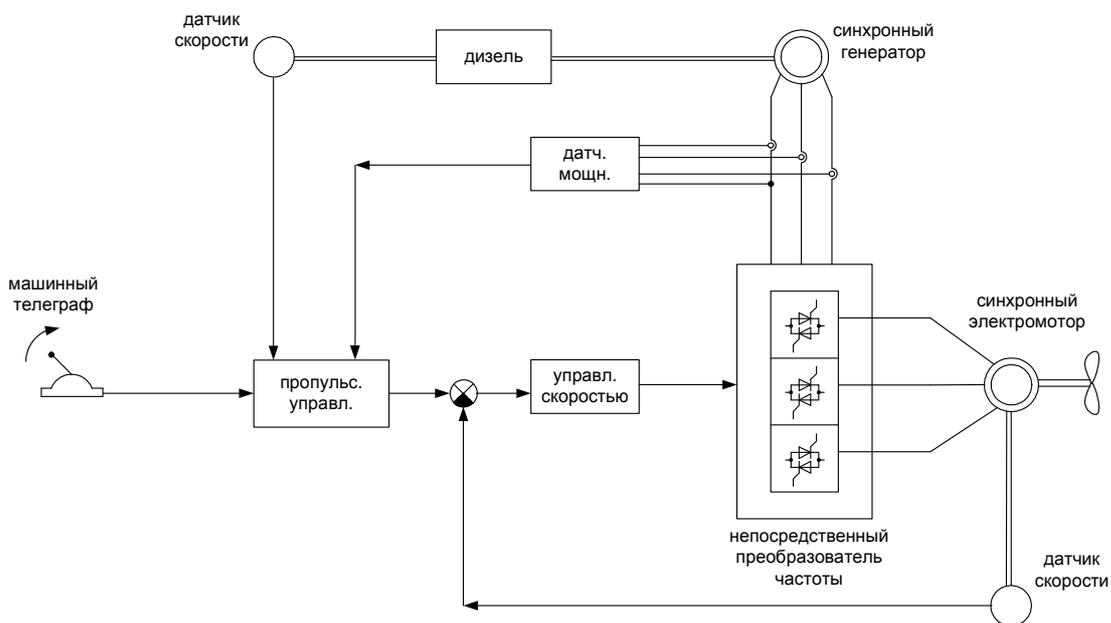


**М.В. АГУНОВ**

**«РАЗРАБОТКА СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ С ДВИГАТЕЛЕМ»**

Учебно-методическое пособие по курсовому проектированию по дисциплине  
«Системы и устройства судовой автоматики»



САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
МОРСКОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Судовой автоматике и измерений»

**М.В. АГУНОВ**

«Разработка следящей системы с двигателем»

Учебно-методическое пособие по курсовому проектированию по  
дисциплине  
«Системы и устройства судовой автоматике»

Санкт-Петербург - 2008

УДК 621.372

Агунов М.В. Разработка следящей системы с двигателем: Учебно-методическое пособие по курсовому проектированию по дисциплине «Системы и устройства судовой автоматики».

Санкт-Петербург, СПбГМТУ, 2008, 19с.

Учебно-методическое пособие по курсовому проектированию по дисциплине «Системы и устройства судовой автоматики» включает теоретический материал и практические рекомендации по проектированию следящей системы с двигателем.

Методические указания и теоретический материал, позволяют получить основные сведения необходимые для выполнения работы.

Для студентов электротехнических специальностей вузов.

Ил. 2, библи. 6 назв.

Утверждено научно-издательской секцией методического совета университета.

© М.В. Агунов 2008

© СПбГМТУ, 2008

## Содержание

1. ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ	4
2. УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ	5
2.1. Общие вопросы проектирования автоматических систем	5
2.2. Общее описание следящих систем с двигателем	6
2.3. Определение основных параметров следящего привода	7
2.4. Определение передаточной функции двигателя	8
2.5. Выбор чувствительного элемента	9
2.6. Определение коэффициента усиления усилителя мощности	9
2.7. Построение ЛАХ, ЛФХ и переходной характеристики	10
2.8. Заключительный этап	12
2.9. Вопросы по защите курсового проекта	12
Литература	13
Приложение	14

## 1. Задание на курсовой проект

1.1. Тема: Разработать простейшую следящую систему с двигателем

Вариант 1: для отработки угловых перемещений

Вариант 2: для регулирования скорости вращения

1.2. Исходные данные:

Вариант 1:

Момент инерции объекта регулирования относительно оси его вращения, $J_o$ [кг·м <sup>2</sup> ]	9,7
Момент статических сопротивлений, $M_{ст0}$ [Н·м]	10,5
Внешний возмущающий момент, $M_{в0}$ [Н·м]	4,9
Скорость системы (требуемая для нормальной работы), $\alpha'$ [град/сек]	18
Ускорение системы (в моменты пуска), $\alpha''$ [град/сек <sup>2</sup> ]	X,X
Диапазон отработки угла $\alpha$ [град]	±30
Установившаяся скоростная ошибка, $\theta_{уст}$ [ $\times 10^{-3}$ рад]	±3,X

Вариант 2:

Момент инерции объекта регулирования относительно оси его вращения, $J_o$ [кг·м <sup>2</sup> ]	10
Момент статических сопротивлений, $M_{ст0}$ [Н·м]	11,7
Внешний возмущающий момент, $M_{в0}$ [Н·м]	5,1
Скорость системы (требуемая для нормальной работы), $\alpha'$ [град/сек]	600
Ускорение системы (в моменты пуска), $\alpha''$ [град/сек <sup>2</sup> ]	4X,X
Диапазон регулирования скорости $n$ [об/мин]	±100
Установившаяся ошибка, $\theta_{уст}$ [ $\times 10^{-3}$ рад/сек]	±9X

X – последняя значащая цифра номера зачетной книжки

XX – две последние значащие цифры номера зачетной книжки

1.3. Задание на специальную проработку:

Вариант 1: Используя пакет прикладных программ для схемотехнического моделирования “Electronics Workbench” построить переходную характеристику проектируемой системы

Вариант 2: Используя пакет прикладных программ для схемотехнического моделирования “Electronics Workbench” построить ЛАХ и ЛФХ разомкнутой проектируемой системы.

1.4. Содержание расчетно-пояснительной записи подлежащих разработке вопросов:

Введение

Составление функциональной схемы системы

Построение структурной схемы системы

Определение параметров и выбор узлов системы

Определение передаточной функции системы  
Выполнение задания на специальную проработку  
Выводы  
Литература

#### 1.5. Перечень обязательного графического материала

Функциональная схема системы  
Структурная схема системы  
Структурная схема эквивалентной системы простейшего вида  
Графики, поясняющие задание на специальную проработку

## 2. Указания к выполнению курсового проектирования

### 2.1. Общие вопросы проектирования автоматических систем

Задача проектирования автоматической системы заключается в выборе по заданным требованиям (быстродействию, точности работы и т.д.) структуры и параметров системы.

Таким образом, данная задача сводится к структурному синтезу автоматической системы, т.е. к нахождению вида оператора преобразования системы и ее элементов. Задача структурного синтеза автоматической системы в общем случае пока не решена, процедура синтеза выполняется по тем или иным полуэвристическим – полужформальным правилам или просто на основе интуиции и опыта предварительного исследования типовых систем различных классов, путем создания нового оператора преобразования, новой схемы, реализующей отдельные операции, нового принципа регулирования.

Конструктивным шагом здесь может явиться рассмотрение задачи структурного синтеза, как задачи кусочной аппроксимации, для чего на основе целевого назначения системы и ее содержательного описания определяется набор ее операций, а затем с каждой элементарной операцией сопоставляется элементарная структура, в которой эта операция может быть реализована.

Обычно этот процесс распадается на несколько этапов и производится примерно в следующем порядке:

1. В соответствии с содержательным описанием автоматической системы составляется ее функциональная схема в виде соединения отдельных элементов, выполняющих определенные функциональные преобразования.

На основе функциональной схемы выделяются типовые динамические звенья, которые описываются определенными передаточными функциями.

2. Автоматическая система изображается в виде структурной схемы, представляющей собой соединенные в общую замкнутую цепь простейшие динамические звенья.

Такое представление позволяет установить общие свойства системы автоматического регулирования и определить пути их улучшения.

Структурные схемы составляются путем выделения в функциональной схеме динамических звеньев, обладающих свойствами однонаправленности и независимости. В тех случаях, когда это сделать затруднительно, записываются уравнения (в символическом виде), описывающие процессы в отдельных частях системы, по которым затем строится структурная схема.

Если в системе содержатся нелинейные звенья, то следует предварительно произвести (где это возможно) их линеаризацию путем замены нелинейной

характеристики отрезком прямой касательной к нелинейной характеристике в выбранной рабочей точке.

3. Определяются параметры динамических звеньев. В соответствии с найденными параметрами, в предположении, что элементная база определена (заданы разновидности применяемых узлов, функциональных устройств и элементов), осуществляется выбор узлов, функциональных устройств и элементов, реализующих динамические звенья.

4. Путем использования теорем о преобразовании звеньев структурная схема приводится к эквивалентной системе простейшего вида (динамическому звену с жесткой обратной связью) и находится передаточная функция последней.

5. Проводится анализ передаточной функции разомкнутой и замкнутой системы: исследуются условия устойчивости системы, а также качество процесса регулирования при различных воздействиях на систему.

## 2.2. Общее описание следящих систем с двигателем

Следящие системы – это такие системы, которые с той или иной степенью точности воспроизводят изменения входных величин, происходящие по произвольному закону. По назначению следящие системы делятся на следящие электроприводы, системы дистанционного управления, измерительные системы.

Основным звеном современных автоматизированных систем управления машинами и механизмами является электропривод.

Электроприводом называется электромеханическое устройство, предназначенное для преобразования электрической энергии в механическую энергию вращательного, либо поступательного движения и включающее электромеханический преобразователь (двигатель) и устройство управления двигателем.

Современные автоматизированные электроприводы представляют собой сложные динамические системы, включающие в себя линейные и нелинейные элементы, обеспечивающие в своём взаимодействии разнообразные статические и динамические характеристики. Механическая энергия, необходимая для создания относительного перемещения механизмов, в основном поступает от электрического двигателя - силовой части электропривода. Задающее воздействие и измеренное значение регулируемой величины проходят через информационную часть системы управления электроприводом.

Свойства автоматизированного электропривода определяют важнейшие показатели машин и механизмов, а также качество и эффективность технологических процессов в которых они задействованы.

### 2.2.1. Следящая система для обработки угловых перемещений

Следящая система предназначена для дистанционного управления поворотом объекта регулирования (например, авторулевые).

Напряжение уставки  $u_{вх}$  с ручки управления (джойстика или штурвала) поступает на один из входов схемы сравнения, где из него вычитается напряжение обратной связи  $u_{ос}$  пропорциональное углу поворота объекта регулирования. Полученный таким образом сигнал рассогласования  $u$  с выхода схемы сравнения поступает на вход усилителя мощности, который питает управляющую обмотку двухфазного асинхронного исполнительного (управляющего) электродвигателя. С валом двигателя через редуктор соединены датчик углового перемещения и объект регулирования.

### 2.2.2. Следящая система для регулирования скорости вращения

Следящая система предназначена для дистанционного регулирования скорости вращения вала объекта регулирования (например, электрические трансмиссии).

Напряжение уставки  $u_{вх}$  с ручки управления (машинного телеграфа) поступает на один из входов схемы сравнения, где из него вычитается напряжение обратной связи  $u_{ос}$  пропорциональное угловой скорости вала объекта регулирования. Полученный таким образом сигнал рассогласования  $u$  с выхода схемы сравнения поступает на вход усилителя мощности, который питает управляющую обмотку двухфазного асинхронного исполнительного (регулирующего) электродвигателя. С валом двигателя через редуктор соединены тахогенератор и вал объекта регулирования.

### 2.3. Определение основных параметров следящего привода

**Расчет параметров следящего привода** сводится к:

1. Определение максимального момента сопротивления, приведенного к валу исполнительного двигателя:

$$M_{DM} = \frac{M_{СТО} + M_{ВО}}{i_0 \cdot \eta_0} + \frac{k_D \cdot J_0}{i_0 \cdot \eta_0} \cdot \frac{\pi}{180} \alpha'',$$

где  $\eta_0$  - КПД силового редуктора ( $\eta_0=0,8$ );  $k_D$  - коэффициент учета момента инерции двигателя и элементов механической передачи ( $k_D=1,2$ );  $i_0$  - редукционное число силового редуктора ( $i_0=100 \div 1000$ ).

Редукционное число силового редуктора определяется как:

$$i_0 = \frac{\gamma}{\alpha'} \cdot 6n_{ДН},$$

где  $\gamma$  - коэффициент форсирования, для двигателей с электроприводом  $\gamma=1,1$ ;  $n_{ДН}$  - номинальное число оборотов в минуту приводного двигателя.

Коэффициент передачи силового редуктора находится как:

$$K_{PC} = \frac{1}{i_0}.$$

2. Определение предварительного номинального момента исполнительного двигателя:

$$M'_{ДН} = \frac{M_{DM}}{K_{П}},$$

где  $K_{П}$  - коэффициент кратковременных перегрузок двигателя по моменту при случайных перегрузках исполнительного механизма, в электроприводе с асинхронным двигателем  $K_{П}=1,7 \div 2,5$ , для двигателей постоянного тока  $K_{П}=2,5 \div 3$ .

3. Определение предварительной номинальной мощности исполнительного двигателя:

$$P'_{дн} = M'_{дн} \cdot \frac{\pi}{30} \cdot n_{дн} \text{ (Вт)}.$$

4. Выбор исполнительного двигателя по мощности  $P_{дм}$  из каталога. При выборе двигателя следует учитывать, что в *астиатических* системах в установившемся режиме остаточное рассогласование отсутствует, если не учитывать сухого трения в двигателе (застоя). Для уменьшения погрешности от застоя необходимо использовать двигатели с малым напряжением трогания  $u_{мп}$ . При заданном  $u_{мп}$  ошибка застоя равна:  $\Delta\alpha_z = u_{мп}/K$ , где  $K$  – коэффициент усиления, характеризующий зависимость напряжения на обмотке управления двигателя при единичном рассогласовании (в разомкнутой системе).

**Проверка правильности выбора исполнительного двигателя** сводится к следующему:

1. Определение максимального момента на валу выбранного двигателя:

$$M_{дм} = \frac{M_{сто} + M_{во}}{i_0 \cdot \eta_0} + i_0 \cdot \left( J_{д} + \frac{J_0}{i_0^2 \cdot \eta_0} \right) \cdot \frac{\pi}{180} \alpha''.$$

2. Определение номинального момента выбранного двигателя:

$$M_{дн} = P_{дн} \cdot \frac{30}{\pi} \cdot \frac{1}{n_{дн}},$$

где  $P_{дн}$  – номинальная мощность выбранного двигателя (Вт);  $n_{дн}$  – номинальное число оборотов в минуту выбранного двигателя.

3. Определение коэффициента фактической перегрузки выбранного двигателя:

$$K_{п} = \frac{M_{дм}}{M_{дн}}.$$

Считается, что двигатель выбран правильно, если величина фактической перегрузки не превышает допустимой.

2.4. Определение передаточной функции двигателя

Коэффициент усиления двигателя по скорости вращения относительно напряжения управления (без учета инерционности ротора) определяется выражением:

$$K_{уд} = \frac{1}{U_{у\max}} \cdot \frac{\pi}{30} \cdot n_{дн}.$$

Передаточная функция двигателя по углу поворота соответственно находится как:

$$W_{дв}(p) = \frac{K_{уд}}{p},$$

где  $p = j\omega$ .

## 2.5. Выбор чувствительного элемента

При выборе чувствительного элемента из каталога следует руководствоваться тем, что предельная ошибка чувствительного элемента не должна превышать 30÷50% от допустимой установившейся ошибки всего привода:  $\theta_{чЭП} \leq (0,3...0,5)\theta_{уст}$ .

При этом необходимо помнить, что показатель класса точности характеризует наибольшую допустимую погрешность измерения и выражает эту погрешность в процентах от наибольшего показания чувствительного элемента. Погрешность может быть положительной или отрицательной, т.е. чувствительный элемент может давать как преувеличенные, так и преуменьшенные значения.

Например, чувствительный элемент класса 0,2 с наибольшим показанием 300 единиц может давать в любом месте рабочего диапазона измерений погрешность до  $\pm 0,2\%$  от 300, т.е.  $\pm 0,6$  единиц.

Если указанное выше требование обеспечить не удастся, ротор чувствительного элемента соединяют с осью вращения объекта регулирования через повышающий редуктор с редукционным числом  $i_1$  ( $i_1 < 1$ ). Коэффициент передачи повышающего редуктора определяется как:

$$K_{рп} = \frac{1}{i_1}.$$

Применение редуктора позволяет уменьшить ошибку измерения в  $K_{рп}$  раз.

После того, как чувствительный элемент выбран, определяется его коэффициент передачи  $K_{чЭ}$ .

Для линейного вращающегося трансформатора  $K_{чЭ} = mU_{п}K_T$ , где  $U_{п}$  - напряжение питания (В),  $m = \omega_2/\omega_1$ , а  $\omega_1, \omega_2$  - число витков в обмотке возбуждения и синусной обмотке и  $K_T$  - угловой коэффициент ( $\text{рад}^{-1}$ ) прямой линии аппроксимирующей функцию

$$f(\alpha) = \frac{\sin \alpha}{1 + m \cos(\alpha)},$$

связывающую напряжение на синусной обмотке линейно-вращающегося трансформатора с углом поворота ротора. Угловой коэффициент  $K_T$  находится из построенного для заданного диапазона отработки угловых перемещений графика функции  $f(\alpha)$ , как тангенс угла наклона линейной части графика, т.е.  $K_T = \Delta f(\alpha) / \Delta \alpha$ .

Для тахогенератора если за выходную величину принята частота вращения ротора, то тахогенератор представляет собой безынерционное звено с  $K_{чЭ} = K_{тг}$ , где  $K_{тг}$  - крутизна изменения выходного напряжения (В/(рад/сек)).

## 2.6. Определение коэффициента усиления усилителя мощности

Коэффициент усиления по напряжению усилителя мощности находится по:

$$K_{UM} = \frac{U_{y \max}}{\theta_{уст} \cdot K_{PI} \cdot K_{ЧЭ}}.$$

## 2.7. Построение ЛАХ, ЛФХ и переходной характеристики

Определение поведения системы целесообразно проводить с помощью компьютерного моделирования.

Одной из наиболее популярных достаточно мощных и универсальных систем моделирования, является система моделирования электронных схем Electronics Workbench 5.12 Канадской фирмы Interactive Image Technologies Ltd.

В системе используется многооконный интерфейс с ниспадающими и разворачивающимися меню. Функции и назначения отдельных элементов, окон и опций аналогичны их назначению в Windows.

Формирование и проверка схем осуществляется при помощи “мыши”. С ее помощью можно перетащить компоненты или приборы из библиотеки на экран. Для этого необходимо поставить указатель “мыши” на выбранный компонент и, нажав и не опуская левую кнопку “мыши”, перетащить его на нужное место рабочего поля.

Использование клавиатуры необходимо только для текстового ввода информации (определение меток, значений или моделей компонента; описание схемы; ввод значений в используемом приборе) или при использовании горячих клавиш. Допускается вставка текста набранного в другом приложении Windows и наоборот.

Инструментальные средства Electronics Workbench очень похожи на реальные инструментальные средства электроники. Все, что необходимо для формирования и проверки схем, располагается на экране.

Рабочее поле, в котором формируется и проверяется схема, занимает большую центральную область экрана.

Система схемотехнического проектирования и анализа электронных схем и устройств Electronics Workbench позволяет выполнять графический ввод проектируемой схемы и анализ характеристик аналоговых, цифровых и аналого-цифровых устройств. В отличие от других программ схемотехнического моделирования в системе Electronics Workbench на экране изображаются измерительные приборы с органами управления, максимально приближенными к реальности. Пользователь освобождается от изучения довольно абстрактных правил составления заданий на моделирование исследуемой схемы на PSpice.

Достаточно в схеме подключить двухканальный осциллограф и генератор сигналов и программа сама определит, какие процессы надо подвергнуть анализу. Чтобы начать процесс моделирования, достаточно нажать выключатель и на устройствах индикации будут зафиксированы исследуемые режимы.

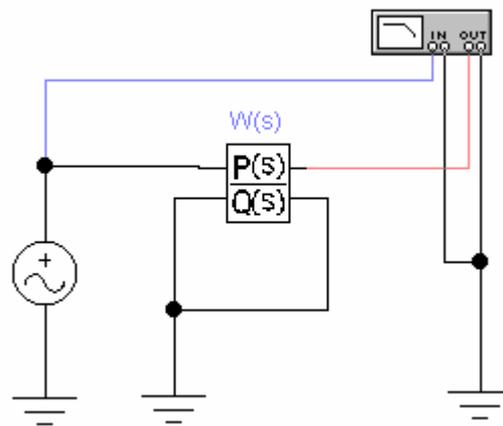


Рис. 1 Компьютерная модель для получения ЛАХ и ЛФХ

На рис. 1 приведена схема модели, при помощи которой могут быть получены ЛАХ и ЛФХ следящей системы, на рис. 2 схема модели для получения ее переходной характеристики. В модели на рис. 1 представлены блок передаточной функции, генератор синусоидального переменного напряжения, характериограф для построения ЛАХ и ЛФХ системы. В модели на рис.2 показаны блок передаточной функции, генератор, генерирующий единичную функцию  $I(t)$  и осциллограф для наблюдения происходящих в системе процессов.

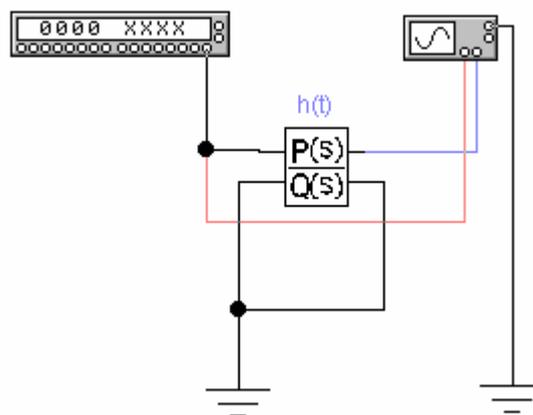


Рис. 2 Компьютерная модель для получения переходных характеристик

Следящая система моделируется блоком передаточной функции. Этот компонент моделирует передаточные характеристики систем в  $s$ -области. Блок передаточной функции определяется как дробь, с полиномами находящимися в числителе и знаменателе. При помощи одного такого блока непосредственно может быть смоделирована передаточная функция вплоть до третьего порядка. Данный компонент может быть использован при анализе по постоянному току, переменному току и анализе переходных процессов. Модель передаточной характеристики в блоке определяется в форме следующей рациональной функции:

$$W(s) = \frac{P(s)}{Q(s)} = K \cdot \frac{a_3 \cdot s^3 + a_2 \cdot s^2 + a_1 \cdot s + a_0}{b_3 \cdot s^3 + b_2 \cdot s^2 + b_1 \cdot s + b_0}.$$

При построении ЛАХ и ЛФХ, для решения задачи аппроксимации частотных характеристик, к входу и выходу системы подключается характеристический график.

При построении переходной характеристики, на вход системы подается единичная функция, а поведение выходной величины наблюдается на выходе блока передаточной функции.

## 2.8. Заключительный этап

Работа над проектом завершается составлением таблицы характеристик спроектированной системы.

## 2.9. Вопросы по защите курсового проекта

1. Дайте определение статической и астатической системы управления.
2. Какой системе присуща скоростная ошибка статической или астатической?
3. Объясните принцип работы разработанной системы и ее основных узлов.
4. Объясните, чем обусловлена инерционность разработанной системы.
5. Что можно сделать для увеличения быстродействия разработанной системы.
6. В чем состоит суть определения устойчивости по ЛАХ и ЛФХ?
7. Какой участок ЛАХ влияет на работу системы в установившемся режиме? Каков наклон ЛАХ на этом участке для астатической системы с астатизмом  $k$  порядка, а для статической системы ( $k = 0$ )?
8. При каком наклоне среднечастотного участка ЛАХ (вблизи частоты среза  $\omega_c$ ) переходный процесс протекает благоприятно? Какова должна быть длина этого участка?
9. Оказывает ли существенное влияние на переходную характеристику высокочастотный участок (при  $\omega \gg \omega_c$ ) ЛАХ?

## Литература

1. Архангельский Е.Н., Богач В.Г., Вилесов Д.В., Сеньков А.П. Судовая электротехника и электроника. Л.: Судостроение, 1985, 312с.
2. Бруслиновский Б.В., Катханов М.Н., Константинов С.Д. и др. Функциональные устройства судовых автоматизированных систем. Л.: Судостроение, 1991, 336с.
3. Каларащук В.И. Электронная лаборатория на IBM PC. Программа Electronics Workbench и ее применение. М: Слон-Р, 1999, 506 с.
4. Панфилов Д.И. и др. Электроника и электротехника в экспериментах и упражнениях: Практикум на Electronics Workbench: в 2-х т. / т. 1: Электротехника. М: ДОДЭКА, 1999, 304 с.
5. Панфилов Д.И. и др. Электроника и электротехника в экспериментах и упражнениях: Практикум на Electronics Workbench: в 2-х т. / т. 2: Электроника. М: ДОДЭКА, 2000, 288 с.
6. Справочник по электрическим машинам: в 2-х т. / т. 2. М: Энергоатомиздат, 1989, 688 с.
7. Хайкин А.Б., Жадобин Н.Е. Элементы судовой автоматики. Л.: Судостроение, 1982, 376с.

Приложение

ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Обозначение изделия	ОСТ ТУ	Вид возбуждения	Направление вращения	Напряжение питания, В	Номинальный момент, Н*М (гс*см)	Напряжение трогания, В	Потребляемый ток, А	Частота вращения, об/мин	Номинальная мощность, Вт	Вес, кг
Д-16-0,6	ВБЗ.121.387	последоват	Л/П	27	(3000)	-	2	+75 550 -100	-	2,5
Д-25-1С	ВБЗ.121.111	независимое (оу)	Л	27 я 120 оу	0,0285 (290)	-	1,6 я 1,2 ов 0,03 оу	8400	25	0,9
Д-25Г-0,1	ВБЗ.121.358	независимое	Л/П	27	0,0399 (407)	18	1,8 я 0,7 ов	+600 6000 -600	25	0,7
ДП62-25-2-12	РВЖИ 522.442.001	независимое	Л/П	12	0,147 (1500)	5	4,5 я 1,0 ов	+200 1800 -200	25	1,8
Д-50А	ВБЗ.121.192	последоват	Л/П	27	0,412 (420)	-	4	+1140 11400 -1140	50	1,3
Д-55А	ВБЗ.121.120	последоват	П	27	0,0952 (970)	12	4	не менее 4500	55	1,5
Д-75М	ВБЗ.121.184	независимое	Л/П	27 я 60 ов	0,0956 (875)	4	2,0 я 0,45 ов	+750 7500 -750	75	1,4
Д-120М	ВБЗ.121.027	независимое реверс	Л/П	27	0,785 (8000)	-	27 я.кз 1,7 ов	+300 1200 -300	120	4,5
ДВ-200	ВБЗ.121.091	последоват	Л/П	27	0,0255 (2600)	5	12,5	+750 7500 -750	200	3
Д-250-8	ВБЗ.121.392	пост. магнит	Л/П	27	0,294 (3000)	3	140	+800 8000 -800	250	3,7

ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Обозначение изделия	ОСТ ТУ	Направление вращения	Напряжение питания, В	Частота, Гц	Номинальный момент, Н*м (гс*см)	Напряжение трогания, В	Потребляемый ток, А	Частота вращения, об/мин	Номинальная мощность, Вт	Вес, кг
ДКИ-1-12ТВ	16.0.513.003-72	П	115 (ов) послед/парал 36/18 (оу)	400	нач. пуск. не менее 0,0027 (29)	2	нач. пуск. оу не более 0,26	синхр. 12000	1	0,1
ДКИ-2,5-12ТВ	16.0.513.003-72	П	115 (ов) послед/парал 36/18 (оу)	400	0,0064 (65)	2	0,39	12000	2,5	0,18
ДКИ-6-12ТВ	16.0.513.003-72	П	115 (ов) послед/парал 36/18 (оу)	400	0,012 (130)	2	0,78	12000	6	0,35
ДКИ-16-12ТВ	16.0.513.003-72	П	115 (ов) послед/парал 80/40 (оу)	400	0,029 (300)	2	0,89	12000	16	0,75
ДКИ-40-12ТВ	16.0.513.003-72	П	115 (ов) послед/парал 80/40 (оу)	400	0,054 (550)	2	2,12	12000	40	2,36
ДКИ-1,6-3АТ	ВБ0.312.111	Л/П	220 (ов) 127/63,5 (оу)	50	0,00853	6	0,08 ов 0,1 оу	1800	1,6	0,55
АДП-124Б	ВБ3.182.042	П	110	1000	0,01225	2	0,5 ов 0,45 оу	12000 не менее	15	0,55
ДКМР-1-20	ВБ.312.105	Л/П	36 (ов) 48/24 (оу)	400	0,378 (3860)	3	0,5 ов 0,35 оу	176 не менее	-	0,37
ДКМР-1-50	ВБ.312.105	Л/П	36 (ов) 48/24 (оу)	400	0,152 (1550)	3	0,5 ов 0,35 оу	44 не менее	-	0,37
ДВА-У3	-	-	220	50	(2000)	-	0,4	1430	30	4,2
ДВА-У4	-	-	послед 220	50	(1100)	-	0,17	610	6	4,2
ДПА-У2	-	-	220 (ов) 140/80 (оу)	50	(2000)	-	0,28	0/1300	-	3
ДАГ-1	-	-	127 послед 220	50	(70)	-	0,06	1200	2	1,4
ДПА-010/5-4	-	-	220 (ов) 140/80 (оу)	50	(3000)	-	0,45	0/1430	-	5,8

АД-2	-	-	127	50	-	-	0,11	1480	5	-
ДВС-У1	-	-	220	50	(800)	-	0,35	1500	15	4,2
ДВС-010/5-4	-	-	220	50	(800)	-	0,35	1500	15	6,6
ДВД-1Р	-	-	послед 220	50	(1500)	-	0,41	1500/750	15/7,5	7

ВРАЩАЮЩИЕСЯ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Обозначение изделия	ОСТ ТУ	Номинальное напряжение возбуждения, В	Номинальная частота напряжения возбуждения, Гц	Отношение $m = \omega_2 / \omega_1$	Погрешность отображаемая синусной зависимости, %	Погрешность отображаемая линейной зависимости, %	Частота вращения, об/мин	Вес, кг
ВТМ-1М	ВБ3.031.111	26	400	+0,5 1,00 -0,5	0,8	-	300-3000	0,35
ВТМ-4А	ВБ3.031.118	60	400	+0,4 1,00 -0,4	0,3	-	300-2000	0,35
ВТМ-5А	ВБ3.010.146	5,4 не менее	400	1,0	0,3	-	60-6000	0,35
ВТМ-6В	ВБ3.010.149	60	2000	1,0	0,8	-	300-3000	0,35
8МВТ-Е-5П	ВБ0.318.052	0...50	400	0,56	0,2	-	60	0,22
8МВТ-Е-10П	ВБ0.318.052	0...50	400	1,0	0,2	-	60	0,22
15МВТ-Е-10П	ВБ0.318.052	0...50	400	1,0	0,2	-	60	0,22
30МВТ-Е-5П	ВБ0.318.052	0...50	400	0,56	0,2	0,2	60	0,22
5МВТ-2В-5Э 5МВТ-2В-5Э-01	ВБ0.318.050	30	400	0,56	0,2	-	60	0,35
5МВТ-2В-10Э 5МВТ-2В-10Э-01	ВБ0.318.050	30	400	1,0	0,2	-	60	0,35
10МВТ-2В-5П 10МВТ-2В-5П-01	ВБ0.318.050	2...28	400	0,56	0,2	-	60	0,35
10МВТ-2В-10П 10МВТ-2В-10П-01	ВБ0.318.050	2...28	400	0,56	0,2	-	60	0,35
20МВТ-2В10П 20МВТ-2В10П-01	ВБ0.318.050	2...28	400	0,56	0,2	-	60	0,35
8МВТ-М-5П	ВБ3.010.134	0...50	400	0,59	-	-	-	0,25
4МВТ-1	ВБ0.301.001	30	400	0,6	-	-	-	0,36
4МВТ-3	ВБ0.301.001	0,5...30	400	0,6	-	-	-	0,36

2,5BT	ЛШЗ.010.392	12	400	0,56	0,05; 0,1	0,2; 0,3	-	0,12
	ЛШЗ.010.393	12	400	1	0,05; 0,1	-	-	0,12
	ЛШЗ.010.394	27	400	0,56	0,05; 0,1	0,2; 0,3	-	0,12
	ЛШЗ.010.395	27	400	1	0,05; 0,1	-	-	0,12
	ЛШЗ.010.396	27	400	0,56	0,05; 0,1	-	-	0,12
	ЛШЗ.010.397	27	400	1	0,05; 0,1	-	-	0,12
	ЛШЗ.010.398	27	400	0,56	0,05; 0,1	-	-	0,12
	ЛШЗ.010.399	27	400	1	0,05; 0,1	-	-	0,12

## ТАХОГЕНЕРАТОРЫ

Обозначение изделия	Номинальное напряжение возбуждения, В	Номинальная крутизна изменения выходного напряжения мВ/(об/мин)	Класс точности	Активное сопротивление нагрузки, Ом	Номинальная частота вращения, об/мин	Вес, кг
1,6ТПП-2	от постоянного магнита	2,5	0,5	10000	3000	0,025
2,5ТПП-4	от постоянного магнита	4,0	1,0	6000	3000	0,09
ТПП-5	от постоянного магнита	4,0	0,2	10000	6000	0,09
ТП20-6-0,5	от постоянного магнита	6,0	0,5	10000	3000	0,05
ТП20-4-0,2	от постоянного магнита	4,0	0,2	10000	6000	0,05 0,065
ТП20-4-1	от постоянного магнита	4,0	1,0	6000	3000	0,05 0,065
ТС-1МУХЛ4	-	30	-	2000	3000	2,7
ТП75(80)	-	20	погрешность не более 0,2%	10000	3000	0,5
ТМГ-30У3	110	115±17,25	2,5	7230±140	4000	-
ТМГ-30Т3	110	57,5±7,6	2,5	1760±40	4000	-
ТМГ-30ПУ3	-	57,5±7,6	2,5	2640±50	4000	-
ТМГ-30ПТ3	-	30±4,5	1,0	4000±80	4000	-

Агунов Михаил Викторович

**РАЗРАБОТКА СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ С ДВИГАТЕЛЕМ**

Учебно-методическое пособие по курсовому проектированию по дисциплине  
«Системы и устройства судовой автоматики»

**Редактор**

**Корректор**

Лицензия ЛР № 020821 от 20. 10. 1998 г. Подписано в печать \_\_\_\_\_ г.  
Формат 60x84/16. Печать оперативная. Усл. п. л. \_\_\_\_\_ .  
Уч. Изд. л. 4,6. Тираж 100 экз. Заказ № \_\_\_\_\_

Издательский центр Морского технического университета.  
Санкт-Петербург, ул. Лоцманская, 10.



## ОБ АВТОРЕ

Агунов Михаил Викторович – доктор технических наук, профессор, лауреат ВВЦ, много лет проработал с электронной техникой. В последнее время сочетает научно-исследовательскую и преподавательскую деятельность. Автор научной монографии, учебного пособия, многочисленных научных статей и учебно-методических работ.