

Министерство образования Российской Федерации

Санкт-Петербургский государственный университет
низкотемпературных и пищевых технологий



Кафедра электротехники

**ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ
ПОСТОЯННОГО ТОКА ПО МОЩНОСТИ И РАСЧЕТ
ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА ПУСКА**

Методические указания
к выполнению расчетно-графической работы
для студентов всех специальностей

Санкт-Петербург 2000

УДК 621.375.4 (031)

Батяев А. А., Русанов А. В. Выбор электродвигателя постоянного тока по мощности и расчет переходного процесса пуска: Метод. указания к выполнению расчетно-графической работы для студентов всех спец. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2000. – 20 с.

Приводятся теоретические и справочные сведения, методические указания к выбору электродвигателя постоянного тока и расчету переходного процесса пуска

Рецензент

Канд. техн. наук, доц. А. И. Васильев

Одобрены к изданию советом факультета техники пищевых производств

© Санкт-Петербургский государственный
университет низкотемпературных
и пищевых технологий, 2000

Общие положения

Переходным режимом электропривода называется режим работы при переходе от одного установившегося состояния к другому, когда изменяются частота вращения, момент и ток, потребляемый из сети. Изучение переходных режимов имеет большое практическое значение, так как они определяют оптимальный выбор мощности электродвигателей, рациональный подбор аппаратов в схемах управления, позволяют повысить производительность механизмов, снизить энергоёмкость и т. п.

Пуск электродвигателя постоянного тока (ДПТ) отличается от пуска асинхронного двигателя главным образом тем, что существенно затруднено прямое включение ДПТ в сеть. Это объясняется тем, что большие пусковые токи нарушают нормальную работу щёточно-коллекторного узла, что приводит к быстрому выходу из строя ДПТ.

Ограничение пусковых токов, а также регулирование частоты вращения ДПТ обычно осуществляются уменьшением напряжения на якоре.

В электроприводах малой и средней мощности, применяемых в настоящее время в пищевой промышленности, технически обоснованным является использование добавочного пускового сопротивления (простота схемного решения и сравнительно небольшое энергопотребление в общем балансе предприятия).

Предлагаемая расчётно-графическая работа состоит из следующих этапов:

- 1) расчёт мощности и предварительный выбор ДПТ, выбор стандартного редуктора;
- 2) определение расчетных коэффициентов электродвигателя;
- 3) построение механической характеристики потребителя и естественной механической характеристики электродвигателя;
- 4) расчёт числа ступеней и величин пусковых сопротивлений;
- 5) определение продолжительности переходного процесса разбега механизма из состояния покоя и характера изменения частоты вращения.

Следует отметить, что используемая методика расчёта может быть применена и для асинхронного электродвигателя с фазным ротором.

1. Исходные данные для расчета

В соответствии с вариантом задания выписываются следующие данные из табл. прил. 1:

1. Моменты нагрузки и временные интервалы их действия (например, см. нагрузочную диаграмму рис. 1).

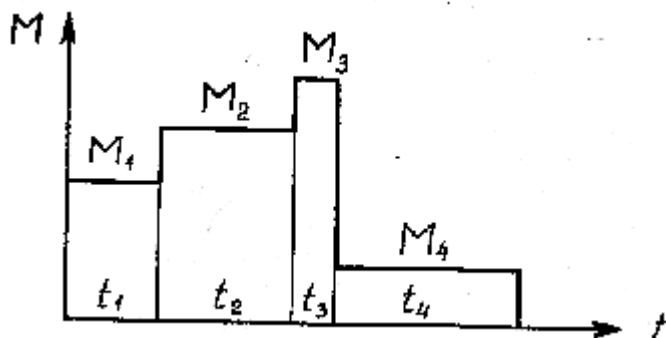


Рис. 1. Нагрузочная диаграмма работы двигателя

2. Номинальный момент сопротивления $M_{с.н}$, Н·м.

3. Коэффициент момента сопротивления потребителя при пуске

$$K_{п} = M_{с.п} / M_{с.н}$$

4. Заданная частота вращения привода $n_{с.н}$, об/мин.

5. Допустимая перегрузка электродвигателя по моменту (по току)

$$K_{п.д} = M_{д.п} / M_{д.н}$$

2. Расчёт необходимой мощности и предварительный выбор ДПТ

1. Расчёт мощности электродвигателя производится по эквивалентному моменту нагрузки и заданной частоте вращения рабочего механизма в соответствии с нагрузочной диаграммой, построенной по исходным данным. Эквивалентный момент нагрузки $M_{с.э}$ определяется выражением

$$M_{с.э} = \sqrt{\frac{\sum M_i^2 t_i}{\sum t_i}}, \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

2. Расчётная мощность сопротивления нагрузки при заданной частоте вращения $n_{н.г}$

$$P_{н} = 0,1 M_{с.э} n_{н.г}, \text{ Вт.}$$

При этом расчетная мощность электродвигателя (при заданной $n_{с.н}$)

$$P_H \geq P_c.$$

3. Предварительно из прил. 2 по справочным данным по мощности выбираем двигатель постоянного тока с параллельным или независимым возбуждением.

Основные параметры электродвигателя:

- тип электродвигателя;
- номинальная мощность P_H , Вт;
- номинальное напряжение U_H , В;
- номинальная частота вращения n_H , об/мин;
- коэффициент полезного действия η , % ;.
- сопротивление обмотки якоря $R_{я}$, Ом;
- сопротивление обмотки дополнительных полюсов $R_{доп}$, Ом;
- сопротивление обмотки возбуждения R_B , Ом;
- момент инерции якоря $J_{я}$, кг·м².

4. Определяется коэффициент передачи

$$i = n_H / n_{с.н}$$

Соединение электродвигателя с механизмом обычно производится зубчатой или клиноременной передачей. Это связано с тем, что номинальная частота вращения электродвигателя $n \geq 750$ об/мин. При значительной разнице частот вращения рабочего механизма и электро-двигателя необходимо устанавливать редуктор со стандартным коэффициентом передачи i (прил. 3).

Из прил. 3 выбираем редуктор со стандартным коэффициентом передачи i .

5. Тогда уточненная частота вращения механизма

$$n_{с.н} = n_H / i, \text{ об/мин}$$

не должна отличаться от заданной (см. прил. 1) более чем на 5%.

6. Номинальный вращающий момент двигателя

$$M_{д.н} = P_H / 0,1 n_i, \text{ Н·м.}$$

7. Номинальный момент сопротивления, приведённый к валу двигателя

$$M_{с.д} = M_{с.н} / i, \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

3. Определение расчетных коэффициентов C_M' и C_A' электродвигателя

1. Ток, потребляемый электродвигателем из сети

$$I_n = P_n / \eta U_n, \text{ А}.$$

2. Номинальный ток якоря для двигателя с параллельным возбуждением

$$I_{я.н} = I_n - I_b = I_n - U_n / R_b, \text{ А}.$$

3. Расчетный коэффициент момента C_M' при $\Phi = \text{const}$.

Исходя из $M_{д.н} = C_M \Phi I_{я}$, принимаем $C_M' = C_M \Phi$.

Тогда $C_M' = M_{д.н} / I_{я.н}$.

4. Расчетный коэффициент ЭДС C_E' при $\Phi = \text{const}$.

Исходя из $E_{я} = C_E \Phi n_n$ и $E_{я} = U_n - I_{я.н} R_{я}$, принимаем $C_E' = C_E \Phi$.

Тогда $C_E' = (U_n - I_{я.н} R_{я}) / n_n$.

4. Построение механической характеристики нагрузки и естественной механической характеристики электродвигателя

Полученные расчетные данные позволяют построить в единой системе координат механические характеристики нагрузки и электродвигателя.

1. Механическая характеристика нагрузки, приведенная к валу двигателя.

Строится по двум точкам (линейно-возрастающая функция).

Первая точка. При $n = 0$ момент сопротивления при пуске $M_{с.п.д}$, приведенный к валу двигателя

$$M_{с.п.д} = K_p M_{с.н} / i, \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Вторая точка определяется $M_{с.д}$ и n_n .

На графике (рис. 2) строится механическая характеристика нагрузки $n = f(M_d)$.

2. Естественная механическая характеристика электродвигателя.

Строится по двум точкам.

Первая точка определяется точкой идеального холостого хода n_0 при $M_d = 0$.

Вторая точка соответствует номинальной частоте вращения n_n при $M_{д.н}$. Рассчитанные величины $M_{д.н}$ и n_n берутся из разд. 2.

Частота вращения идеального холостого хода

$$n_0 = U_n / C_A', \text{ об/мин.}$$

По двум точкам на графике (рис. 2) строится механическая характеристика электродвигателя.

На рис. 2 представлены примерные механические характеристики нагрузки и электродвигателя.

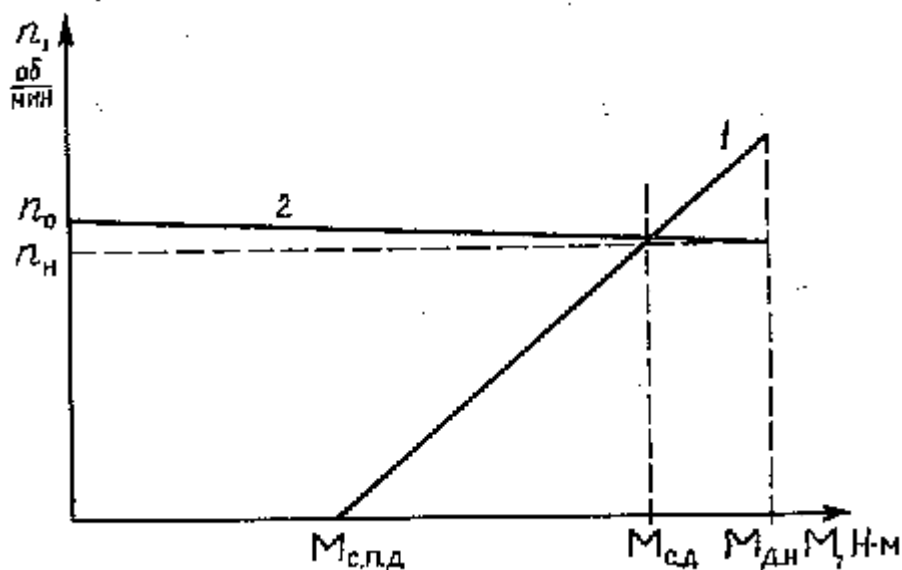


Рис. 2. Механические характеристики нагрузки и электродвигателя:
1 — механическая характеристика нагрузки; 2 — естественная механическая характеристика электродвигателя

5. Расчёт числа ступеней и величин пусковых сопротивлений

В настоящей работе предполагается использование ДПТ с параллельным возбуждением. Для расчёта пусковых сопротивлений используются механические характеристики электропривода, построенные в разд. 4 и преобразованные в функции тока якоря – $I_{\dot{y}}$, т. е. скоростные характеристики $n = f(I_{\dot{y}})$.

Последовательность расчёта пусковых сопротивлений следующая:

1. Строятся скоростные характеристики $n = f(I_{\dot{y}})$ для нагрузки и электродвигателя (рис. 3).

Скоростные характеристики для электродвигателя

Для электродвигателя строятся 2 характеристики: *естественная* 1 – при отсутствии пускового сопротивления в цепи якоря и *пусковая* 2 – проходящая через точку $I_{\dot{y},i}$ ($n = 0$).

Естественная скоростная характеристика электродвигателя

Строится по двум точкам.

Первая точка: n_o при $I_{\dot{y}} = 0$.

Вторая точка: n_n при $I_{\dot{y},n}$.

Пусковая скоростная характеристика электродвигателя

Строится по двум точкам.

Первая точка: n_o при $I_{\dot{y}} = 0$.

Вторая точка: $I_{\dot{y},п}$ при $n = 0$.

Допустимая величина тока якоря при пуске двигателя $I_{\dot{y},п}$ определяется через заданное соотношение

$$K_{п,д} = M_{д,п} / M_{д,n} = I_{\dot{y},п} / I_{\dot{y},n},$$

откуда

$$I_{\dot{y},п} = K_{п,д} I_{\dot{y},n}.$$

На графике (рис. 3) построены естественная и пусковая скоростные характеристики электродвигателя.

Скоростные характеристики для нагрузки

Строятся по двум точкам.

Первая точка:

Пусковой ток $I_{с,п} = K_{п} \cdot I_{\dot{y},n}$, $n = 0$.

Вторая точка: $I_{\dot{y},n}$ и n_n .

На графике (рис. 3) приведена скоростная характеристика 5 для нагрузки.

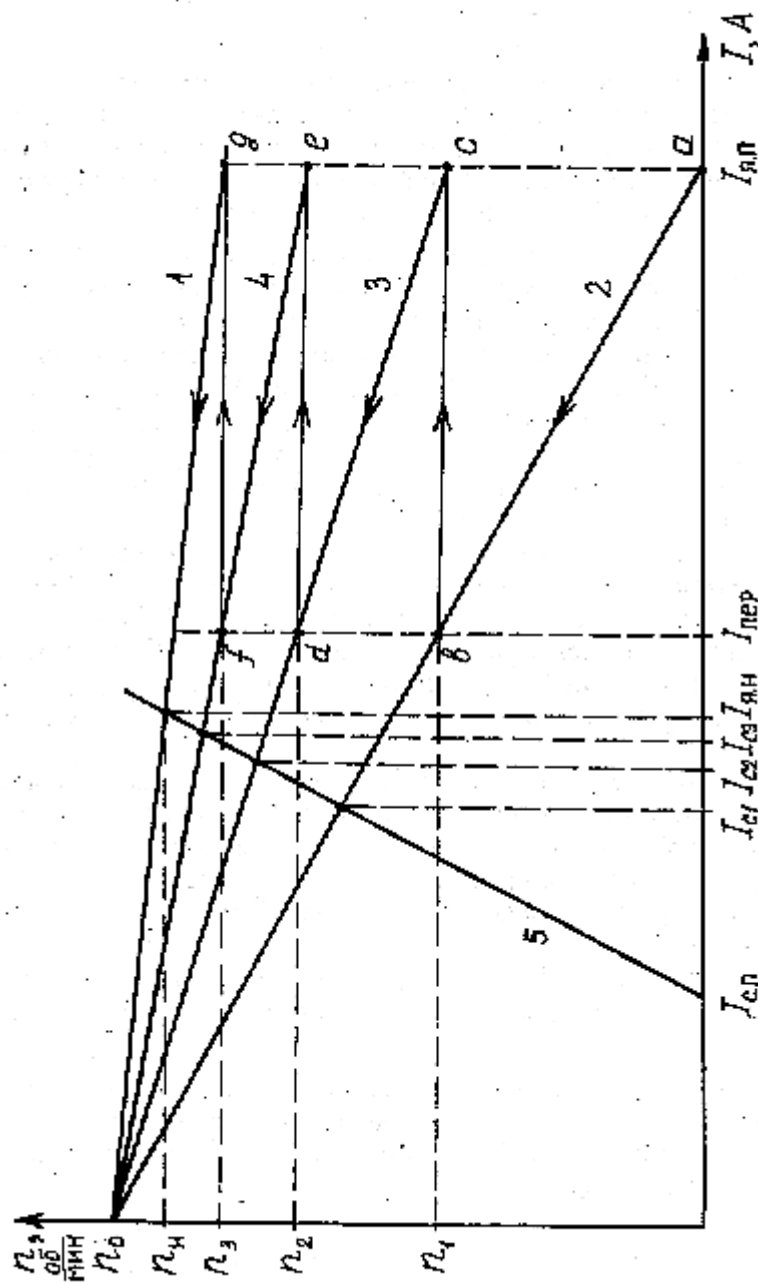


Рис. 3. Скоростные характеристики нагрузки и электродвигателя.

Графическое определение числа ступеней пуска:

- 1 – естественная скоростная характеристика двигателя;
- 2, 3, 4 – семейство пусковых скоростных характеристик;
- 5 – нагрузочная характеристики

2. Задаемся током отключения ступеней пускового реостата

$$I_{\text{пер}} = (1,05 \div 1,1) I_{\text{я.н}}, \text{ А} .$$

3. На графике проводятся вертикальные (пунктирные) линии, соответствующие пусковому току $I_{\dot{y},i}$ и току отключения ступеней пускового реостата – $I_{\dot{i}\ddot{a}\ddot{o}}$. При выборе величины тока отключения следует иметь в виду, что увеличение $I_{\dot{i}\ddot{a}\ddot{o}}$ сокращает время разбега, но увеличивает число ступеней пускового реостата и наоборот.

4. Производится графическое определение числа ступеней пуска (рис. 3). Строится семейство пусковых характеристик исходя из следующих особенностей работы двигателя при пуске.

Двигатель начинает работу в соответствии с характеристикой 2 (участок от точки *a* до пересечения с вертикальной прямой $I_{\dot{i}\ddot{a}\ddot{o}}$ – точка *b*). В точке *b* произойдёт выключение первой ступени пускового реостата, и следующий этап работы двигателя характеризуется участком *cd* второй скоростной характеристики 3, которая проходит через точку n_0 и точку *c*.

Когда ток якоря достигнет значения $I_{\dot{i}\ddot{a}\ddot{o}}$, соответствующего точке *d* на характеристике 3, произойдёт выключение второй ступени пускового реостата и двигатель начнет работать в соответствии с характеристикой – 4 (участок характеристики *ef*). В точке *f* происходит выключение последней ступени пускового реостата, и работа двигателя будет определяться его естественной механической характеристикой 1.

Если при построении семейства пусковых характеристик окажется, что горизонтальная прямая, проведенная из точки *f*, и естественная скоростная характеристика не пересекутся на прямой *ag* (точка *g*), то необходимо задаться другим значением $I_{\text{пер}}$ и все построения повторить сначала, пока не получится так, как показано на рис. 3.

Производя соответствующие графические построения, определяют число ступеней пуска. В рассматриваемом на рис. 3 примере их три.

5. Произведённое графическое построение позволяет определить величину сопротивления соответствующих ступеней реостата.

Полное сопротивление пускового реостата $R_{\dot{r}}$ определяется по закону Ома для цепи якоря

$$R_{\dot{r}} = U_{\dot{r}} / I_{\dot{y},i} - (R_{\dot{y}} + R_{\dot{a}\ddot{i}\ddot{i}}).$$

Эта величина в соответствующем масштабе представлена на рис. 3 отрезком *ag*. Тогда, определив масштаб сопротивления *mr*, как

$$mr = R_{\gamma}/ag,$$

рассчитывают соответствующие ступени пускового реостата, Ом

$$R_{\gamma 1} = ac \cdot mr, \quad R_{\gamma 2} = ce \cdot mr, \quad R_{\gamma 3} = eg \cdot mr.$$

6. Определив число ступеней и величину их сопротивления, вычерчивают электрическую схему управления пуском двигателя (рис. 4).

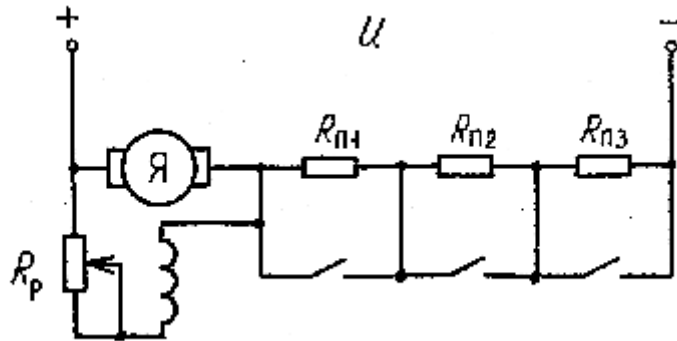


Рис. 4. Электрическая схема управления пуском двигателя

6. Определение продолжительности переходного процесса разбега механизма из состояния покоя и характера изменения частоты вращения.

Расчет времени переходного процесса производится на основании общего уравнения движения электропривода.

$$M_{\dot{\alpha}} - M_{\ddot{\alpha}} = J_{\Sigma} d\omega/dt,$$

где $M_{\dot{\alpha}}$ – момент развиваемый электродвигателем при работе на конкретной характеристике; $M_{\ddot{\alpha}}$ – момент сопротивления нагрузки, приведенный к валу двигателя.

1. J_{Σ} – момент инерции всех движущихся частей привода приведенный к валу двигателя ($\text{кг} \cdot \text{м}^2$). В общем случае можно принять

$$J_{\Sigma} = (1,1 - 1,5) J_{\gamma},$$

где J_{γ} – момент инерции якоря, определяемый из прил. 3.

2. Сопротивления для каждой реостатной характеристики, Ом

$$\begin{aligned} R_{\bar{r}1} &= R_{\bar{y}} + R_{\bar{a}\bar{r}} + R_{\bar{r}1} + R_{\bar{r}2} + R_{\bar{r}3}; \\ R_{\bar{r}2} &= R_{\bar{y}} + R_{\bar{a}\bar{r}} + R_{\bar{r}2} + R_{\bar{r}3}; \\ R_{\bar{r}3} &= R_{\bar{y}} + R_{\bar{a}\bar{r}} + R_{\bar{r}3}; \\ R_{\bar{r}4} &= R_{\bar{y}} + R_{\bar{a}\bar{r}}. \end{aligned}$$

3. Электромеханическая постоянная времени, соответствующая определенному $R_{\bar{r}i}$,

$$T_{mi} = J_{\Sigma} R_{\bar{r}i} / 9.55 C_1' C_A'$$

4. Время пуска на каждой реостатной характеристике определяется уравнением

$$t_i = T_{mi} \ln \frac{I_{\text{я.п}} - I_{ci}}{I_{\text{п.ер}} - I_{ci}},$$

где $I_{\bar{n}i}$ – токи, соответствующие точкам пересечения соответствующих скоростных характеристик двигателя и нагрузочной характеристики (см. рис. 3).

5. Общее время пуска t_{Σ} складывается из суммы времён t_i пуска на каждой ступени пускового реостата

$$t_{\Sigma} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4.$$

6. Значение конечной частоты вращения n_i для каждого времени t_i берется из графика (см. рис. 3) (n_1 определяется для t_1 точкой **b** и т. д.). Все полученные данные заносятся в таблицу.

$t_i, \text{с}$					
$n_i, \text{об/мин}$					

7. С учетом экспоненциального изменения частоты вращения на каждой ступени пуска, строится результирующая кривая $n = f(t)$ (рис. 5).

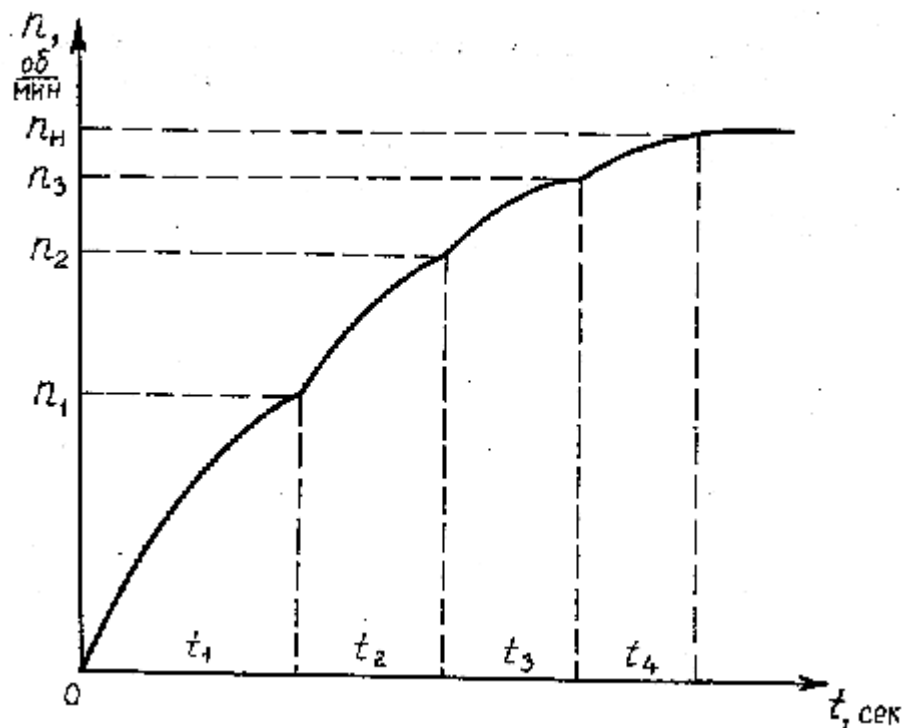


Рис. 5. Кривая изменения частоты вращения во время переходного процесса пуска

Содержание отчёта

1. Исходные данные.
2. Нагрузочная диаграмма.
3. Расчет мощности и выбор электродвигателя.
4. Механические характеристики двигателя и механизма.
5. Расчет и построение пусковых диаграмм.
6. Расчет времени переходного процесса пуска и построение кривой изменения частоты вращения.

Список литературы

1. Касаткин А. С., Немцов М. В. Электротехника. – М.: Высш. шк., 1999. – 542 с.
2. Методические указания для самостоятельного изучения дисциплины “Электротехника и электроника”. Ч. 1. – СПб.: СПбГАХИТ, 1992. – 285 с.

3. Сборник задач по электротехнике и основам электроники:
Учеб. пособие для вузов / Под ред. В. Г. Герасимова – М.: Высш. шк.,
1987. – 287 с.

Исходные данные для расчета

	№ Вар. Пара- мет.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	M1 , Н*М	100	250	112	260	325	460	38	70	21	64	96	112	84	220	110	39	82	130	175	318	455	760	28	42	25
2	M2 , Н*М	150	180	135	241	214	830	58	51	28	70	112	139	112	251	90	25	140	185	154	453	390	132	63	18	42
3	M3 , Н*М	200	510	84	268	356	510	44	30	14	55	91	112	135	238	150	45	72	105	245	382	510	815	34	25	96
4	M4 , Н*М	50	300	121	295	387	410	38	83	34	75	106	100	124	280	140	20	64	94	200	280	630	100	18	74	35
5	t1 , МИН	5	1,5	1	1	1,4	2,1	1,1	1,4	0,6	0,8	1,6	1,2	1	0,9	1,4	1	2	1,2	3	1,7	2	1,2	2	2	2,5
6	t2 , МИН	3	4,5	1,5	1,2	1,6	0,7	1,4	1,6	0,9	1,2	2	2	1,8	1,2	1	2	1,2	0,6	2,2	1	3,2	2	1,6	2,2	3
7	t3 , МИН	1	3	1,5	1,8	1,8	1,4	2,6	1,9	1,9	2	1	4	1,5	1,8	1,8	1,8	1,5	3	1,6	2	0,8	1,6	1,4	1,5	1
8	t4 , МИН	6	5	1,7	2,1	2	2,8	1,8	4	2	3	4	3	2,1	1,6	2	1,5	1	2	2	3	1,8	1,5	2,5	0,8	1,8
9	Mсн Н*М	120	295	121	277	330	640	41	70	28	74	95	117	102	224	127	37	86	125	178	352	472	920	35	41	48
10	Mсп/Mсн	0,4 5	0,3 2	0,4 5	0,5	0,6	0,4	0,7	0,3 5	0,4	0,6	0,45	0,7	0,35	0,4	0,6	0,55	0,45	0,35	0,4	0,3	0,45	0,7	0,35	0,44	0,36
11	псн, об/мин	180	260	360	82	220	200	120	260	360	820	240	200	320	410	260	360	820	220	700	560	160	225	134	420	320
12	Mдп/Mдн	2,1	2,2	2,5	2,4	1,9	1,8	2,2	2,5	2	1,9	2,2	2,1	2,4	2,2	2,5	1,8	2	2,1	2,4	1,8	2	1,8	2,1	2,3	2,5

Технические данные электродвигателей постоянного тока

№	Тип	P _н , кВт	U _н , В	Частота вращения об/м		К.П.Д. %	Сопротивление обмоток, Ом			Индуктивн. цепи якоря мГн	Момент инерции, кг,м2	
				Номинал.	Макси- мал.		Якоря	Доп.пол-в	Обм.возб-я			
1	2ПБ112L	2	110	3000	4000	81	0,103	0,11	383	1,8	0,17	
			220	3150	4000	81	0,413	0,411	80	7,1	0,17	
2	2ПН132М	2,5	110	1000	4000	72	0,271	0,204	134	5,7	0,37	
			220	1000	3000	73,5	1,08	0,763	35	22,9		
		4	110	1500	4000	77,5	0,14	0,094	134	2,8		
			220	1500	4000	79	0,564	0,336	35	11		
		7	110	2200	4000	81	0,067	0,049	111	1,4		
			220	2240	4000	83	0,226	0,166	25,6	4,6		
			10,5	220	3000	4000	84	0,14	0,094	111		2,8
				440	3000	4000	85	0,564	0,336	25,6		11
3	2ПН132L	3	110	<u>950</u>	4000	74,5	0,22	0,196	138	4,5	0,47	
			220	<u>1000</u>	4000	75,5	0,88	0,64	37,5	18,1		
		5,5	110	1500	4000	80	0,08	0,066	101	1,8		
			220	1500	4000	80,5	0,322	0,27	27,8	7,9		
		8,5	220	220	4000	84	0,167	0,124	89	3,5		
			440	2240	4000	84,5	0,67	0,455	25	14		
		14	220	3150	4000	86	0,08	0,066	76	1,8		
			440	3150	4000	86,5	0,322	0,27	20,6	7		
4	2ПБ132М	2,4	110	1600	4000	76,5	0,185	0,148	202	4,2	0,37	
			220	1600	4000	77	0,74	0,486	54,5	16,7		
		3,7	110	2200	4000	79,5	0,104	0,059	202	2,4		
			220	2360	4000	81	0,346	0,224	54,5	7,9		
		4,5	110	3150	4000	81	0,046	0,029	202	1		
			220	3150	4000	81,5	0,185	0,148	54,5	4,2		

5	2ПБ132L	3,2	110	1600	4000	82	0,12	0,089	216	269	0,47
			220	1600	4000	82,5	0,518	0,323	50	11,6	
		4,5	110	2360	4000	84	0,055	0,039	189	1,3	
			220	2200	4000	84	0,269	0,22	43	6,5	
		5,3	220	3000	4000	85,5	0,167	0,124	216	4	
		440	3150	4000	85,5	0,562	0,407	50	13,6		
6	2ПМ160L	6,3	110	1000	4000	80,5	0,069	0,049	87,6	2,2	0,98
			220	1000	3000	81,5	0,278	0,196	23,6	8,7	
		11	220	1500	4000	85,5	0,096	0,073	65,3	3,1	
			440	1600	3750	85,5	0,385	0,364	17,7	12,5	
		16	220	2360	4000	86,5	0,044	0,031	49,4	1,4	
			440	2360	4000	87,5	0,171	0,131	13,4	5,5	
		24	220	3150	4000	88	0,024	0,017	49,4	0,8	
	440	3150	4000	89	0,096	0,073	13,4	3			
7	2ПФ160М	13	220	2240	4000	87	0,081	0,056	82	2,2	0,814
8	2ПФ160L	18,5	220	3150	4000	87,5	0,024	0,017	49,4	0,78	0,98
9	2ПН180М	26	220	2240	3500	88	0,038	0,025	49,2	1,2	1,96

**Передаточные числа зубчатых
цилиндрических и конических передач
и двухступенчатых редукторов**

1,0	1,06	1,12	1,18	1,25	1,32	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
2,0	2,12	2,24	2,36	2,5	2,65	2,8	3,0	3,15	3,35	3,55	3,75
4,0	4,25	4,5	4,75	5,0	5,3	5,6	6,0	6,3	6,7	7,1	7,5
8,0	8,5	9,0	9,5	10	10,6	11,2	11,8	12,5	14	16	18
20	22,4	25	28	31,5	35,5	40	45	50	56	63	71

Содержание

Общие положения	3
1. Исходные данные для расчета	4
2. Расчет необходимой мощности и предварительный выбор ДПТ	4
3. Определение расчетных коэффициентов C_M' и C_A' электродвигателя	6
4. Построение механической характеристики нагрузки и естественной механической характеристики электродвигателя	6
5. Расчет числа ступеней и величин пусковых сопротивлений...	8
6. Определение продолжительности переходного процесса разбега механизма из состояния покоя и характера изменения частоты вращения	11
Содержание отчета	13
Список литературы	14
Приложения.....	15

