

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна  
Должность: проректор по учебной работе  
Дата подписания: 02.02.2022 10:42:33  
Уникальный программный ключ:  
0b817ca911e6668abb13a50426019e31fc1eabb75e943df4485fda56d089

## МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра механики, мехатроники и робототехники

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

О.Г. Локтионова

« 14 » 01



## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРИВОДЫ СЕРВИСНЫХ РОБОТОВ

Методические указания по выполнению практических работ  
для студентов направления 15.03.06 Мехатроника и робототехника

Курск 2022

УДК 62.83

Составители: А.В. Мальчиков

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент Е.Н. Политов

**Электрические приводы сервисных роботов:** методические указания по выполнению практических работ по дисциплине «Электрические приводы сервисных роботов» для студентов направления подготовки 15.03.06 «Мехатроника и робототехника» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: А.В. Мальчиков. Курск, 2022. 24 с.

Изложен план проведения семинарских (практических) занятий по дисциплине «Электрические приводы сервисных роботов».

Предназначены для студентов направления подготовки 15.03.06 «Мехатроника и робототехника всех форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60x84 1\16  
Усл.печ.л. . Уч.изд.л. 1,2 . Тираж 50 экз. Заказ 395 Бесплатно.  
Юго-Западный государственный университет.  
305040, г.Курск, ул.50 лет Октября, 94.

## Содержание

Практическая работа №1 Проектирование электропривода сервисного робота .....	4
Практическая работа №2. Устройство сервопривода робототехнического устройства .....	18
Библиографический список .....	24

## Практическая работа №1 Проектирование электропривода сервисного робота

**Цель работы:** освоить методы расчета и проектирования приводных систем сервисных роботов, получить навыки подбора компонентов электропривода, выполнения проверочных расчетов.

### **Краткая теория**

Задача проектирования приводной системы робота является сложной и творческой, поскольку может быть решена различными, в общем случае совсем не равноценными способами, а выбор одного решения, которое и будет затем реализовываться, должен быть сделан на основе ряда критериев при учете системы конкретных ограничений.

Назовем основные этапы инженерного проектирования.

*Формулировка задачи* – первый этап проектирования. Это точное указание того, что есть и чем это не устраивает и что и в каком смысле должно стать лучше после реализации проекта. На этом этапе не нужны детали, нужны лишь самые главные черты объекта до и после проектирования. Если этот этап выполнен плохо, очень велика опасность, что весь дальнейший труд будет потрачен впустую.

*Анализ задачи* – второй этап проектирования – выявление всех существенных качественных и количественных признаков создаваемого объекта в исходном (до проектирования) и конечном (после проектирования) состояниях, определение ограничений и назначение критериев, по которым будет оцениваться качество спроектированного объекта.

*Поиск возможных решений* – это третий этап проектирования. Здесь в первую очередь необходимы знания, но кроме знаний нужно нестандартное мышление, умение избегать как консерватизма, так и поспешности; очень полезны аналоги, разумеется, при критическом к ним отношении, посещение выставок, чтение литературы, консультации и т.п.

Даже в простом случае уместно предложить несколько (много) решений, которые в принципе соответствуют задаче. Когда предлагается много решений, разумеется, не заведомо негодных, меньше шансов пропустить хорошее.

*Выбор решения* из множества возможных на основе критериев и с учетом ограничений. Это четвертый, очень ответственный этап. Здесь опять не нужны избыточные детали, кроме тех, что позволяют целенаправленно, по критериям, сравнивать решения. Здесь очень важны верные крупные оценки.

В теории проектирования вводится понятие нехудших решений, т.е. решений, попадающих в некоторую допустимую область по совокупности признаков, и формулируются алгоритмы их поиска.

*Детальная разработка выбранного технического решения.* Это пятый этап – этап окончательного выбора оборудования, расчета характеристик, составления алгоритмов управления, конструктивной компоновки узлов, оценки основных показателей и т.п. Пятый этап выполняется всегда – и в серьезных, и в учебных проектах. Однако если ему не предшествуют первые четыре или если они выполнены некачественно, нетворчески, итоги могут быть печальными.

Подчеркнем, что, как и всякий творческий процесс, конкретное проектирование, даже при очень жестких ограничениях во времени, не развивается по равномерно восходящей линии – неизбежны возвраты, повторы и т.п. Характерный график процесса представлен на рис. 7.1. В хороших проектах первые четыре этапа занимают не менее 50 % всего времени – при этом создается или, точнее, может создаваться действительно новое и действительно хорошее, лучшее, чем было, решение.

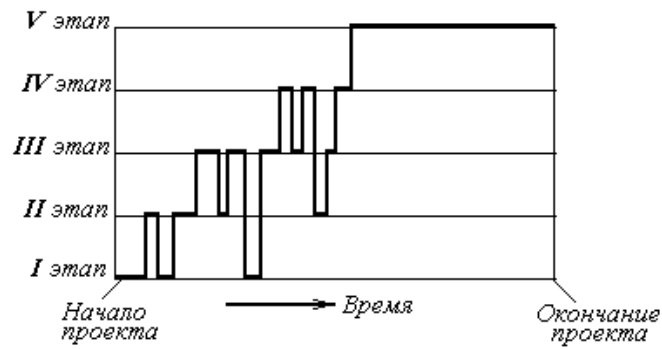


Рис. 1.1. Типичный график процесса проектирования

*Выбор двигателя* – один из ответственных этапов проектирования привода, так как именно двигатель осуществляет электромеханическое преобразование энергии и в значительной мере определяет технические и экономические качества привода в целом.

Ограничим задачу рассмотрением лишь *выбора мощности* двигателя, т.е. будем считать, что тип двигателя и способ управления им выбраны заранее.

Одним из основных требований к двигателю является надежность его работы при минимуме капитальных затрат и эксплуатационных издержек. Это требование может быть удовлетворено лишь при выборе двигателя соответствующей мощности. Применение двигателя завышенной мощности влечет за собой неоправданное повышение капитальных вложений, снижение КПД, а для асинхронных двигателей – ухудшение коэффициента мощности. Применение двигателей недостаточной мощности может привести к нарушению нормальной работы механизма, возникновению аварий и сокращению нормального срока службы двигателя.

Нагрузка на двигатель при длительном ее воздействии ограничивается *нагревом*, а при кратковременном – его *перегрузочной способностью*.

Перегрузочная способность представляет собой отношение максимального момента, который способен развить двигатель хотя бы кратковременно, к его номинальному моменту  $\lambda = \frac{M_{\text{макс}}}{M_n}$ . Для

асинхронных двигателей максимальный момент ограничен критическим значением момента; для синхронных – значением момента, при котором возможна устойчивая работа двигателя в синхронном режиме, для двигателей постоянного тока максимальный момент ограничен значением, при котором коммутация тока протекает без опасного искрения на коллекторе.

Ограничение по нагреву двигателей определяется теплостойкостью их изоляции. При соблюдении установленных заводом ограничений по температуре срок службы изоляции электрических машин составляет около 10 лет, что и является нормальным сроком их эксплуатации. Нагрев изоляции выше предельных значений недопустим, так как вызывает сокращение срока службы электрических машин. Предельные температуры обмоток двигателей с различными классами изоляции соответствуют номинальной нагрузке двигателей и температуре окружающей среды  $+40^{\circ}\text{C}$ . Если действительное значение температуры  $t_{окр} < +40^{\circ}\text{C}$ , то двигатель без опасности перегрева может быть нагружен несколько выше номинальной нагрузки; при  $t_{окр} > +40^{\circ}\text{C}$  нагрузка двигателя должна быть снижена против номинальной.

При выборе мощности двигателя основными исходными данными являются требуемые моменты, которые должны быть приложены к валу механизма, требуемые скорости и ускорения рабочего органа механизма. Эти величины должны быть известны из требований технологического процесса.

Задача выбора мощности двигателя осложняется тем, что в динамическом режиме момент, развиваемый двигателем, не равен моменту статической нагрузки, а разница – динамический момент  $J_{\Sigma} \frac{d\omega}{dt}$  – зависит от суммарного момента инерции привода, в который входит и момент инерции двигателя. В связи с этим в тех случаях, когда динамические режимы играют заметную роль, задача решается в два этапа: предварительный выбор двигателя и

его проверка по перегрузочной способности и по нагреву. В частном случае, когда двигатель работает преимущественно в установившихся режимах ( $M = M_c$ ), выбор двигателя может быть произведен непосредственно по требуемым  $M_c$  и  $\omega$ .

### Пример выполнения практической работы

#### **Выбор электродвигателя и редуктора.**

Согласно техническому заданию привод вращательного движения должен циклично вращаться по следующему закону изменения скорости:

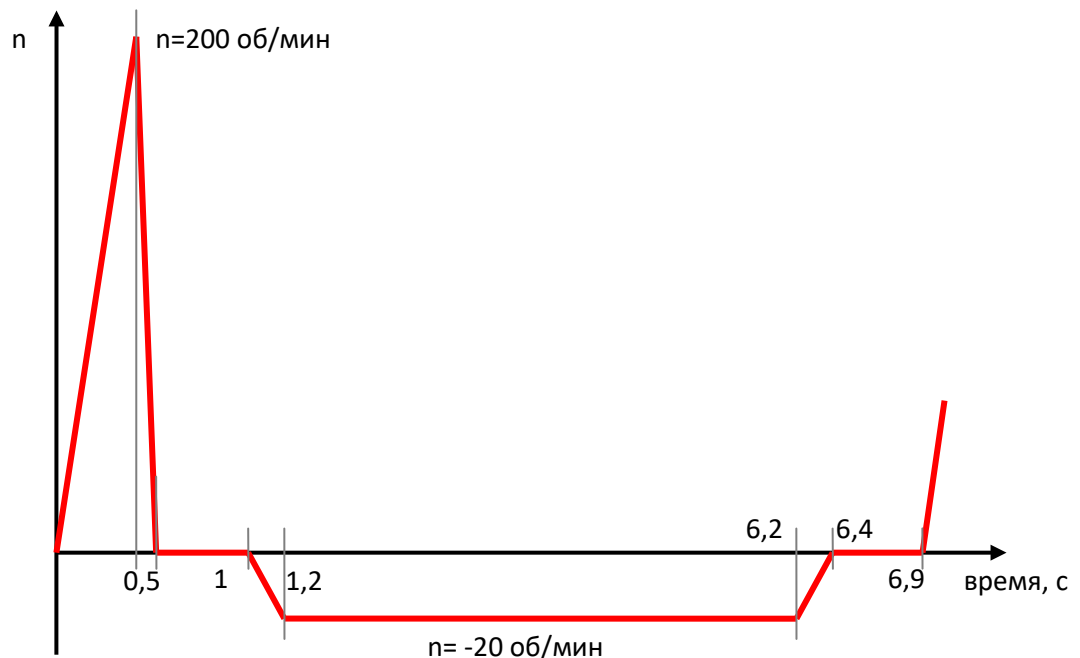


Рис. 1.2. Циклограмма закона изменения скорости привода

Момент инерции нагрузки составляет  $630 \text{ кгсм}^2$  и постоянный момент трения составляет  $550 \text{ мНм}$ .

Рассчитаем момент на валу двигателя, необходимый для реализации ускорения и замедления:

$$M_{\alpha} = J_L \alpha = J_L \cdot \frac{\pi}{30} \cdot \frac{\Delta n}{\Delta t} = 0,063 \cdot \frac{\pi}{30} \cdot \frac{200}{0,5} \approx 2,64 \text{ Нм}$$

Учитывая момент трения, найдем необходимые моменты на валу двигателя на каждом из участков:



- режим максимального ускорения (0,5 с) – 3,2 Нм,
- установившийся режим (5 с) – 550 мНм,
- режим торможения с тормозным моментом 3 Нм (0,01 с) – 350 мНм,
- режим ожидания (1 с) – 0 мНм.

Максимальный (пиковый) момент на валу двигателя возникает во время режима ускорения. Рассчитаем постоянный «эффективный» момент за рабочий цикл:

$$M_{\alpha,RMS} = \sqrt{\frac{1}{t_{tot}} (t_1 M_1^2 + t_2 M_2^2 + t_3 M_3^2 + t_4 M_4^2)} =$$

$$= \sqrt{\frac{1}{6,9} (0,5 \cdot 3,2^2 + 5 \cdot 0,55^2 + 0,01 \cdot 0,35^2 + 1 \cdot 0^2)} = 0,98 \text{ } \dot{H}$$

Максимальная скорость (200 об/мин) возникает в конце фазы ускорения при максимальном моменте 3,2 Нм. Таким образом, пиковая механическая мощность равна:

$$P_{max} = M_{max} \cdot n_{max} \cdot \frac{\pi}{30} = 3,2 \cdot 200 \cdot \frac{\pi}{30} \approx 67 \text{ Вт}$$

Редуктор необходимо выбирать из следующих условий: номинальный постоянный крутящий момент не менее 0,98 Нм, номинальный пиковый крутящий момент не менее 3,2 Нм. Этим требованиям полностью удовлетворяет планетарная передача Maxon Planetary Gearhead GP 32 C. Рекомендуемая входная скорость 7000 об/мин позволяет реализовать следующее максимальное передаточное число:

$$i_{max} = \frac{n_{max,G}}{n_B} = \frac{7000}{200} = 35 : 1$$

Принимаем двухступенчатую планетарную передачу 166938 с передаточным отношением 33:1 и КПД 75%. Данный редуктор обладает номинальным постоянный крутящий момент 3 Нм, и пиковым 3,75 Нм. На рисунке 8 приведен чертеж редуктора.

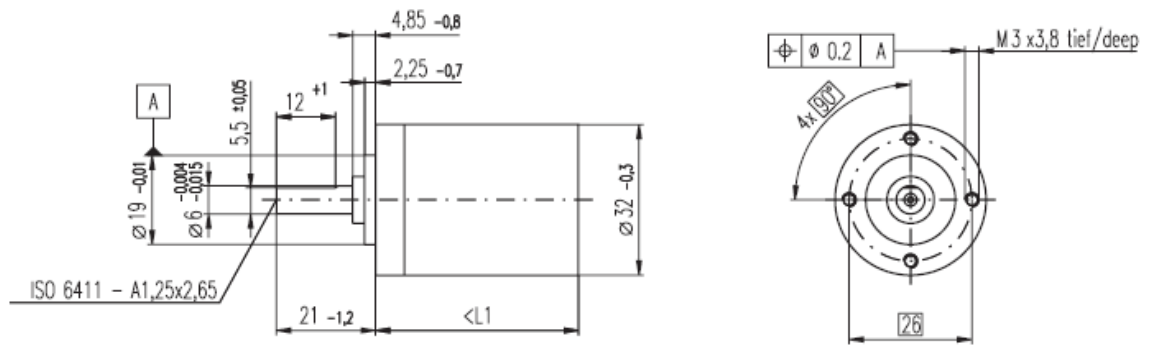


Рис. 1.3 Чертеж планетарного редуктора

Подробные технические характеристики планетарного редуктора приведены в таблице 1.

Табл. 1.1 Технические характеристики редуктора.

Technical Data		
Planetary Gearhead		straight teeth
Output shaft		stainless steel
Shaft diameter as option		8 mm
Bearing at output		ball bearing
Radial play, 5 mm from flange		max. 0.14 mm
Axial play		max. 0.4 mm
Max. radial load, 10 mm from flange		140 N
Max. permissible axial load		120 N
Max. permissible force for press fits		120 N
Sense of rotation, drive to output		=
Recommended input speed		< 8000 rpm
Recommended temperature range		-20 ... +100°C
Extended area as option		-35 ... +100°C

Gearhead Data		
1 Reduction		33 : 1
2 Reduction absolute		529/16
3 Max. motor shaft diameter	mm	3
4 Number of stages		2
5 Max. continuous torque	Nm	3
6 Intermittently permissible torque at gear output	Nm	3.75
7 Max. efficiency	%	75
8 Weight	g	162
9 Average backlash no load	°	0.8
10 Mass inertia	gcm <sup>2</sup>	0.8
11 Gearhead length L1	mm	36.3

Далее рассчитаем скорость вращения и момент на валу двигателя:

$$n_{\text{mot}} = i \cdot n_B = 33 \cdot 200 = 6600 \text{ об/мин}$$

$$M_{\text{mot,RMS}} = \frac{M_{\text{RMS}}}{i \cdot \eta} = \frac{0,98}{33 \cdot 0,75} \approx 0,04 \text{ Нм}$$

$$M_{\text{mot,max}} = \frac{M_{\text{max}}}{i \cdot \eta} = \frac{3,2}{33 \cdot 0,75} \approx 0,13 \text{ Нм}$$

С помощью системы соответствий двигателей и редукторов каталога фирмы «Махон» выберем электродвигатель Махон RE 35 273753 с графитовыми щетками, которые предпочтительны для режимов с частым пуском/остановкой. Также двигатель предполагает установку оптического энкодера.

Электродвигатель обладает следующими характеристиками:

- мощность  $P = 90$  Вт,
- номинальная частота вращения вала электродвигателя  $n = 6420$  мин<sup>-1</sup>,
- частота вращения на холостом ходу  $7220$  мин<sup>-1</sup>,
- номинальный ток  $I_{\text{ном}} = 2,5$  А,

Чертеж электродвигателя представлен на рисунке 1.4.

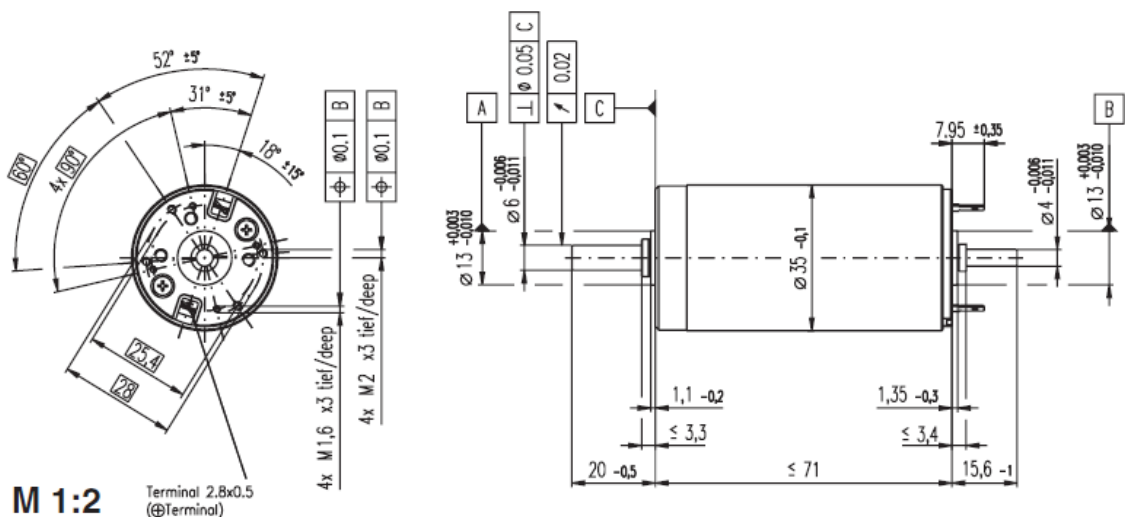


Рис. 1.4 Чертеж электродвигателя

Рабочая зона механической характеристики электродвигателя изображена на рисунке 1.5.

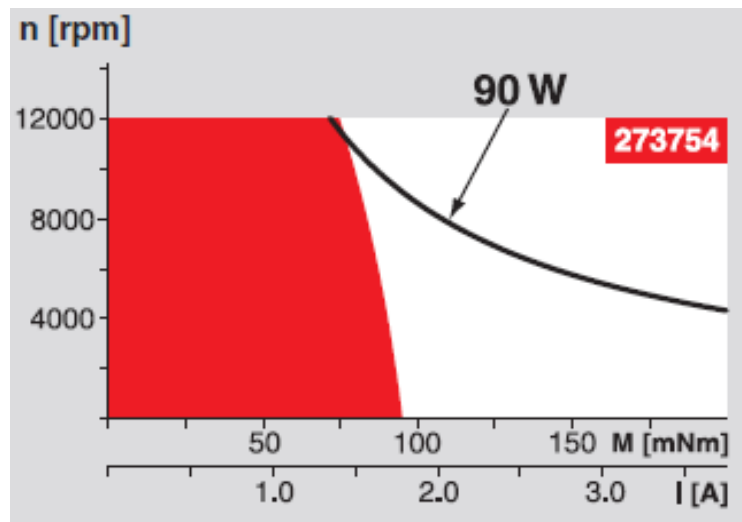


Рис. 1.5 Механическая характеристика двигателя

Подробные технические характеристики двигателя приведены в таблице 1.2-1.3.

Таблица 1.2. Технические характеристики электродвигателя

<b>Motor Data (provisional)</b>		
Values at nominal voltage		
1	Nominal voltage	V 30.0
2	No load speed	rpm 7220
3	No load current	mA 123
4	Nominal speed	rpm 6420
5	Nominal torque (max. continuous torque)	mNm 92.4
6	Nominal current (max. continuous current)	A 2.50
7	Stall torque	mNm 949
8	Starting current	A 24.4
9	Max. efficiency	% 84
Characteristics		
10	Terminal resistance	$\Omega$ 1.23
11	Terminal inductance	mH 0.340
12	Torque constant	mNm / A 38.9
13	Speed constant	rpm / V 246
14	Speed / torque gradient	rpm / mNm 7.76
15	Mechanical time constant	ms 5.50
16	Rotor inertia	gcm <sup>2</sup> 67.6

Таблица 1.3. Технические характеристики электродвигателя

<b>Thermal data</b>		
17	Thermal resistance housing-ambient	6.2 K / W
18	Thermal resistance winding-housing	2.0 K / W
19	Thermal time constant winding	30 s
20	Thermal time constant motor	1050 s
21	Ambient temperature	-20 ... +100°C
22	Max. permissible winding temperature	+155°C
<b>Mechanical data (ball bearings)</b>		
23	Max. permissible speed	12000 rpm
24	Axial play	0.05 - 0.15 mm
25	Radial play	0.025 mm
26	Max. axial load (dynamic)	5.6 N
27	Max. force for press fits (static) (static, shaft supported)	110 N 1200 N
28	Max. radial loading, 5 mm from flange	28 N
<b>Other specifications</b>		
29	Number of pole pairs	1
30	Number of commutator segments	13
31	Weight of motor	340 g

Мотор и редуктор являются унифицированным и собираются в единый посредством стандартных креплений.

### Тепловой расчет

Электродвигатель может работать только в пределах номинальных значений тока из-за температурных ограничений. Как только температура обмотки двигателя превысит критическую величину, двигатель выйдет из строя. Максимальная температура ротора двигателя составляет 1250С. Чтобы не допустить перегрева произведем расчет тепловой расчет привода. Существует несколько различных режимов работы двигателя. Проектируемый привод, в виду особенностей его работы, работает в режиме S7 (рис. 1.6).

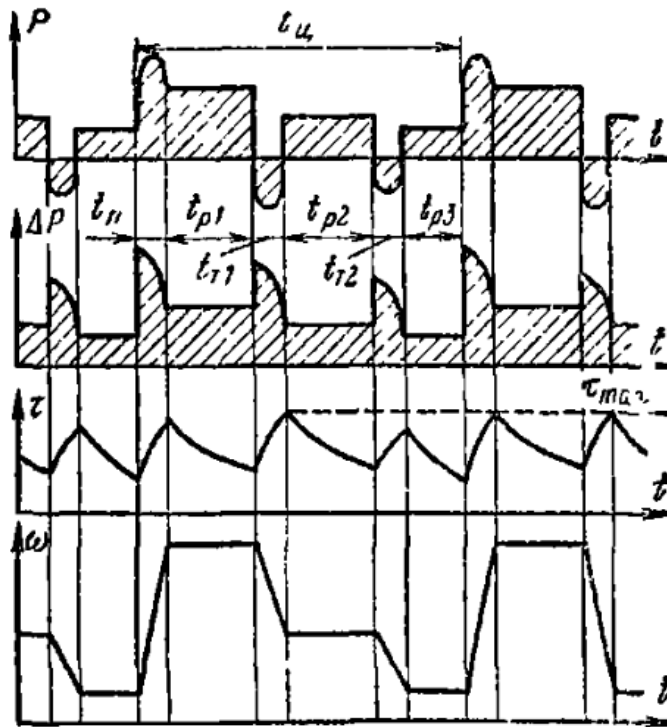


Рис. 1.6. Диаграммы отдачи тепла при работе в режиме S7

Это режим перемежающийся номинальной нагрузки с частыми реверсами – последовательность идентичных рабочих циклов, в которых периоды работы на номинальной нагрузке чередуются с периодами реверса. В данном режиме потери на реверсирование оказывают существенное влияние на перегрев двигателя.

Многоступенчатый график нагрузки приводится к стандартному одноступенчатому с помощью расчета номинальной нагрузки за цикл. Далее определяем относительную продолжительность работы:

$$ПВ = \frac{t_p}{t_p + t_0} \cdot 100\% = \frac{t_{tp}}{T_u} \cdot 100\%,$$

где  $t_p$  - период работы при номинальных условиях,

$t_0$  - период отключенного неподвижного состояния (паузы),

$T_u$  - продолжительность цикла.

Рассчитав, получим:

$$ПВ = \frac{5,9}{6,9} \cdot 100\% \approx 85\%.$$

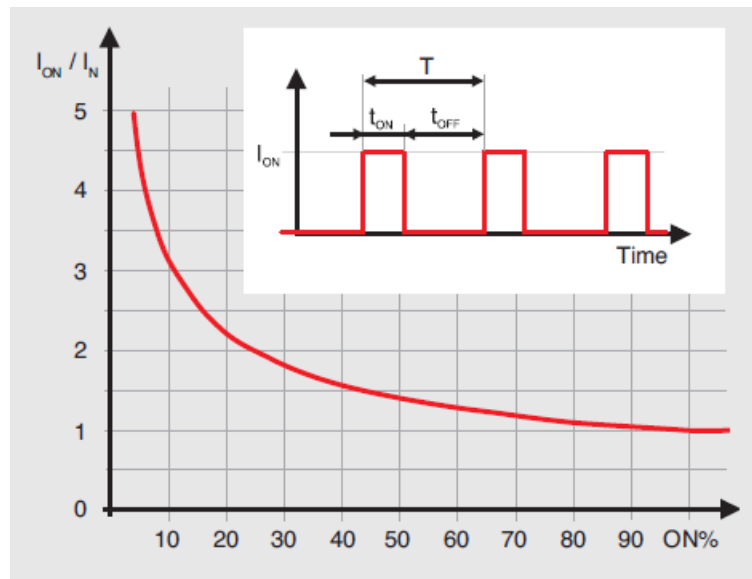


Рис. 1.7 Нагрузочная диаграмма двигателя

Таким образом, пусковой ток двигателя находится из условия:

$$I_{ON} < \frac{I_N}{PB} = \frac{2,1}{0,85} \approx 2,5 (A).$$

Таким образом, при ограничении пускового тока до 2,5 А, двигатель можно использовать для работы в номинальном режиме S7.

### Задание для практической работы

Выполнить мощностной расчет привода, выбрать электродвигатель, редуктор, механическую передачу. Осуществить тепловой расчет и расчет по перегрузочной способности для устройства согласно варианту (см. табл. 1.4).

Таблица 1.4 – Варианты задания для практической работы

№ Варианта	Задание
1	Электропривод реабилитационного устройства для коленного сустава
2	Электропривод реабилитационного устройства верхних конечностей
3	Электропривод мехатронного модуля вспомогательного устройства захвата промышленного экзоскелета
4	Электропривод конвертоплана для поиска неисправностей линий электропередач
5	Электропривод промышленного робота для укладки деталей в тару
6	Электропривод бионического подводного робота для мониторинга биосферы
7	Электропривод земноводного робота-каракатицы для поисковых работ
8	Электропривод робота для очистки солнечных батарей
9	Электропривод колесного робота для транспортирования грузов по пересеченной местности
10	Электропривод медицинского манипулятора для выполнения лечебных процедур
11	Электропривод мехатронного модуля манипулятора для загрузки-выгрузки цилиндрических заготовок
12	Электропривод робота-пылесоса
13	Электропривод мехатронного модуля колёсного робота для перевозки малогабаритных грузов
14	Электропривод робота-газонокосилки для футбольного поля
15	Электропривод мехатронного модуля робота манипулятора для покраски пространственных поверхностей
16	Электропривод робота манипулятора для сортировки яблок



17	Электропривод двухзвенной стопы реабилитационного устройства нижних конечностей
18	Электропривод роботизированного устройства для механотерапии тазобедренного сустава
19	Электропривод мобильной гусеничной платформы для внутритрубной диагностики
20	Электропривод мехатронного модуля (трехпальцевого) схвата робота манипулятора
21	Электропривод автоматизированной поворотной платформы системы видеонаблюдения
22	Электропривод реабилитационного устройства для голеностопного сустава
23	Электропривод мехатронного модуля грузовой платформы, перемещающейся по лестнице
24	Электропривод мобильной платформы для разведки и тушения пожаров
25	Электропривод змееподобного робота для поисковых работ в ограниченном пространстве

## **Практическая работа №2. Устройство сервопривода робототехнического устройства**

**Цель работы:** изучить принципы построения сервоприводов на примере сервомотора на базе коллекторного двигателя постоянного тока, освоить особенности конструкции и алгоритмы управления сервоприводами.

### **Краткая теория**

*Сервопривод* – механический привод, имеющий в составе датчик (положения, скорости, усилия и т.п.) и блок управления приводом (электронную схему или механическую систему тяг), автоматически поддерживающий необходимые параметры на датчике согласно заданному внешнему значению.

Сервопривод является «автоматическим точным исполнителем» — получая на вход значение управляющего параметра (в режиме реального времени), он «своими силами» (основываясь на показаниях датчика) стремится создать и поддерживать это значение на выходе исполнительного элемента.

К сервоприводам, как к категории приводов, относится множество различных регуляторов и усилителей с отрицательной обратной связью, например, гидро/электро/пнеumo- усилители ручного привода управляющих элементов (в частности, рулевое управление и тормозная система на тракторах и автомобилях), однако термин «сервопривод» чаще используется для обозначения электрического привода с обратной связью по положению, применяемого в автоматических системах для привода управляющих элементов и рабочих органов.

### **Микро сервопривод на базе коллекторного двигателя постоянного тока (сервомашинка)**

*Сервомашинка* – это краеугольный камень механики радиоуправляемых моделей, а последнее время и домашней робототехники. Представляет собой небольшой блок с двигателем,

редуктором и схемой управления. На вход сервомашинки подается питание и управляющий сигнал, задающий угол на который надо выставить вал сервопривода.

Управление сервомашинками стандартизировано. Отдельные модели различаются усилием на валу, быстродействием, точностью управления, габаритами, весом и материалом изготовления шестеренок.

### Конструкция сервомашинки

Сервопривод, показанный на рис. 2.1 состоит из следующих основных элементов: коллекторный двигатель постоянного тока, зубчатый цилиндрический редуктор, резистивный потенциометр, схема управления, включающая усилительную схему.

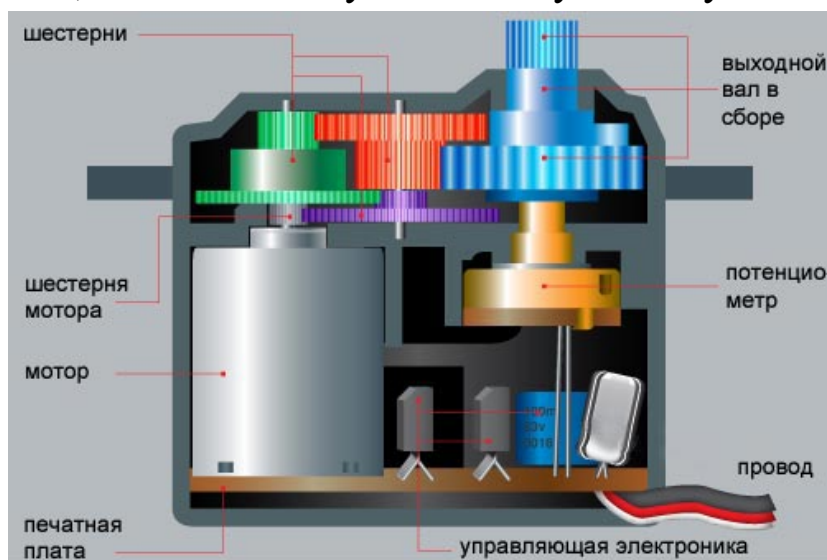


Рис. 2.1 Конструкция сервопривода



Рис. 2.2 Внешний вид схемы управления сервопривода

Драйверная схема включает в себя четыре транзистора, образующие H-мост позволяющий реверсировать вращение двигателя постоянного тока.

### **Регулирование положением выходного вала**

Сервопривод управляется импульсным сигналом постоянной частоты и различной шириной импульса. Ширина импульса задает требуемое положение выходного вала сервомашинки.



Рис. 2.3 Диапазон изменения ширины и длительности импульса

Согласно рис. 2.3 – 0.8мс соответствует положению 0 градусов, крайне левое положение. 2.3мс это около 170 градусов — крайне правое. 1.5мс — среднее положение. Между импульсами производитель рекомендует давать 20мс.

### **Принцип организации управления**

Когда на вход приходит импульс, то он своим передним фронтом запускает одновибратор внутри сервомашинки. Одновибратор это блок выдающий один импульс заданной длительности по запускающему фронту. Длительность этого внутреннего импульса зависит исключительно от положения переменного резистора, т.е. от текущего положения выходного вала.

Далее эти два импульса сравниваются. Если внешний импульс короче внутреннего, то эта разность подается на двигатель в одной полярности. Если внешний импульс длиннее внутреннего, то

полярность подачи на движок будет другой. Под действием одного импульса привод ступенчато перемещается в сторону уменьшения разности. Так как импульсы идут часто (20мс между каждым) то на двигатель идет подобие ШИМа. И чем больше разность между заданием и текущим положением, тем больше коэффициент заполнения и двигатель активнее стремится эту разность ликвидировать.

В итоге, когда импульсы задающие и внутренние сравниваются по длительности двигатель остановится.

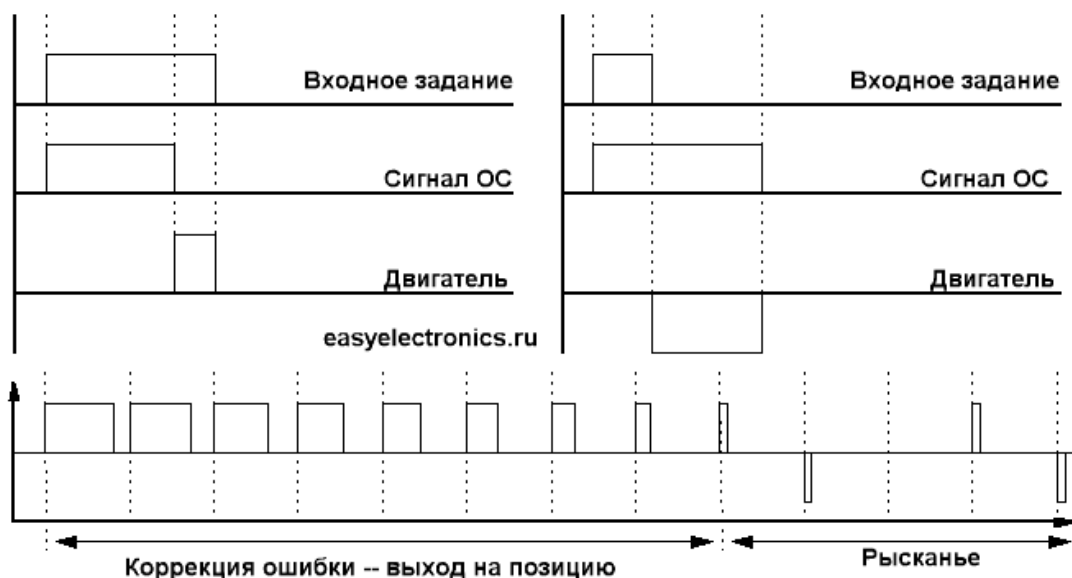


Рис. 2.4 Схема формирования управляющего напряжения

На рис. 2.4 изображены два случая: когда задающий импульс длиннее внутреннего и когда короче. В нижней части рисунка показано как выглядит управляющий сигнал подаваемый на двигатель при выходе на заданную точку.

Частота следования импульсов определяет быстродействие, с которым сервомашинка будет отрабатывать заданное положение. Минимальный интервал, выше которого скорость перестает возрастать, а дребезг усиливается это порядка 5-8мс. Более 20мс паузы приводит к потере быстродействия в отклике сервопривода. Оптимальная пауза около 10-15мс.

### **Преимущества перед шаговым двигателем:**

- не предъявляет особых требований к электродвигателю и редуктору - они могут быть практически любого нужного типа и мощности (а шаговые двигатели, как правило, маломощны и тихоходны);
- автоматически компенсирует люфты в приводе и его износ;
- гарантирует максимальную точность (по датчику) в течении всего срока эксплуатации (у шагового двигателя происходит постепенный "уход" при износе редуктора и требуется периодическая юстировка);
- большая возможная скорость перемещения элемента (у шагового двигателя меньшая максимальная скорость по сравнению с другими типами электродвигателей);
- затраты энергии пропорциональны сопротивлению элемента (на шаговый двигатель постоянно подаётся номинальное напряжение с запасом по возможной перегрузке);
- мгновенная диагностика в случае поломки (заедания) привода;

### **Недостатки в сравнении с шаговым двигателем**

- необходимость в дополнительном элементе - датчике;
- сложнее блок управления и логика его работы (требуется обработка результатов датчика и выбор управляющего воздействия, а в основе контроллера шагового двигателя - просто счётчик);
- проблема фиксирования: обычно решается постоянным притормаживанием перемещаемого элемента либо вала электродвигателя (что ведёт к потерям энергии) либо применение червячных/винтовых передач (усложнение конструкции) (в шаговом двигателе каждый шаг фиксируется самим двигателем).
- сервоприводы, как правило, дороже шаговых.

## **Порядок выполнения лабораторной работы**

1. Ознакомится с устройством сервопривода на базе коллекторного двигателя постоянного тока.
2. Изучить способы формирования питающего напряжения двигателя, состав электронной платы управления.
3. Подготовить функциональную и структурную схему сервопривода робота.
4. Определить параметры сервопривода применимого для решения задачи, из первой практической работы согласно варианту (см. табл. 1.4).
5. Оформить отчет. Отчет должен содержать описание сервопривода, краткие теоретические сведения, результаты проведенных расчетов и выбора сервопривода, выводы.

## Библиографический список

1. Овчинников, И. Е. Электромеханические и мехатронные системы [Текст]: учебное пособие / И. Е. Овчинников. - Санкт-Петербург: Корона.Век. Ч. 1: Полупроводниковые устройства в цепи электрических машин. Коллекторные и бесконтактные двигатели постоянного тока. Конструкции, характеристики, регулирование, динамика разомкнутых систем. - 2015. - 396 с.
2. Данилов, П.Е. Теория электропривода: учебное пособие / П.Е. Данилов, В.А. Барышников, В.В. Рожков; Национальный исследовательский университет "МЭИ" в г. Смоленске. – Москва; Берлин: Директ-Медиа, 2018. – 416 с.: ил., схем.,
3. Беспалов, В. Я. Электрические машины [Текст]: учебное пособие / В. Я. Беспалов, Н. Ф. Котеленец. - М.: Академия, 2006. - 320 с.
4. Робототехника и ГАП, кн.2 "Приводы робототехнических систем", под ред. Макарова И.М., М.: Высшая школа, 1986.
5. Карнаухов Н.Ф. Электромеханические и мехатронные системы. Ростов н/Д: Феникс, 2006.
6. Белов М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов. М.: Издательский центр "Академия", 2004.
7. Ключев В.И. Теория электропривода. М.: Энергоатомиздат, 1998.
8. Проектирование манипуляторов промышленных роботов и роботизированных комплексов: Учеб. пособие для студ. Вузов / С.Ф. Бурдаков и др.- М.: Высш. шк., 1986.
9. Кувшинов, А.А. Теория электропривода : учебное пособие / А.А. Кувшинов, Э.Л. Греков; Оренбургский государственный университет. – Оренбург : Оренбургский государственный университет, 2017. – Ч. 3. Переходные процессы в электроприводе. – 114 с.
- 10.