

Российский университет дружбы народов  
Инженерный факультет  
Кафедра кибернетики и мехатроники

## Курсовая работа «Исследование следящей системы»

Курсовая работа выполняется на отдельных листах формата А4, включает в себя теоретическую часть и практическую. Теоретическая часть содержит описание постановки задачи, исходные данные и достаточное объяснение хода решения поставленных задач. Практическая часть содержит результаты выполнения задач: формулы, графики, диаграммы и т. п. Код программ, используемых в курсовой работе, привести в Приложениях. Требования к оформлению работы приведены в Приложении к заданию.

### Задание

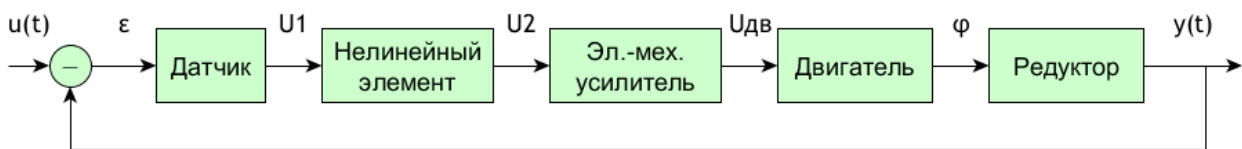


Рис. 1: Структурная схема следящей системы

Исследовать следящую систему, содержащую датчик угла рассогласования, релейный усилитель напряжения, электромеханический усилитель мощности, двигатель и редуктор (структурная схема приведена на рис. 1). Передаточные функции элементов системы:

1. датчик

$$W_s = K_s$$

2. электромеханический усилитель

$$W_{em} = \frac{K_{em}}{T_{em}s + 1}$$

3. электродвигатель

$$W_{ed} = \frac{K_{ed}}{s(T_{ed}s + 1)}$$

4. редуктор

$$W_r = K_r$$

Нелинейное звено в системе зависит от варианта работы:

1. двухпозиционное реле с гистерезисом (выходные значения:  $\pm C$ , точки переключения:  $\pm b$ );
2. трехпозиционное реле с гистерезисом (выходные значения:  $\pm C$ , точки переключения:  $-mb, -b, b, mb$ );
3. трехпозиционное реле без гистерезиса (выходные значения:  $\pm C$ , точки переключения:  $\pm b$ ).

Каждый студент получает свой вариант нелинейного звена с заданными параметрами (см. таблицу 1).

## Ход выполнения работы

### 1. Исследование линейной системы

- а) Записать дифференциальные уравнения, описывающие электромеханический усилитель и электродвигатель. Решить полученные ОДУ в Matlab для произвольных ненулевых начальных условий. Построить графики решений, описать физический смысл полученных решений.
- б) Исключив из структурной схемы на рис. 1 нелинейный элемент, получить передаточную функцию системы.
- в) Для ПФ из п. 2 построить:
  - переходной процесс, отметив на графике время переходного процесса, величину перерегулирования (при наличии) и ошибку обработки входного сигнала (при наличии);
  - импульсную характеристику;
  - АФЧХ;
  - логарифмическую АФЧХ, указав на графике полосу пропускания и частоту среза.
- д) Для ПФ из п. 2 вывести переходную функцию и импульсную переходную функцию. Убедиться в корректности выведенных функций, построив их графики и сравнив с соответствующими графиками из п. 3.
- е) Определить устойчивость системы по частотному критерию Михайлова и критерию Найквиста-Михайлова.
- ф) Определить запасы устойчивости системы по амплитуде и фазе по логарифмической АФЧХ.

### 2. Исследование нелинейной системы

- а) Обобщить нелинейный элемент путём внесения в него всех коэффициентов усиления линейной части системы.
- б) Численно аппроксимировать линейную часть системы последовательным соединением апериодического звена  $\frac{1}{T_{eq}s+1}$ , звена чистого запаздывания  $e^{-\tau s}$  и интегратора  $\frac{1}{s}$ . Показать, что аппроксимация корректна (графически).
- в) Построить фазовый портрет системы, состоящей из обобщённого нелинейного элемента и аппроксимированной линейной части. По фазовому портрету определить наличие предельного цикла.
- д) Определить устойчивость предельного цикла, используя критерии Михайлова и Найквиста-Михайлова для нелинейных систем. Определить амплитуду и частоту автоколебаний.

Во всех заданиях управляющий сигнал  $u(t) = 1, t = [0; +\infty)$ .

## Варианты

#	$T_{em}$	$T_{ed}$	$K_{em}$	$K_{ed}$	$K_s$	$K_r$	НЭ	$b$	$m$	$C$
1	0.05	0.2	24	10	0.03	0.03	1	0.05	-	5
2	0.1	0.3	18	8	0.2	0.05	2	0.1	2	4
3	0.05	0.4	12	6	0.4	0.07	3	0.15	-	3
4	0.1	0.2	24	7	0.03	0.09	1	0.15	-	3
5	0.15	0.3	18	3	0.2	0.4	2	0.05	3	4
6	0.1	0.4	12	11	0.1	0.5	3	0.05	-	5
7	0.05	0.4	30	13	0.05	0.03	1	0.2	-	3
8	0.1	0.3	24	12	0.4	0.01	2	0.15	2	5
9	0.05	0.2	18	14	0.3	0.05	3	0.1	-	4
10	0.1	0.2	12	15	0.02	0.1	1	0.05	-	4
11	0.1	0.3	24	10	0.1	0.02	2	0.02	3	3
12	0.05	0.4	12	8	0.1	0.4	3	0.01	-	5
13	0.1	0.2	30	6	0.02	0.06	1	0.15	-	4.5
14	0.05	0.3	12	7	0.3	0.8	2	0.04	3	3.5
15	0.1	0.4	24	9	0.4	0.1	3	0.07	-	2.5
16	0.05	0.4	30	11	0.05	0.08	1	0.12	-	2.5
17	0.1	0.3	30	13	0.4	0.04	2	0.12	2	3.5
18	0.05	0.2	24	12	0.3	0.2	3	0.07	-	4.5
19	0.1	0.3	12	14	0.02	0.03	1	0.09	-	5.5
20	0.05	0.4	18	15	0.3	0.1	2	0.15	2	5
21	0.1	0.3	24	9	0.4	0.12	3	0.08	-	2.5
22	0.05	0.4	30	10	0.07	0.09	1	0.12	-	2
23	0.1	0.5	25	4	0.7	0.1	2	0.2	3	3.5
24	0.15	0.25	24	6	0.2	0.2	3	0.1	-	4.5
25	0.1	0.35	12	18	0.06	0.04	1	0.1	-	5
26	0.05	0.4	18	15	0.3	0.14	2	0.15	2	5

Таблица 1: Варианты курсовой работы

## Приложение: требования к оформлению

- Объем работы (от введения до библиографии включительно) должен составлять не менее 15 страниц.
- Готовые курсовые работы будут конвертированы в формат .pdf и выложены на сайт преподавателя предмета на срок 6 месяцев. Кроме того, они будут в обязательном порядке проверены в системе «Антиплагиат» и, при выявлении существенного процента заимствований (>30%), отправлены на переделку.
- Курсовая работа сдаётся в печатном виде на листах формата А4. Электронная копия курсовой работы высылается преподавателю по почте. К электронной копии должны быть приложены все созданные в процессе работы над курсовой файлы (расширения .m и/или .mdl и другие).
- Структура курсовой работы должна быть следующей:
  - титульный лист утверждённого образца;
  - оглавление (должно быть автоматически создано средствами используемого вами редактора или системы (MS Word, OpenOffice Writer, LaTeX и т. д.));

- задание на курсовую работу (выдается);
  - введение (содержит историю задачи, краткое описание предметной области, описание существующих методов решения проблемы, причины выбора того или иного метода; большая часть ссылок на библиографические источники должна быть здесь);
  - теоретическая часть: описание применяемых в работе методов с указанием ссылок на литературу;
  - основная часть: последовательное решение поставленных в курсовой работе задач;
  - заключение (выявленные достоинства и недостатки метода решения, возможные пути развития работы);
  - библиография, состоящая как минимум из 5 пунктов (должна быть оформлена в соответствии с ГОСТ Р 7-05-2008; на каждый из пунктов должна быть внутритекстовая ссылка.
- Форматирование:
    - шрифт: любой с засечками (Times New Roman, Computer Modern, PT Serif и т. д.), 14 пт, нежирный, прямой;
    - абзац: междустрочный интервал одинарный, отступ первой строки 1.25 см (или другой близкий, но одинаковый по всему документу), выравнивание по левому краю для Word/Writer, по ширине для LaTeX;
    - лист: А4; поля: верхнее 2 см, нижнее 2 см, левое 3 см, правое 1 см;
    - изображения: отступ по одной пустой строке до рисунка и после подписи, изображения подписываются снизу курсивом, выравнивание изображения и подписи по центру, нумерация сквозная, подпись начинается с «Рис. #.», где # – сквозной номер рисунка;
    - графики: все оси должны быть подписаны; если на одном графике несколько линий, то должна быть выведена легенда; легенда должна читаться в черно-белом варианте, т.е. линии должны отличаться не только по цвету, но и по другим характеристикам;
    - таблицы: отступ по одной пустой строке до подписи и после таблицы, таблицы подписываются сверху курсивом, выравнивание подписи по правому краю, выравнивание таблицы – по центру, нумерация сквозная, подпись начинается с «Табл. #.», где # – сквозной номер таблицы.