрим влияние параметров дискретизации ЦВУ применительно к САУ с передаточной функцией непрерывной части разомкнутой системы, синтезированной в предыдущем пункте.

.

При исследовании устойчивости качества регулирования САУ совместно с ЦВУ в контуре управления необходимо построить желаемую логарифмическую частотную характеристику (ЛАХ) с учетом следующих условий:

1. Для обеспечения требований по устойчивости и запасу устойчивости в соответствии с критерием Найквиста необходимо дополнительно выполнить неравенство:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (14) |

где частота среза непрерывной системы, граничная частота, период повторения (квантование по времени) ЦВУ.

1. С учетом требований по динамической погрешности и качеству переходного процесса должны быть справедливы выражения, позволяющие проводить синтез параметров САУ с ЦВУ:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (15) |
|  | (16) | |

где *М –* показательколебательности САУ, *ω0* – базовая частота, при которой асимптота ЛАХ разомкнутой системы (под наклоном - 40 *дб/дек*) равна нулю, *ωср –* частота среза , при которой асимптота ЛАХ разомкнутой системы (под наклоном - 20 *дб/дек*) равна нулю.

1. Малые постоянные времени (*Тi <ωср-1*) должны удовлетворять условию: *Тi <*0,5*Т.*
2. Постоянная времени *τ* должны удовлетворять условию: *τ--1 <ωср.*
3. Переход оси нуля децибел асимптотической ЛАХ непрерывной части разомкнутой САУ проходит при отрицательном наклоне 20 *дб/дек.*
4. При построении ЛАХ разомкнутой САУ с ЦВУ в высокочастотной области следует учитывать сумму малых постоянных времени (), при этом необходимо выполнить дополнительное условие

|  |  |
| --- | --- |
|  | (17) |

которое позволяет частотные методы расчета линейных систем применять

Используя вычисленный в программе и данные необходимые для расчета регулятора получим формулу для расчета минимально допустимой частоты дискретизации датчика:

## Сводная таблица

Сведем все используемые формулы в единую таблицу

Таблица

|  |  |
| --- | --- |
| Входное возмущение |  |
| Частота | ; |
| Амплитуда входного возмущения |  |
| Добротность контура |  |
| постоянные времени форсирующих звеньев |  |
| постоянные времени форсирующих звеньев | α= |
| Коэффициент передачи ПИД регулятора | K=/ |
| Пропорциональная составляющая |  |
| Дифференциальная составляющая |  |
| Коэффициент передачи ДУСа |  |
| Частота дискретизации датчика |  |

**2.Руководство пользователя на примере расчета**

Исходные данные:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| п/п | Параметр | Значение |
| 1 | Скорость холостого хода Ωном, об/мин | 108 |
| 2 | Минимальная частота вращения Ωмин, об/мин | 0,1 |
| 3 | Номинальный момент Мном, Нм | 3,5 |
| 4 | Пусковой момент Мп, Нм | 7,7 |
| 5 | Номинальный ток Iном, А | 6,2 |
| 6 | Пусковой ток Iп, А | 12,5 |
| 7 | Номинальное напряжение питания U, В | 21,6 |
| 8 | Сопротивление статорной обмотки Rс, Ом | 3,09 |
| 9 | Электромагнитная постоянная времени Тэ, мкс | 58,25 |
| 10 | Момент инерции ротора Jр, кгм2 | 0,017 |
| 11 | Момент инерции нагрузки Jн, кгм2 | 0,158 |
| 12 | Максимальный момент сопротивления Mc, Нм | 0,525 |

1. Вводим значения в таблицу

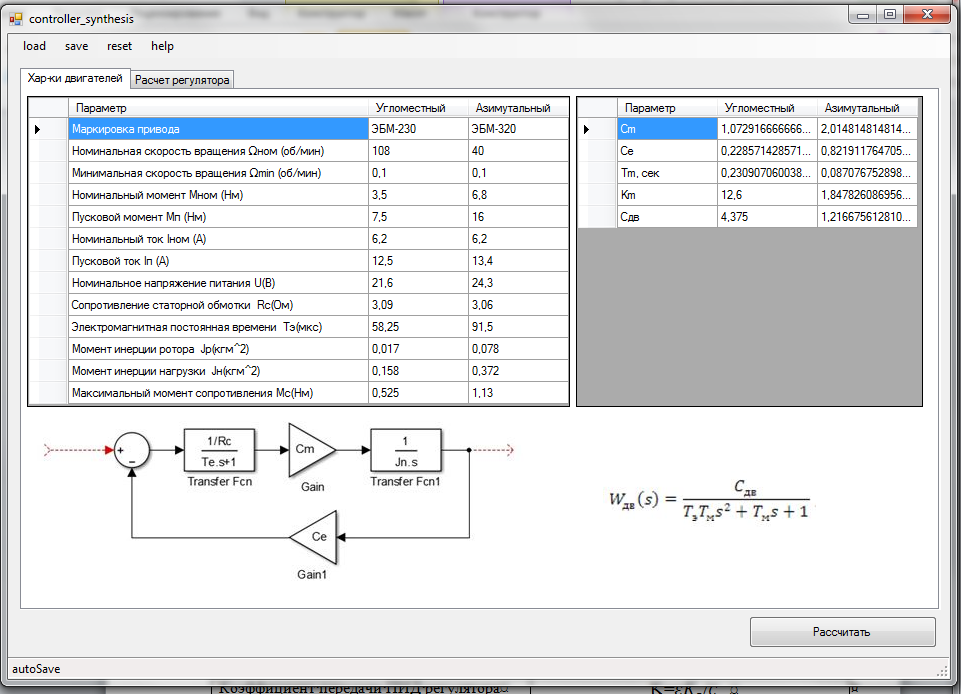
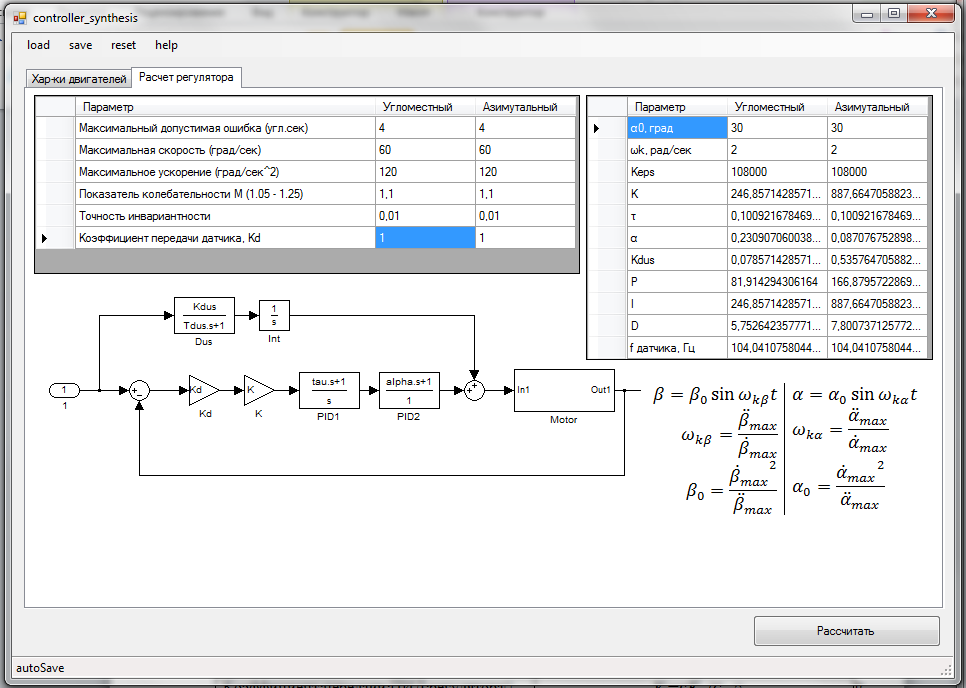


Рисунок 3. Ввод значений в таблицу исходных данных

2. Переключаем на закладку расчет регулятора и вводим требуемые параметры системы.



3.Далее нажимаем кнопку *Рассчитать*

3. Результаты расчета выводятся в таблицу справа.