

Для пуска синхронного двигателя необходимо разогнать его ротор с помощью внешнего момента до частоты вращения, близкой к синхронной.

В настоящее время для этой цели применяют метод асинхронного пуска, для чего синхронный двигатель снабжают специальной короткозамкнутой пусковой обмоткой.

### 6.3.3. Машины постоянного тока *С ПАРALLELНЫМ ВКЛЮЧЕНИЕМ*

*ИЗ СЕРИИ ЗИТТ С КЕМУ.*

Машиной постоянного тока называют электрическую машину с коммутатором-коллектором. Они находят широкое применение, как в качестве двигателей, так и в качестве генераторов.

Двигатели постоянного тока обладают большой глубиной регулирования частоты вращения, сохраняют во всем диапазоне регулирования высокий к.п.д. и могут иметь механические характеристики, отвечающие специальным требованиям.

Для лучшего понимания ДПТ с различными системами самовозбуждения в части их применения целесообразно рассмотреть зависимости величины момента  $M = M_p(I_a)$  и частоты вращения  $n = n_p(I_a)$  от тока якоря  $I_a$  для параллельного возбуждения и аналогичных характеристик  $M = M_S(I_a)$  и  $n = n_S(I_a)$  для последовательно-возбуждения.

В двигателях с параллельным возбуждением результирующий магнитный поток в пределах номинальной нагрузки остается постоянным, поэтому  $M_p(I_a) = k_p I_a$  и  $n_p(I_a) = n_0 - b I_a$ , где  $k_p$  и  $b$  - константы. В двигателях же с последовательным возбуждением магнитный поток пропорционален току поэтому  $M_S(I_a) = k_S I_a^2$  и  $n_S(I_a) = a I_a^2 + d$  (здесь в этих зависимостях  $k_S$  и  $d$  - то же константы).

Таким образом, двигатель с параллельным возбуждением обладает жесткой характеристикой  $n = n_0 - b I_a$ , а двигатель с последовательным возбуждением - мягкой. Поэтому для механизмов, работающих с ударной нагрузкой (пресс, штамповочное устройство, стартер, электропоезд, и др.) пригоден двигатель с последовательным возбуждением и непригоден двигатель с параллельным возбуждением, так как в нем с увеличением нагрузки происходит пропорциональный увеличение тока. Для механизмов же, требующих жесткую механическую характеристику (металлорежущие станки и др.), пригоден двигатель с параллельным возбуждением.

На практике используют три способа пуска двигателей постоянного тока: прямой пуск, при котором обмотка якоря подключается непосредственно к сети, реостатный, при котором в цепь якоря включается пусковой реостат для от-

ражения тока, путем плавного повышения питающего напряжения, подаваемого на обмотку якоря.

Двигатели постоянного тока допускают плавное регулирование скорости вращения. Диапазон регулирования ограничен. Увеличение скорости вращения приводит к ухудшению условий коммутации, а уменьшение скорости вызывает увеличение двигателя. Обычно отношение максимальной скорости вращения к минимальной не превышает 3.

Регулирование частоты вращения осуществляют тремя способами: посредством добавочного реостата в цепи обмотки якоря, изменением магнитного потока, изменением питающего напряжения.

#### *Пример решения задачи.*

*Исходные данные:*

Двигатель параллельного возбуждения, присоединенный к сети с напряжением  $U_n = 220$  В, потребляет при номинальной нагрузке ток  $I_n = 20,5$  А, а в холостом ходу -  $I_0 = 2,35$  А. Сопротивление обмотки якоря  $r_a = 0,75$  Ом, а в цепи возбуждения  $r_b = 258$  Ом. Номинальная скорость вращения  $n_n = 1025$  об/мин.

Определить номинальную мощность двигателя (на валу), номинальный к.п.д., номинальный вращающий момент, пусковой ток при пуске двигателя без пускового реостата, сопротивление пускового реостата для условия  $I_n = 2,5 I_0$  и пусковой момент при пуске двигателя с реостатом. При решении принять, что магнитные и механические потери не зависят от нагрузки.

*Решение.*

Номинальная мощность на валу двигателя:

$$P_n = P_{1n} - \Sigma \Delta P,$$

где  $\Sigma \Delta P$  - потери в двигателе;  $P_{1n}$  - потребляемая мощность:

$$P_{1n} = U_n \cdot I_n = 220 \cdot 20,5 = 4510 \text{ Вт} = 4,51 \text{ кВт}.$$

Для определения потерь в цепи якоря и цепи возбуждения надо знать ток в цепи якоря  $I_{a,n}$  и ток возбуждения  $I_b$ :

$$I_a = U_n / r_a = 220 / 258 = 0,85 \text{ А},$$
$$I_{b,n} = I_n - I_a = 20,5 - 0,85 = 19,65 \text{ А}.$$

Потери в обмотке якоря и в цепи возбуждения:

$$\Delta P_{\text{я.н}} = I_{\text{я.н}}^2 \cdot R_{\text{я.н}} = 0,75 \cdot 19,65^2 = 290 \text{ Вт};$$
$$\Delta P_{\text{в.н}} = I_{\text{в.н}}^2 \cdot R_{\text{в.н}} = 258 \cdot 0,85^2 = 186 \text{ Вт}.$$

Магнитные и механические потери:

$$P_{\text{м}} = P_{\text{г}} - P_{\text{я.н}} - P_{\text{в.н}}$$

где  $P_{\text{г}} = U_{\text{н}} \cdot I_{\text{г}} = 220 \cdot 2,35 = 517 \text{ Вт}$ ;  $\Delta P_{\text{г.0}}$  - потребляемая мощность при холостом ходе двигателя:

$$\Delta P_{\text{г.0}} = I_{\text{г.0}} \cdot (I_{\text{г.0}} - I_{\text{в.н}})^2 = 0,75 \cdot (2,35 - 0,85)^2 = 1,7 \text{ Вт};$$
$$\Delta P_{\text{м}} = 517 - 1,7 - 186 = 329,3 \text{ Вт};$$
$$\Sigma \Delta P_{\text{н}} = 290 + 186 + 329,3 = 805,3 \text{ Вт};$$
$$P_{\text{н}} = 4510 - 805,3 = 3704,7 \text{ Вт} = 3,71 \text{ кВт}.$$

Номинальный к.п.д.:

$$\eta_{\text{н}} = P_{\text{н}} / P_{\text{г.н}} \cdot 100 = 3,71 / 4,51 = 82,2\%$$

Номинальный вращающий момент:

$$M_{\text{н}} = 9550 \cdot (P_{\text{н}} / \omega_{\text{н}}) = 9559 \cdot (3,71 / 1025) = 34,6 \text{ Н·м}$$

Пусковой ток двигателя при пуске без реостата:

$$I_{\text{н}} = U_{\text{н}} / I_{\text{г}} = 220 / 0,75 = 293 \text{ А}.$$

Сопрогтвление пускового реостата определяется из равенства:

$$I_{\text{н}} = 2,5 \cdot I_{\text{г.н}} = U_{\text{н}} / (I_{\text{г}} + r_{\text{р}}),$$

Откуда:

$$r_{\text{р}} = (U_{\text{н}} / I_{\text{н}}) - r_{\text{я}} = (220 / 2,5 - 19,65) = 0,75 = 3,73 \text{ Ом}.$$

Определим пусковой момент двигателя при пуске с реостатом. Известно, что вращающий момент двигателя определяется уравнением:

$$M = C_{\text{м}} \cdot \Phi \cdot I_{\text{а}}$$

Для режима номинальной нагрузки это выражение принимает вид:

$$M_{\text{н}} = C_{\text{м}} \cdot \Phi_{\text{н}} \cdot I_{\text{а.н}}$$

а для пускового режима:

$$M_{\text{п}} = C_{\text{м}} \cdot \Phi \cdot I_{\text{п}}$$

Полагая магнитный поток в двигателе постоянным, возьмем отношение моментов:

$$M_{\text{п}} / M_{\text{н}} = I_{\text{а.п}} / I_{\text{а.н}}$$

Откуда:

$$M_{\text{п}} = M_{\text{н}} \cdot (I_{\text{а.п}} / I_{\text{а.н}}) = 34,6 \cdot (2,5 \cdot 19,65) / 19,65 = 86,5 \text{ Н·м}.$$

#### 6.4 ЭЛЕКТРОПРИВОД (ВЫБОР МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ)

*Выбор двигателя по нагрузке*  
Выбор двигателя - один из ответственных этапов проектирования электродвигателя

тропивола, так как именно двигатель в значительной степени определяет технические и экономические качества привода в целом. Из многочисленных типов двигателя переменного и постоянного токов для привода той или иной производственной машины должен быть выбран такой, который наиболее полностью удовлетворял бы технико-экономическим требованиям. Это значит, что двигатель должен быть наиболее простым по управлению, надежным в эксплуатации и иметь наименьшую стоимость, массу и габариты, а также высокие энергетические показатели. В сравнении со всеми существующими типами двигателей этим требованиям в наибольшей мере отвечают асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором. При выборе двигателя такого типа необходимо выяснить, удовлетворяются ли технические требования: допустимое уменьшение

скорости при увеличении нагрузки, допустима величина повторных включений, возможность быстрого и надежного пуска.

В напряженных режима работы привода, с большой частотой включений, где требуется повышенный или ограниченный пусковой момент, а также регулирование частоты вращения в узких пределах, применяют асинхронные двигатели с контактными кольцами. Для нерегулируемых приводов средней и большой мощности, работающих в продолжительном режиме с редкими пусками, рекомендуется применять синхронные двигатели. Они отличаются более высоким к.п.д. и допускают регулирование коэффициента мощности за счет компенсации реактивной мощности. При необходимости плавного и глубокого регулирования скорости, а также при большой частоте включений применяются двигатели постоянного тока.

При выборе мощности двигателя основными исходными данными являются требуемые моменты, которые должны быть приложены к валу механизма, т.е. необходимо иметь нагрузочные диаграммы электропривода  $P=f(t)$  или  $M=f(t)$ , которые могут быть заданы как в виде графика, так и в виде таблицы.

#### Пример решения задачи

##### Исходные данные:

Определить необходимую мощность двигателя для привода механизма, режим работы которого задан нагрузочной диаграммой на рис. 11. По технологическим условиям следует использовать асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором. Двигатель должен развивать частоту вращения  $n=980$  об/мин. Помещение, где будет установлен двигатель, - сухое, без пыли и грязи.

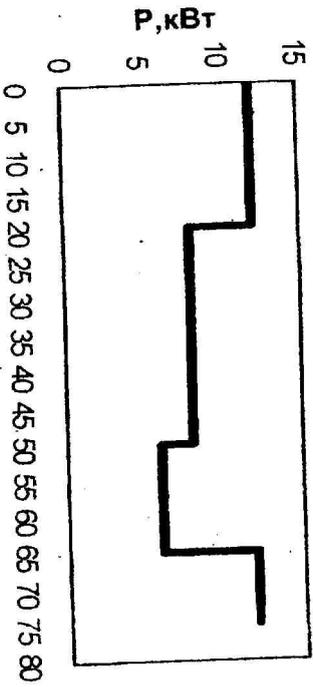


Рис. 11. Нагрузочная диаграмма

#### Решение.

В нашем случае режим работы представляет собой длительную переменную нагрузку. Мощность двигателя подбирается при подобных режимах работы по эквивалентной мощности, которая равна

$$P_3 = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (P_k^2 t_k)}{t_1}}$$

где  $t_k$  - время цикла работы;

$$t_1 = t_1 + t_2 + t_3 = 20 + 30 + 15 = 65 \text{ с;}$$

$$P_3 = \sqrt{\frac{12^2 \cdot 20 + 8^2 \cdot 30 + 6^2 \cdot 15}{65}} = 9,05 \text{ кВт}$$

По данным каталога в качестве привода двигателя может быть использован асинхронный короткозамкнутый двигатель в защищенном исполнении типа А2-61-6; 380/220 В;  $P_n=10$  кВт,  $n_n=965$  об/мин,  $\eta_n=0,870$ ,  $M_n/M_n=1,2$ ,  $M_n/M_n=1,8$ .

В ряде случаев момент нагрузки на отдельных участках может оказаться больше максимально допустимого момента двигателя, и асинхронный двигатель может остановиться. Поэтому после выбора двигателя его необходимо проверить по перегрузочной способности исходя из условия  $M_{\text{инк}} < M_{\text{макс.д}}$ , где  $M_{\text{макс}}$  - максимальный момент на валу двигателя;  $M_{\text{макс.д}}$  - максимально допустимый момент двигателя. Для асинхронного двигателя  $M_{\text{инк.д}}=0,9 M_n$ . Здесь  $M_n$  - критический (максимальный) момент двигателя.

В нашем примере: номинальный момент двигателя:

$$M_n = 9550 P_n / n_n = 9550 \cdot 10 / 965 = 99 \text{ Н·м;}$$

Максимальный (критический) момент:

$$M_c = \lambda M_n = 1,8 \cdot 99 = 178 \text{ Н·м;}$$

Максимальный статический момент:

$$M_s = \lambda_c P_n / n = 9550 \cdot 12 / 980 = 117 \text{ Н·м.}$$

По термудуочной способности двигатель проходит, так как выполняется условие  $0,9M_d=0,9 \cdot 178=160 > M_c=117$ .

## 7 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Одновременно с изучением теоретического материала по дисциплине «Датчики технологических параметров» учебным планом предусмотрено выполнение контрольной работы.

Целью выполнения контрольной работы является закрепление знаний, полученных при изучении теоретического материала путем выбора соответствующего решения для решения поставленной задачи.

Кажый вариант контрольной работы состоит из 3-х заданий.

Первое задание – в соответствии с указаниями преподавателя необходимо дать развернутое описание физических явлений, которые положены в основу принципа действия указанного датчика. Классифицировать данный тип датчика.

Второе задание – используя справочную литературу по указанной дисциплине следует, выбрать тип датчика, представить его основные конструктивные и технические характеристики и объяснить их.

Третье задание – представить реальную схему практического применения выбранного типа датчика. Дать описание принципа ее работы.

Задания на контрольную работу выдаются преподавателем после предварительного собеседования со студентом.

## 8 ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

Выдаются преподавателем.

## 9 ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Выдается по усмотрению преподавателя.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брускин Д.Э. и др. Электрические машины: В 2-х ч. Ч.1 / Д.Э.Брускин, А.Е.Зорохович, В.С.Хвостов. - М.: Высш. шк., 1987. - 319 с., (раздел 3).
2. Брускин Д.Э. и др. Электрические машины: В 2-х ч. Ч.2 / Д.Э.Брускин, А.Е.Зорохович, В.С.Хвостов. - М.: Высш. шк., 1987. - 335 с., (раздел 4).
3. Баширин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами. Учебное пособие для вузов. - Л.: Энергоатомиздат, 1982. - 392 с., (раздел 4).
4. Циликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода: Учебник для вузов. - М.: Энергоатомиздат, 1981 - 576 с., (раздел 4).
5. Колылов И.П. Математическое моделирование электрических машин: Учебн. для вузов. - М.: Высш. шк., 1987. - 248 с., (раздел 1,2).
6. Домбровский В.В., Зайчик В.М. Асинхронные машины. Теория, расчет, элементы проектирования. - Л.: Энергоатомиздат. 1990. - 338 с., (раздел 3).

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица А.1

Вариант	$U_{н,В}$	$P_n, кВт$	$\eta_n$	$\cos \varphi_n$	$\lambda$	$I_n, I_{1n}$
1	220	0,8	0,75	0,86	2,2	7,0
2	220	0,1	0,795	0,87	2,2	7,0
3	220	1,5	0,805	0,88	2,2	7,0
4	220	2,2	0,83	0,89	2,2	7,0
5	220	3,0	0,845	0,89	2,2	7,0
6	220	4,0	0,855	0,89	2,2	7,0
7	220	5,5	0,86	0,89	2,2	7,0
8	220	7,5	0,87	0,89	2,2	7,0
9	220	10	0,88	0,89	2,2	7,0
10	220	13	0,88	0,89	2,2	7,0
11	220	17	0,88	0,90	2,2	7,0
12	220	22	0,88	0,90	2,2	7,0
13	220	30	0,89	0,90	2,2	7,0
14	220	40	0,89	0,91	2,2	7,0
15	220	55	0,90	0,92	2,2	7,0
16	220	75	0,90	0,92	2,2	7,0
17	220	100	0,915	0,92	2,2	7,0

Таблица 2

Вариант	Данные для расчета					
	$U_{н,В}$	$I_{н,А}$	$I_{0,А}$	$r_{г, Ом}$	$r_{н, Ом}$	$\eta_{н, об/млн}$
0	220	15	1,6	1,2	180	1025
1	220	53	5,3	0,212	33	1225
2	115	100	6,5	0,11	50	1000
3	110	267	5	0,04	27,5	1100
4	220	16,3	1,78	1,16	75	1025
5	110	7,8	0,7	0,8	210	1240
6	220	19,8	2,0	1,5	150	660
7	110	35	3,2	0,6	60	1400
8	220	32	2,8	0,94	120	1600
9	220	34	3,0	0,45	110	1100
10	110	9,5	0,9	1,9	200	850
11	110	20	1,8	0,7	80	940
12	220	15	1,5	0,82	200	1350
13	110	8,2	0,8	1,4	220	1450
14	220	20,5	2,35	0,74	258	1025
15	220	40	4,2	0,52	190	1420
16	110	10,5	1,2	1,2	160	960
17	110	18,6	2,0	0,9	120	825
18	220	16	1,8	0,6	270	1600
19	220	32	3,5	0,62	200	1350
20	110	28	3,2	0,55	80	875
21	110	25	2,6	0,58	90	1110
22	220	60	6,8	0,40	130	935
23	220	50	5,7	0,40	150	1340
24	220	102	9,5	0,12	110	750
25	220	151	15	0,07	75	1000

Таблица 3

Вари- ант	$I, c$					P, кВт				
	20	10	50	20	15	25	10	0	13,5	8
0	20	10	50	20	15	25	10	0	13,5	8
1	18	30	10	20	23,5	8	5	0	25	10
2	60	100	10	45	30	8	4	15	10	25
3	30	15	60	60	10	25	10	0	18	30
4	50	20	40	50	45	0	4	8	0	5
5	15	25	20	35	30	15	4	30	15	10
6	10	75	60	50	10	30	5	0	15	25
7	7	3	15	4	12	6	20	3	15	30
8	1	1,5	2,5	1,5	1,5	8	6	0	4	3,5
9	1,5	4	2,5	3,5	3	20	10	6	8	8
10	20	10	50	10	15	20	10	6	8	8
11	18	30	10	20	23,5	8	6	0	4	3,5
12	60	100	10	45	3,0	8	4	15	10	25
13	30	15	60	60	10	6	20	3	15	30
14	30	20	40	50	45	30	5	0	15	25
15	15	25	10	35	30	8	6	0	4	3,5
16	10	10	75	60	50	10	15	4	30	15
17	7	3	15	4	20	0	4	8	0	5
18	1	1,5	2,5	1,5	1,5	10	10	0	18	30
19	1	4	2,5	3,5	3	8	4	15	10	25
20	20	10	50	10	15	8	6	0	4	3,5
21	18	30	10	20	23,5	20	10	6	8	8
22	60	100	10	45	30	26	20	13	15	30
23	30	15	60	60	10	30	5	0	15	25
24	50	20	40	50	45	15	4	30	15	10
25	15	25	10	35	30	0	4	8	0	5

Таблица 4

Вари- ант	Номи- нальная мощ- ность $S_{н,кВА}$	Номинальные напряжения		Напряжение короткого замыкания $U_k, \%$	Данные для расчета		
		$U_{н,В}$	$U_{20,В}$		Мощность короткого замыкания $P_k, Вт$	Мощность холостого хода $P_0, Вт$	Отн. ток холо- стого хода $\alpha, \%$
0	10	6300	400	5,0	335	105	10,0
1	20	6300	230	5,0	600	180	9,0
2	30	10000	400	5,0	850	300	9,0
3	50	10000	400	5,0	1325	440	8,0
4	75	10000	230	5,0	1875	590	7,5
5	100	10000	525	5,0	2400	730	7,5
6	180	10000	525	5,0	4100	1200	7,0
7	240	10000	525	5,0	5100	1600	7,0
8	320	35000	10500	6,5	6200	2300	7,5
9	420	10000	525	5,5	7000	2100	6,5
10	25	6000	230	4,5	600	125	3,0
11	25	10000	230	4,7	690	125	3,0
12	25	6000	400	4,5	600	125	3,0
13	25	10000	400	4,7	690	125	3,0
14	40	10000	230	4,5	880	180	3,0
15	40	6000	230	4,5	880	180	3,0
16	40	6000	400	4,7	1000	180	3,0
17	40	10000	400	4,0	690	125	3,2
18	63	6000	230	4,5	1280	260	2,8
19	63	6000	400	4,5	1280	260	2,8
20	63	10000	230	4,7	1470	260	2,8