

1 Оформление расчетно-графической работы

Расчетно-графическая работа оформляется на листах формата А4 в соответствии с правилами ЕСКД. Графическая часть задания выполняется на миллиметровой бумаге.

Условия задания должны быть представлены полностью. Решение производится с краткими пояснениями сначала в общем виде, а затем с подстановкой численных значений параметров. Работа должна быть написана четко и аккуратно чернилами одного цвета без сокращений. Расчетно-графическое задание может быть оформлено на компьютере. В конце работы должен быть представлен список использованной литературы.

Расчетно-графическое задание должно полностью соответствовать заданному варианту.

2 Содержание расчетно-графической работы

В электроприводе грузоподъемного механизма, который должен обеспечить три скорости подъема и три скорости спуска груза, может быть применен один из трех типов электрических двигателей: двигатель постоянного тока с независимым возбуждением (ДПТ НВ), двигатель постоянного тока с последовательным возбуждением (ДПТ ПВ), асинхронный двигатель с фазным ротором (АД).

Требуется рассчитать и построить статические механические и электро-механические характеристики указанных в варианте задания двигателей, обеспечивающие заданные скорости, и определить величины добавочных сопротивлений, а также других изменяемых параметров электрических цепей двигателей, необходимых для получения рассчитанных характеристик.

Таким образом, расчетно-графическая работа содержит три варианта решения вышеставленной задачи.

Выбор типа электрического двигателя осуществляется из таблицы 2.1 согласно *последней* цифре зачетной книжки студента.

Таблица 2.1

Тип электрического двигателя

Последняя цифра зачетной книжки	Тип электрического двигателя
1	АД
2	ДПТ ПВ
3	АД
4	ДПТ НВ
5	ДПТ ПВ
6	АД
7	ДПТ НВ
8	ДПТ ПВ
9	АД
0	ДПТ НВ

3 Электропривод грузоподъемного механизма с двигателем постоянного тока с независимым возбуждением

3.1 Варианты задания

Таблица 3.1

Технические данные электрических двигателей, $U_H = 220$ В для групп Э – 31, 33

Сумма последних двух цифр зачетной книжки	Тип	P_H , кВт	n_H , об/мин	I_H , а	$r_a + r_{\text{дн}}$, Ом
1	2	3	4	5	6
00	ДП-21	5,5	1460	31	0,531
01	ДП-22	8	1550	44	0,322
02	ДП-31	12	1410	64	0,194
03	ДП-32	16	1230	84	0,125
04	ДП-41	22	1160	114	0,072
05	ДП-42	28	1040	150	0,0510
06	ДП-52	38	1020	193	0,0315
07	ДП-82А	112	650	560	0,0121
08	ДП-82А	140	640	700	0,0121
09	Д-12	2,5	1180	14,6	1,63
10	Д-21	4,5	1030	26	0,95
11	Д-22	6,0	1100	33	0,57
12	Д-31	8,0	840	44	0,42
13	Д-32	12,0	770	65	0,28
14	Д-41	16,0	690	86	0,17
15	Д-806	22,0	650	116	0,1085
16	Д-808	37,0	575	192	0,054
17	Д-810	55,0	550	282	0,0356
18	Д-812	75,0	515	380	0,0230

Таблица 3.2

Технические данные электрических двигателей, $U_H = 220$ В для групп Э – 32, 34

Сумма последних трех цифр зачетной книжки	Тип	P_H , кВт	n_H , об/мин	I_H , а	$r_{я} + r_{дн}$, Ом
1	2	3	4	5	6
00	Д-814	110,0	500	550	0,0805
01	Д-816	150,0	480	745	0,084
02	Д-818	185,0	450	920	0,0066
03	Д-21	5,5	1440	31	0,531
04	Д-22	8,0	1510	43,5	0,322
05	Д-31	12,0	1360	64	0,194
06	Д-32	18,0	1190	94	0,125
07	Д-41	24,0	1100	124	0,072
08	Д-806	32,0	1000	165	0,047
09	Д-808	47,0	800	238	0,0295
10	Д-21	4,0	1220	12	3,54
11	Д-31	6,7	875	19	2,08
12	Д-41	15,0	710	40	0,695
13	Д-808	37,0	575	96	0,210
14	Д-810	55,0	560	141	0,146
15	Д-812	70,0	520	176	0,099
16	Д-816	150,0	490	370	0,0324
17	Д-818	185,0	450	460	0,026
18	Д-22	7,0	1410	19,5	1,69
19	Д-32	17,0	1190	45	0,534
20	Д-806	32,0	1000	82	0,205
21	ДП-12	3	1200	17,5	1,43
22	ДП-21	4,5	1050	26	0,94
23	ДП-22	6	1130	33	0,566
24	ДП-31	8,5	870	47	0,423
25	ДП-32	12	790	65	0,266
26	ДП-41	16	710	85	0,177
27	ДП-42	21	660	110	0,1155

Таблица 3.2

Скорости механизма

Предпоследняя цифра зачетной книжки	$\omega_{1П}$	$\omega_{2П}$	$\omega_{3П}$	$\omega_{1С}$	$\omega_{2С}$	$\omega_{3С}$
1	2	3	4	5	6	7
1	0,30 ω_H	ω_H	1,20 ω_H	$\Delta\omega_H$	0,35 ω_H	$\omega_0 + \Delta\omega_H$
2	0,35 ω_H	ω_H	1,25 ω_H	$\Delta\omega_H$	0,40 ω_H	$\omega_0 + \Delta\omega_H$
3	0,40 ω_H	ω_H	1,30 ω_H	$\Delta\omega_H$	0,45 ω_H	$\omega_0 + \Delta\omega_H$
4	0,45 ω_H	ω_H	1,35 ω_H	$\Delta\omega_H$	0,50 ω_H	$\omega_0 + \Delta\omega_H$
5	0,50 ω_H	ω_H	1,40 ω_H	$\Delta\omega_H$	0,55 ω_H	$\omega_0 + \Delta\omega_H$
6	0,55 ω_H	ω_H	1,45 ω_H	$\Delta\omega_H$	0,60 ω_H	$\omega_0 + \Delta\omega_H$
7	0,60 ω_H	ω_H	1,50 ω_H	$\Delta\omega_H$	0,65 ω_H	$\omega_0 + \Delta\omega_H$
8	0,65 ω_H	ω_H	1,25 ω_H	$\Delta\omega_H$	0,70 ω_H	$\omega_0 + \Delta\omega_H$
9	0,70 ω_H	ω_H	1,35 ω_H	$\Delta\omega_H$	0,75 ω_H	$\omega_0 + \Delta\omega_H$
0	0,75 ω_H	ω_H	1,45 ω_H	$\Delta\omega_H$	0,8 ω_H	$\omega_0 + \Delta\omega_H$

Здесь $\omega_{1П}$, $\omega_{2П}$, $\omega_{3П}$ – три скорости подъема груза;

$\omega_{1С}$, $\omega_{2С}$, $\omega_{3С}$ – три скорости спуска груза.

$\Delta\omega_H = \omega_0 - \omega_H$ - перепад скорости при номинальной нагрузке на естественной характеристике.

Нагрузка двигателя на всех скоростях, кроме скорости $\omega = \omega_{3П}$, должна быть номинальной. На скорости $\omega = \omega_{3П}$ нагрузка должна быть допустимой по нагреву двигателя.

3.2 Выполнение задания

Для получения скоростей подъема и спуска груза, указанных в таблице 3.2, необходимо рассчитать и построить нижеперечисленные механические $\omega = f(M)$ и электромеханические $\omega = f(I)$ характеристики двигателя, указанного в задании (таблица 3.1):

1) естественные механические и электромеханические характеристики, обеспечивающие скорость подъема груза $\omega = \omega_{2П}$ и скорость спуска груза $\omega = \omega_{3С}$;

2) реостатные механические характеристики, обеспечивающие скорость подъема груза $\omega = \omega_{1П}$ и скорость спуска $\omega = \omega_{1С}$;

3) механические характеристики динамического торможения, обеспечивающие скорости спуска груза $\omega = \omega_{1С}$ и $\omega = \omega_{2С}$;

4) электромеханическую и механическую характеристики двигателя с ослабленным магнитным потоком, обеспечивающие скорость подъема груза

$\omega = \omega_{3c}$ (здесь необходимо определить допустимую нагрузку при этой скорости);

5) дополнительно необходимо рассчитать и построить механическую характеристику при пониженном напряжении на якоре двигателя, обеспечивающую скорость подъема груза $\omega = \omega_{1л}$, и определить необходимое для этого напряжение на якоре.

3.2.1 Расчет и построение естественных характеристик

Схема включения двигателя постоянного тока с независимым возбуждением представлена на рисунке 3.1.

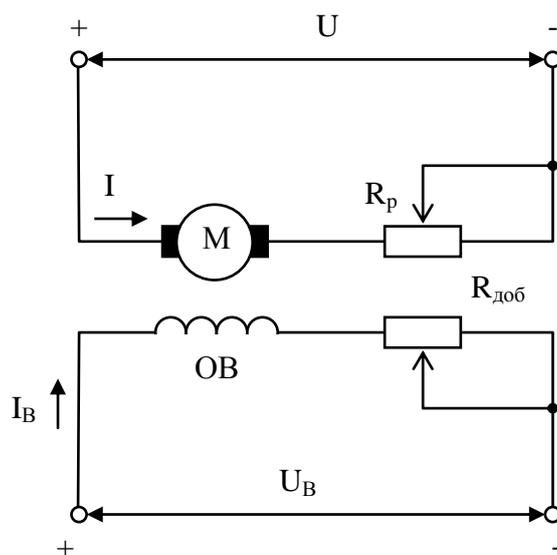


Рисунок 3.1

Якорь двигателя М и его обмотка возбуждения ОВ обычно получают питание от разных, независимых друг от друга источников (преобразователей) напряжения U и U_B , что позволяет отдельно регулировать напряжение на якоре и на обмотке возбуждения.

Уравнения естественных электромеханической и механической характеристик данного двигателя имеют вид [1]:

$$\omega = \frac{U - I \cdot R_{я\Sigma}}{k\Phi}, \quad (3.1)$$

$$\omega = \frac{U}{k\Phi} - M \cdot \frac{R_{я\Sigma}}{(k\Phi)^2}, \quad (3.2)$$

где U – напряжение на якоре двигателя;

I – ток якоря двигателя;

M – момент, развиваемый двигателем;

ω – угловая скорость двигателя;

$R_{я\Sigma} = r_я + r_{\partial n}$ - суммарное сопротивление якорной цепи двигателя;
 Φ - магнитный поток двигателя;
 k - конструктивный коэффициент.

Из (3.1) и (3.2) видно, что характеристики двигателя линейны при условии $\Phi = const$ и могут быть построены по двум точкам. Такими точками выбираются точка идеального холостого хода ($I = 0; M = 0; \omega = \omega_0$) и точка номинального режима ($I = I_H; M = M_H; \omega = \omega_H$).

Значение I_H приводится в каталожных данных. Остальные величины определяются по нижеприведенным выражениям:

$$\omega_H = \frac{\pi \cdot n_H}{30}, \quad (3.3)$$

где n_H - номинальная скорость двигателя, об/мин;

$$(k\Phi)_H = \frac{U_H - I_H \cdot R_{я\Sigma}}{\omega_H}; \quad (3.4)$$

$$\omega_0 = \frac{U_H}{(k\Phi)_H}; \quad (3.5)$$

$$M_H = (k\Phi)_H \cdot I_H. \quad (3.6)$$

Далее строим естественную механическую характеристику, обеспечивающую подъем груза со скоростью $\omega = \omega_{2П}$ в первом квадранте, а характеристику, обеспечивающую спуск груза со скоростью $\omega = \omega_{3С}$ - в третьем квадранте, как зеркальное отображение естественной характеристики первого квадранта (рисунок 3.2).

Так как спуск груза, создающего момент сопротивления, равный номинальному моменту двигателя, работающего на естественной характеристике, должен происходить в режиме рекуперативного торможения (РТ), естественную характеристику для обратного направления вращения продолжаем в область четвертого квадранта и определяем величину скорости $\omega = \omega_{3С}$.

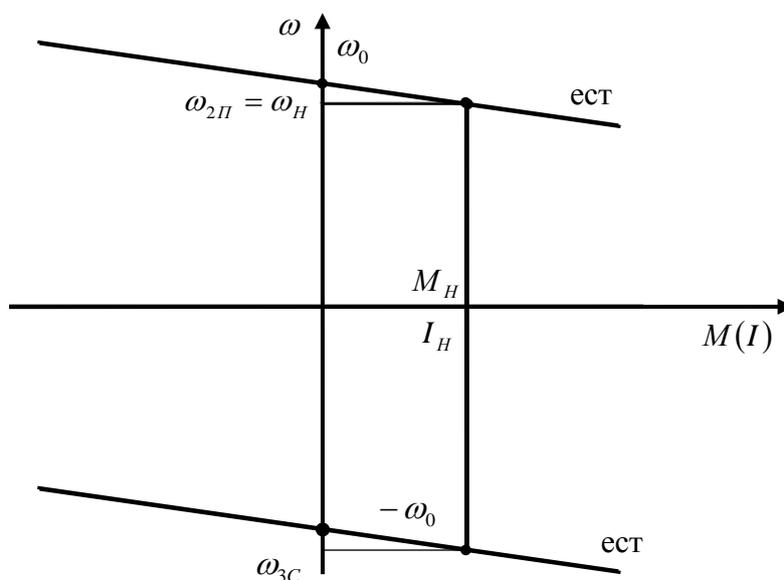


Рисунок 3.2

3.2.2 Расчет и построение реостатных характеристик

Реостатные механические характеристики, как и естественные, строятся по двум точкам: точке идеального холостого хода ($M = 0; \omega = \omega_0$) и точкам статических режимов при номинальной нагрузке ($M = M_H; \omega = \omega_{1П}$ и $\omega = \omega_{1C}$) (рисунок 3.3). Скорость спуска $\omega = \omega_{1C}$ обеспечивается на реостатной характеристике в режиме торможения противовключением (ТПВ). Величина этой скорости определяется по выражению:

$$\omega_{1C} = \Delta\omega_H = \omega_0 - \omega_H \quad (3.7)$$

Величины добавочных сопротивлений, включаемых в цепь якоря для получения построенных характеристик определяются либо аналитически, либо графически.

- Аналитический способ

Уравнение реостатной электромеханической характеристики данного двигателя имеет вид:

$$\omega = \frac{U - I \cdot (R_{я\Sigma} + R_p)}{k\Phi}, \quad (3.8)$$

где R_p - сопротивление, включаемое последовательно с якорем двигателя.

Подставив в (3.8) $U = U_H$; $I = I_H$; $k\Phi = (k\Phi)_H$, а также скорости $\omega = \omega_{1П}$ и $\omega = \omega_{1C}$, получим значения необходимых сопротивлений:

$$R_{p1\Pi} = \frac{U_H - (k\Phi)_H \cdot \omega_{1\Pi}}{I_H} - R_{я\Sigma} \quad (3.9)$$

$$R_{p1C} = \frac{U_H + (k\Phi)_H \cdot \omega_{1C}}{I_H} - R_{я\Sigma} \quad (3.10)$$

Скорость спуска $\omega = \omega_{1C}$ необходимо подставлять в (3.8) со знаком «минус».

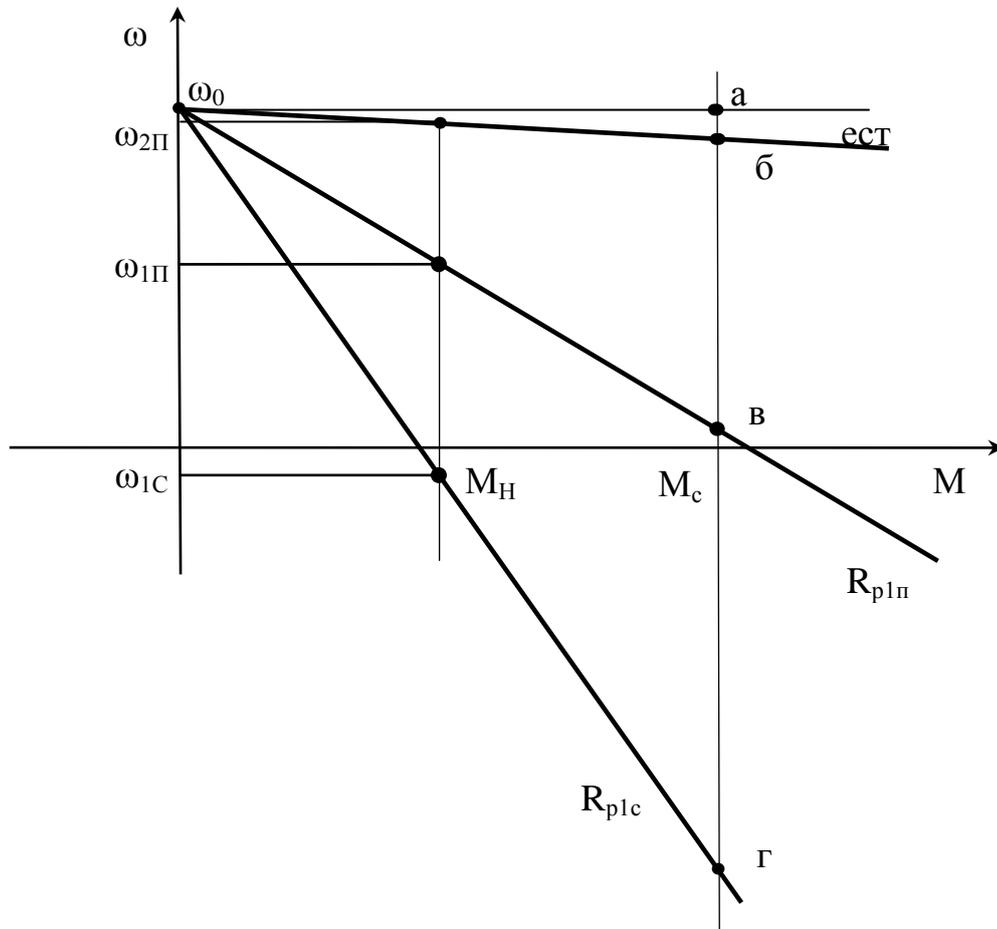


Рисунок 3.3

- Графический способ

Этот способ расчета величины сопротивлений для получения необходимых реостатных характеристик базируется на следующих положениях:

- а) все реостатные механические характеристики прямолинейны и пересекаются с естественной характеристикой в точке идеального холостого хода;
- б) при одинаковом моменте нагрузки перепад скорости на любой из этих характеристик определяется лишь сопротивлением якорной цепи двигателя.

Перепад скорости при $(k\Phi)_H = const$, $M_C = const$ определяется выражением:

$$\Delta\omega_C = \frac{(R_{я\Sigma} + R_P)}{(k\Phi)_H} \cdot M_C = A \cdot (R_{я\Sigma} + R_P), \quad (3.11)$$

где $A = \frac{M_C}{(k\Phi)_H}$ - постоянная величина.

Для увеличения точности расчета необходимо на чертеже (рисунок 3.3) взять величину M_c как можно больше ($2M_H \leq M_C \leq 3M_H$). Далее проводим через M_c вертикальную прямую и отмечаем точки ее пересечения с характеристиками и горизонтальной прямой, проведенной через точку ω_0 , буквами а, б, в, г. Отрезок ab в определенном масштабе соответствует сопротивлению якорной цепи двигателя $R_{я\Sigma}$, а отрезки $бв$ и $бг$ – добавочным сопротивлениям $R_{P1П}$ и R_{P1C} , необходимым для получения построенных реостатных характеристик

$$R_{P1П} = \frac{R_{я\Sigma}}{ab} \cdot бв \quad (3.12)$$

$$R_{P1C} = \frac{R_{я\Sigma}}{ab} \cdot бг \quad (3.13)$$

3.2.3 Расчет и построение характеристик динамического торможения

Характеристики динамического торможения (ДТ) обеспечиваются схемой включения двигателя, представленной на рисунке 3.4.

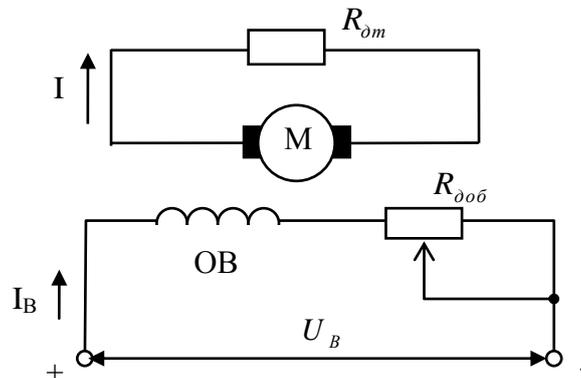


Рисунок 3.4

Эти характеристики линейны и строятся по двум точкам: точке начала координат ($\omega=0$; $M=0$) и точкам статических режимов при номинальной нагрузке ($M=M_H$; $\omega=\omega_{1C}$; $\omega=\omega_{2C}$) (рисунок 3.5).

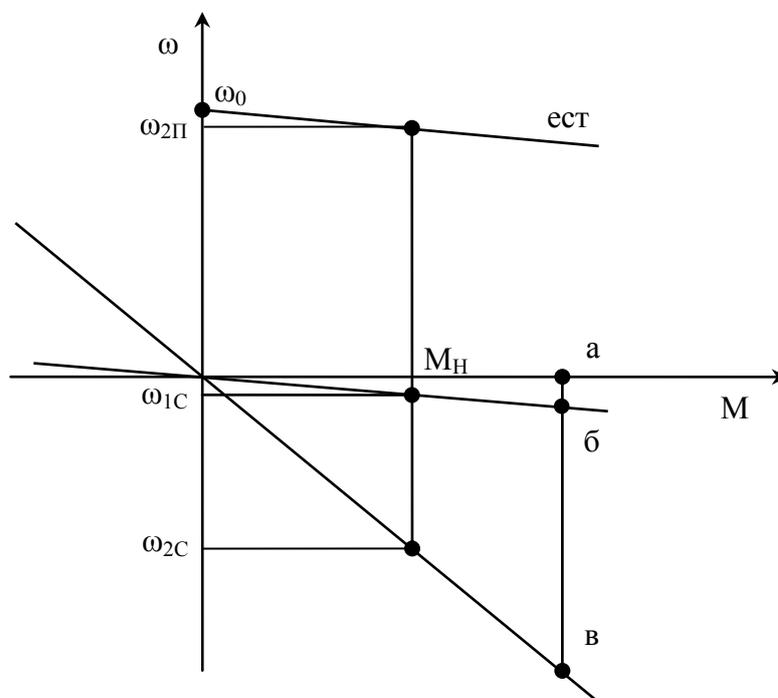


Рисунок 3.5

Уравнение механической характеристики динамического торможения в четвертом квадранте имеет вид:

$$\omega = \frac{M \cdot (R_{я\Sigma} + R_{\text{ом}})}{(k\Phi)^2}, \quad (3.14)$$

где $R_{\text{ом}}$ - сопротивление, на которое замыкается якорь двигателя при динамическом торможении.

Скорость спуска груза $\omega_{1с} = \Delta\omega_H$ может быть обеспечена на характеристике динамического торможения при $R_{\text{ом}} = 0$. Эта характеристика параллельна естественной характеристике.

Для обеспечения скорости спуска груза $\omega = \omega_{2с}$ необходимо в якорную цепь двигателя включить сопротивление $R_{\text{ом}2с}$, величина которого определится подстановкой в (3.14) $M = M_H$; $k\Phi = (k\Phi)_H$; $\omega = \omega_{2с}$:

$$R_{\text{ом}2с} = \frac{\omega_{2с} \cdot (k\Phi_H)^2}{M_H} - R_{я\Sigma} \quad (3.15)$$

Величину сопротивления $R_{\text{ом}2с}$ можно определить графически (рисунок 1.5):

$$R_{\text{ом}2с} = \frac{R_{я\Sigma}}{a\bar{б}} \cdot \bar{бв} \quad (3.16)$$

3.2.4 Расчет и построение характеристик при ослабленном магнитном потоке

Механические характеристики рассматриваемого двигателя при ослабленном магнитном потоке могут быть построены по двум точкам: точке идеального холостого хода ($I=0; M=0 \quad \omega=\omega'_0$) и точке статического режима с допустимой по нагреву нагрузкой ($\omega=\omega_{3П}; I=I_H; M=M_{дон}$). Такой нагрузкой является статический момент, при котором по якорю двигателя протекает номинальный ток. Момент двигателя при этом будет меньше номинального.

Величина ослабленного магнитного потока определится из выражения:

$$(k\Phi)_{осл} = \frac{U_H - I_H \cdot R_{я\Sigma}}{\omega_{3П}} = \frac{U_H - I_H \cdot R_{я\Sigma}}{k_{осл} \cdot \omega_H} = \frac{(k\Phi)_H}{k_{осл}}, \quad (3.17)$$

где $k_{осл} = \frac{(k\Phi)_H}{(k\Phi)_{осл}} = \frac{\omega_{3П}}{\omega_H}$ - коэффициент ослабления магнитного потока.

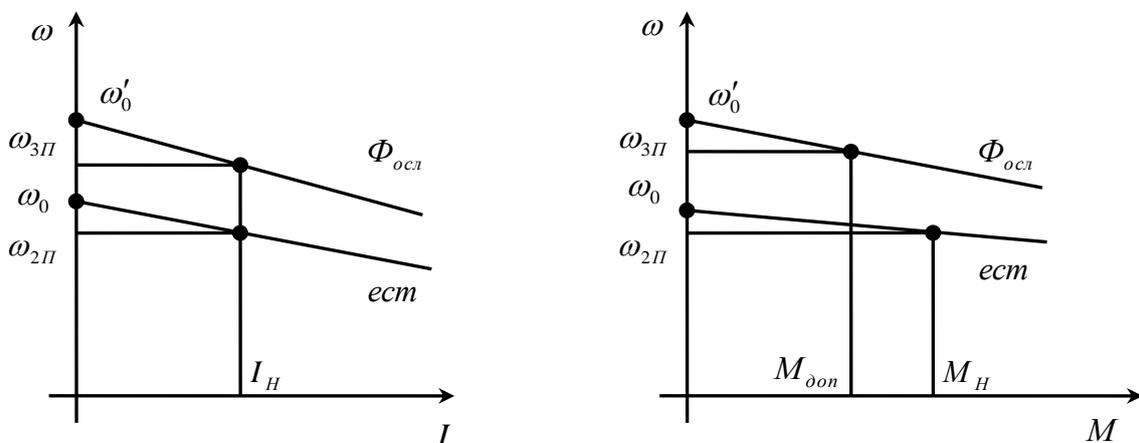
Момент двигателя при этом будет равен:

$$M = M_{дон} = (k\Phi)_{осл} \cdot I_H = \frac{M_H}{k_{осл}}. \quad (3.18)$$

Скорость идеального хода на этих характеристиках определится по выражению:

$$\omega'_0 = \frac{U_H}{(k\Phi)_{осл}} = k_{осл} \cdot \omega_0. \quad (3.19)$$

На рисунке 3.6,а построена электромеханическая, а на рисунке 3.6,б механическая характеристики двигателя при ослабленном магнитном потоке.



а)

б)

Рисунок 3.6

Для получения таких характеристик необходимо уменьшить ток возбуждения двигателя либо уменьшением напряжения возбуждения в соответствии с выражением:

$$U'_B = \frac{U_{BH}}{k_{осл}}, \quad (3.20)$$

либо введением в цепь обмотки возбуждения добавочного сопротивления $R_{доб}$, рассчитываемого по выражению:

$$R_{доб} = \frac{U_{BH}}{I_{BH}} \cdot k_{осл} - R_{ОВ}, \quad (3.21)$$

где U_{BH} , I_{BH} - номинальные напряжение и ток возбуждения двигателя;
 $R_{ОВ}$ - сопротивление обмотки возбуждения.

3.2.5 Расчет и построение характеристик двигателя при пониженном напряжении

Механические характеристики двигателя при пониженном напряжении в соответствии с (3.2) параллельны естественной характеристике, поэтому перепад скорости при номинальной нагрузке $\Delta\omega_H$ остается неизменным на всех характеристиках.

На рисунке 3.7 характеристика, обеспечивающая скорость подъема груза $\omega = \omega_{1П}$, проходит через точку статического режима ($M = M_H$; $\omega = \omega_{1П}$) параллельно естественной характеристике.

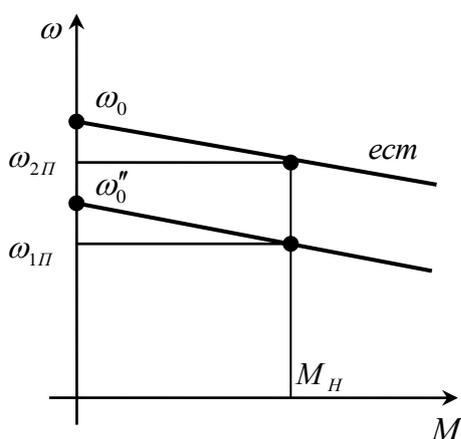


Рисунок 3.7

Скорость идеального холостого хода на искусственной характеристике определится из выражения:

$$\omega_0'' = \omega_{1\Pi} + \Delta\omega_H = \omega_{1\Pi} + \omega_0 - \omega_H. \quad (3.22)$$

Напряжение на якоре двигателя, необходимое для получения такой характеристики, можно определить следующим образом:

$$U_{1\Pi} = (k\Phi)_H \cdot \omega_0'' = (k\Phi)_H \cdot \omega_{1\Pi} + I_H \cdot R_{я\Sigma}. \quad (3.23)$$

Таким образом, рассчитаны и построены все механические характеристики, необходимые для обеспечения скоростей подъема и спуска электропривода грузоподъемного механизма. Эти характеристики представлены на рисунке 3.8.

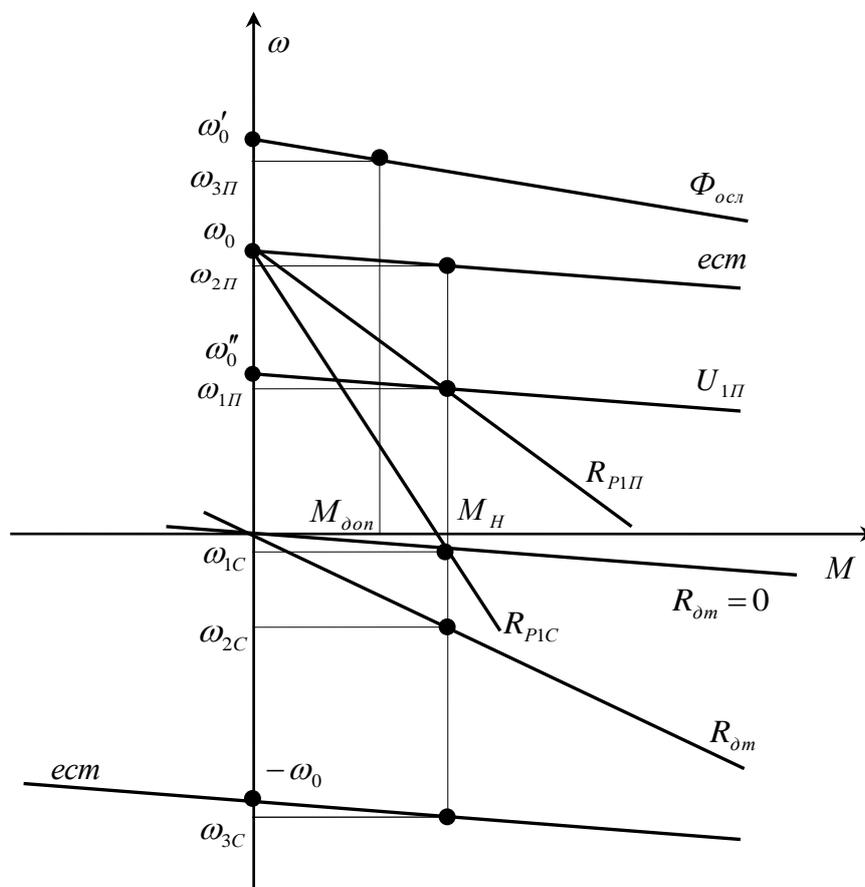


Рисунок 3.8

4 Электропривод грузоподъемного механизма с двигателем постоянного тока с последовательным возбуждением

4.1 Варианты задания

Таблица 4.1

Технические данные электрических двигателей, $U_H = 220$ В для групп Э – 31, 33

Сумма последних трех цифр зачетной книжки	Тип	P_H , кВт	n_H , об/мин	I_H , а	$r_{я} + r_{дн}$, Ом	$r_{об}$, Ом
1	2	3	4	5	6	7
00	ДП-21	5,5	1200	33	0,531	0,0275
01	ДП-22	8	1200	46	0,322	0,19
02	ДП-31	12	1100	67	0,194	0,118
03	ДП-32	17	1000	92	0,125	0,06
04	ДП-41	23	970	124	0,072	0,053
05	ДП-42	32	900	170	0,0510	0,0255
06	ДП-52	42	850	218	0,0315	0,022
07	ДП-82А	125	590	630	0,0121	0,0051
08	ДП-82А	140	575	710	0,0121	0,0051
09	Д-12	2,5	1100	16	1,63	0,59
10	Д-21	4,5	900	28	0,95	0,275
11	Д-22	6,0	850	36,5	0,57	0,3
12	Д-31	8,0	800	46,5	0,42	0,118
13	Д-32	12,0	675	69	0,28	0,097
14	Д-41	16,0	650	89	0,17	0,063
15	Д-806	22,0	575	120	0,1085	0,052
16	Д-808	37,0	525	200	0,054	0,031
17	Д-810	55,0	500	294	0,0356	0,0171
18	Д-812	75,0	475	390	0,0230	0,0103
19	Д-814	110,0	460	565	0,0805	0,0069
20	Д-816	150,0	450	765	0,084	0,0052
21	Д-818	185,0	410	935	0,0066	0,0039
22	Д-21	5,5	1200	33	0,531	0,0275
23	Д-22	8,0	1200	46	0,322	0,19
24	Д-31	12,0	1100	68	0,194	0,118
25	Д-32	18,0	960	98	0,125	0,06
26	Д-41	24,0	970	130	0,072	0,053
27	Д-806	32,0	900	170	0,047	0,028

Таблица 4.2

Технические данные электрических двигателей, $U_H = 220$ В для групп

Э – 32, 34

Сумма последних двух цифр зачетной книжки	Тип	P_H , кВт	n_H , об/мин	I_H , а	$r_a + r_{on}$, Ом	r_{OB} , Ом
1	2	3	4	5	6	7
00	Д-808	47,0	720	248	0,0295	0,02
01	Д-21	4,0	1050	13	3,54	1,52
02	Д-31	6,7	800	19,5	2,08	0,63
03	Д-41	15,0	660	43	0,695	0,24
04	Д-808	37,0	525	100	0,210	0,135
05	Д-810	55,0	510	145	0,146	0,066
06	Д-812	70,0	500	180	0,099	0,041
07	Д-816	150,0	460	380	0,0324	0,02
08	Д-818	185,0	410	467	0,026	0,0148
09	Д-22	7,0	1180	20,5	1,69	0,96
10	Д-32	17,0	970	47	0,534	0,24
11	Д-806	32,0	900	85	0,205	0,099
12	ДП-12	3	960	19	1,43	0,59
13	ДП-21	4,5	900	28	0,94	0,275
14	ДП-22	6	850	36	0,566	0,30
15	ДП-31	8,5	770	50	0,423	0,118
16	ДП-32	12	675	68	0,266	0,097
17	ДП-41	17	630	94	0,177	0,053
18	ДП-42	23	600	125	0,1155	0,039

Таблица 4.3

Скорости механизма

Предпоследняя цифра зачетной книжки	$\omega_{1п}$	$\omega_{2п}$	$\omega_{3п}$	$\omega_{1с}^*$	$\omega_{2с}$	$\omega_{3с}^{**}$
1	2	3	4	5	6	7
1	0,40 ω_H	ω_H	1,20 ω_H	$\Delta\omega_H$	0,45 ω_H	$\omega'_H > \omega_H$
2	0,45 ω_H	ω_H	1,25 ω_H	$\Delta\omega_H$	0,50 ω_H	$\omega'_H > \omega_H$
3	0,50 ω_H	ω_H	1,30 ω_H	$\Delta\omega_H$	0,55 ω_H	$\omega'_H > \omega_H$
4	0,55 ω_H	ω_H	1,35 ω_H	$\Delta\omega_H$	0,60 ω_H	$\omega'_H > \omega_H$
5	0,60 ω_H	ω_H	1,40 ω_H	$\Delta\omega_H$	0,65 ω_H	$\omega'_H > \omega_H$
6	0,65 ω_H	ω_H	1,25 ω_H	$\Delta\omega_H$	0,70 ω_H	$\omega'_H > \omega_H$
7	0,70 ω_H	ω_H	1,35 ω_H	$\Delta\omega_H$	0,75 ω_H	$\omega'_H > \omega_H$
8	0,75 ω_H	ω_H	1,45 ω_H	$\Delta\omega_H$	0,8 ω_H	$\omega'_H > \omega_H$
9	0,30 ω_H	ω_H	1,20 ω_H	$\Delta\omega_H$	0,35 ω_H	$\omega'_H > \omega_H$
0	0,35 ω_H	ω_H	1,50 ω_H	$\Delta\omega_H$	0,40 ω_H	$\omega'_H > \omega_H$

* Скорость спуска груза $\omega_{1C} = \Delta\omega_H$ обеспечивается на характеристике динамического торможения с независимым возбуждением при замкнутом коротко якоре двигателя.

** Скорость спуска груза $\omega_{3C} = \omega'_H$ обеспечивается на характеристике двигателя при параллельном включении якоря и обмотки возбуждения при номинальном потоке.

Нагрузка двигателя на всех скоростях, кроме скорости $\omega = \omega_{3П}$, должна быть номинальной. На скорости $\omega = \omega_{3П}$ нагрузка должна быть допустимой по нагреву двигателя.

4.2 Выполнение задания

Для получения скоростей подъема и спуска груза, указанных в таблице 4.2, необходимо рассчитать и построить механические $\omega = f(M)$ и электромеханические $\omega = f(I)$ характеристики двигателя, указанного в задании (таблица 4.1):

1) естественные механическую и электромеханическую характеристики, обеспечивающие скорость подъема груза $\omega = \omega_{2П}$;

2) реостатные механические характеристики, обеспечивающие скорость подъема груза $\omega = \omega_{1П}$ и скорость спуска груза $\omega = \omega_{1C}$;

3) электромеханическую и механическую характеристики двигателя с ослабленным магнитным потоком, обеспечивающие скорость подъема груза $\omega = \omega_{3П}$ (здесь необходимо определить допустимую нагрузку при этой скорости);

4) механические характеристики динамического торможения с независимым возбуждением, обеспечивающие скорости спуска груза $\omega = \omega_{1C}$ и $\omega = \omega_{2C}$;

5) механическую характеристику двигателя при параллельном включении якоря и обмотки возбуждения, обеспечивающую скорость спуска груза $\omega = \omega_{3C}$;

6) дополнительно необходимо рассчитать и построить механическую характеристику двигателя при пониженном напряжении, обеспечивающую скорость подъема груза $\omega = \omega_{1П}$, и определить необходимое для этого напряжение.

4.2.1 Расчет и построение естественных характеристик

Схема включения двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением представлена на рисунке 4.1.

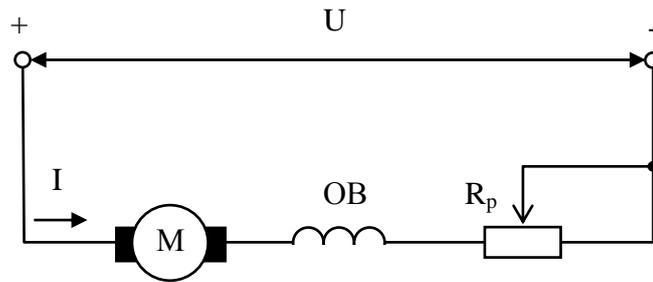


Рисунок 4.1

Якорь двигателя М и его обмотка возбуждения соединены последовательно, и поэтому ток возбуждения, а, следовательно, и магнитный поток определяются нагрузкой двигателя.

Уравнения естественных механической и электромеханической характеристик этого двигателя по форме совпадают с этими же уравнениями двигателя с независимым возбуждением:

$$\omega = \frac{U}{k\Phi(I)} - M \cdot \frac{R_{я\Sigma}}{[k\Phi(I)]^2} \quad (4.1)$$

$$\omega = \frac{U - IR_{я\Sigma}}{k\Phi(I)}, \quad (4.2)$$

где $R_{я\Sigma} = R_{я} + R_{он} + R_{ОВ}$ - суммарное сопротивление якорной цепи двигателя;

$R_{ОВ}$ - сопротивление обмотки возбуждения.

Так как магнитный поток двигателя с последовательным возбуждением определяется кривой намагничивания, которая не имеет аналитического выражения, не существует и точных аналитических выражений механической и электромеханической характеристик этого двигателя.

Поэтому построение естественных характеристик производится с помощью каталожных универсальных характеристик двигателей с последовательным возбуждением (рисунок 4.2). На этом рисунке приведены естественная электромеханическая характеристика в относительных единицах $\omega_* = f(I_*)$ и зависимость $M_* = f(I_*)$ тоже в относительных единицах.

Заменяя значения тока в электромеханической характеристике значениями момента из зависимости $M_* = f(I_*)$, получим естественную механическую характеристику в относительных единицах. Расчет сводится к замене относительных единиц на абсолютные по выражениям:

$$\omega = \omega_* \cdot \omega_H; \quad I = I_* \cdot I_H; \quad M = M_* \cdot M_H. \quad (4.3)$$

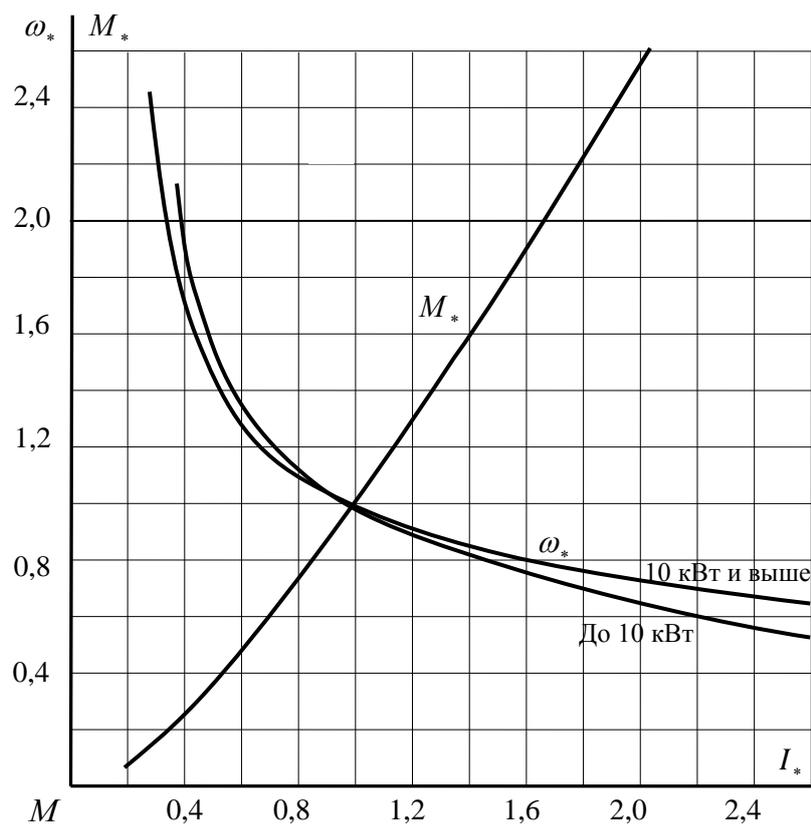


Рисунок 4.2

Расчет и построение естественных характеристик удобно произвести с помощью таблицы 4.3.

Таблица 4.3

I_*	2,4	2,2	2,0	1,8	1,6	1,4	1,2	1,0	0,8	0,6	0,4	0,3
M_*								1,0				
ω_*								1,0				
I												
M												
ω												

Естественные механическая и электромеханическая характеристики, обеспечивающие скорость подъема груза $\omega = \omega_{2л} = \omega_H$, представлены на рисунке 4.3, а; б.

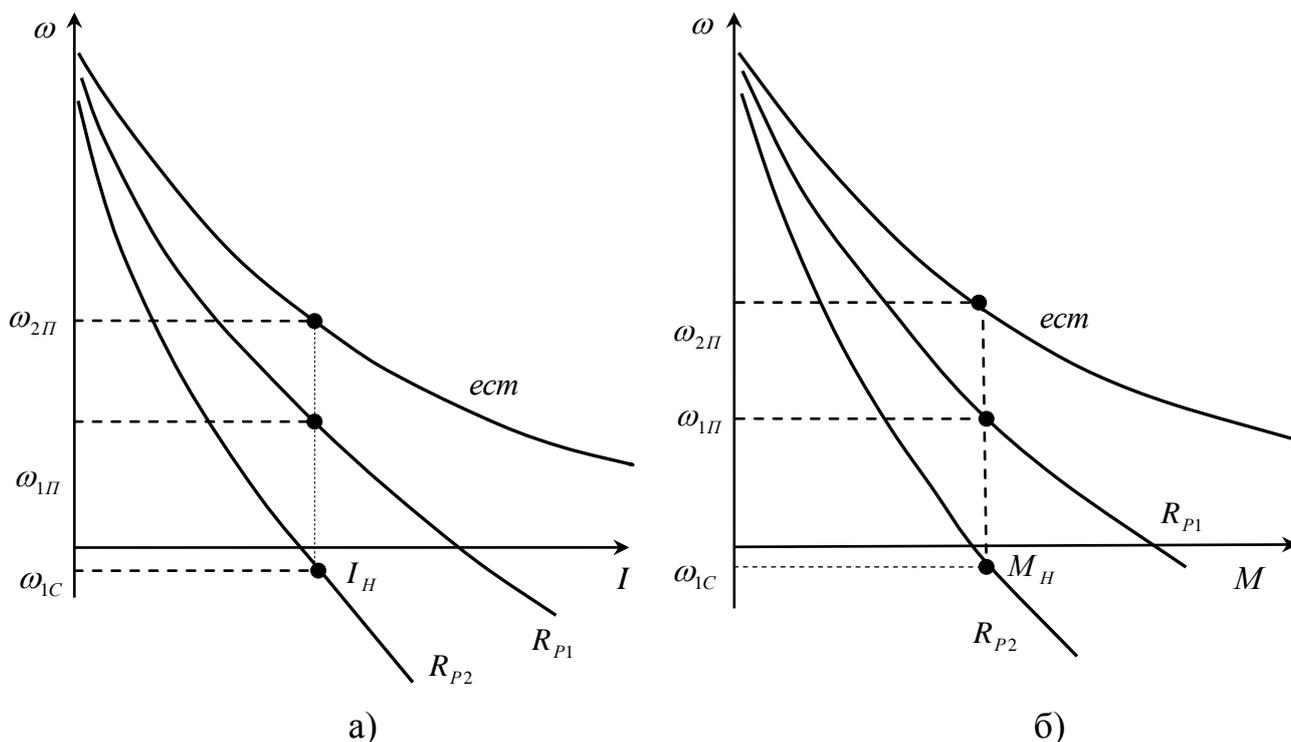


Рисунок 4.3

4.2.2 Расчет и построение реостатных характеристик

Все искусственные характеристики двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением при любой схеме его включения могут быть построены на основании того, что при одинаковом магнитном потоке, однозначно связанным с током возбуждения, справедливо выражение [2]:

$$\omega_{II} = \omega_e \cdot \frac{E_{II}}{E_e}, \quad (4.4)$$

где E_e и ω_e - э.д.с. и скорость двигателя на естественной характеристике;

E_{II} и ω_{II} - э.д.с. и скорость двигателя на искусственной характеристике при том же, что и на естественной характеристике, токе возбуждения.

Подставив в (4.4) значения э.д.с. на естественной и реостатной характеристиках, получим выражение для построения электромеханических реостатных характеристик, обеспечивающих скорость подъема $\omega = \omega_{1П}$ и скорость спуска $\omega = \omega_{1C}$:

$$\omega_p = \omega_e \cdot \frac{U - I \cdot (R'_{я\Sigma} + R_p)}{U - I \cdot R'_{я\Sigma}}; \quad (4.5)$$

где $R'_{я\Sigma} = R_{я} + R_{он}$.

Подставляя в (4.5) значения $I = I_H$; $\omega_e = \omega_H$; $\omega_{1P} = \omega_{1П}$ и $\omega_{2P} = -\omega_{1C}$, определим значения сопротивлений реостата для получения необходимых реостатных характеристик:

$$R_{P1} = \frac{(U - I_H \cdot R'_{я\Sigma}) \cdot (\omega_H - \omega_{1П})}{I_H \omega_H}; \quad (4.6)$$

$$R_{P2} = \frac{(U - I \cdot R'_{я\Sigma}) \cdot (\omega_H + \omega_{1C})}{I_H \omega_H}. \quad (4.7)$$

Для построения самих характеристик необходимо в выражение (4.5) при одном из значений сопротивления реостата подставить ряд значений тока I (от $I \approx 0,4I_H$ и до $I = 2I_H$ из таблицы 4.3 и соответствующие этим значениям тока скорости на естественной характеристике. В результате расчета получим ряд значений скоростей на реостатной характеристике, соответствующих тем же значениям тока. Затем этот расчет необходимо повторить для другого значения сопротивления реостата. Для построения механических характеристик величины моментов, соответствующих задаваемым значениям тока, также берутся из таблицы 3. Результаты расчета необходимо свести в таблицу 4.4.

Таблица 4.4

I	$0,4I_H$	$0,6I_H$	$0,8I_H$	I_H	$1,25I_H$	$1,45I_H$	$1,6I_H$	$1,8I_H$	$2I_H$
M									
R_{P1}	ω_u								
R_{P2}	ω_u								

Реостатные и естественная характеристики, обеспечивающие необходимые скорости подъема и спуска груза, представлены на рисунке 4.3.

4.2.3 Расчет и построение механической характеристики с ослабленным магнитным потоком

Эта характеристика, обеспечивающая скорость подъема груза $\omega = \omega_{3П}$, строится также в соответствии с выражением (4.4). Но, если в предыдущем случае ток возбуждения равнялся току якоря, как и в естественной схеме включения, то при ослаблении магнитного потока, которое достигается шунтированием обмотки возбуждения, такое равенство отсутствует (рисунок 4.4)

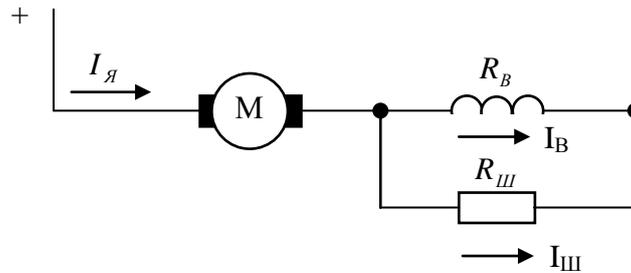


Рисунок 4.4

Ток возбуждения в этой схеме определяется выражением:

$$I_B = I_{\text{я}} \cdot \frac{R_{\text{ш}}}{R_B + R_{\text{ш}}} = k_{\text{ш}} \cdot I_{\text{я}}, \quad (4.8)$$

где $k_{\text{ш}} = \frac{R_{\text{ш}}}{R_B + R_{\text{ш}}}$ - коэффициент шунтирования.

При скорости $\omega = \omega_{3П}$ нагрузка двигателя должна быть такой, чтобы по якорю двигателя при шунтировании обмотки возбуждения протекал ток, равный номинальному. Тогда

$$E'_{\text{яН}} = U_{\text{Н}} - I_{\text{Н}} \cdot (R'_{\text{я}\Sigma} + k_{\text{ш}} \cdot R_B), \quad (4.9)$$

$$E_{\text{еН}} = U_{\text{Н}} - k_{\text{ш}} I_{\text{Н}} \cdot (R'_{\text{я}\Sigma} + R_B), \quad (4.10)$$

где $E_{\text{еН}}$ и $E_{\text{яН}}$ - э.д.с. двигателя на естественной и искусственной характеристиках при токе возбуждения $I_B = k_{\text{ш}} \cdot I_{\text{Н}}$.

Для того чтобы рассчитать значения э.д.с. по выражениям (4.9) и (4.10), а также определить скорость $\omega_{\text{е}}$ на естественной характеристике при токе $I_B = k_{\text{ш}} \cdot I_{\text{Н}}$, необходимо определить значение $k_{\text{ш}}$ (а, следовательно, и $R_{\text{ш}}$), при котором при токе якоря $I_{\text{я}} = I_{\text{Н}}$ будет обеспечена скорость $\omega = \omega_{3П}$. Математически точно этот параметр может быть рассчитан с помощью ЭВМ методом последовательных приближений.

С достаточной для инженерных расчетов точностью величину $k_{\text{ш}}$ можно определить с помощью линеаризации кривой намагничивания двигателя в ненасыщенной области. Эта линеаризация тем более правомерна, т.к. для получения рассматриваемой характеристики магнитный поток уменьшается по сравнению с номинальным, и рабочая точка перемещается в зону с большей линейностью.

Универсальная кривая намагничивания для двигателей последовательного возбуждения представлена на рисунке 4.5.

Линеаризация этой кривой позволяет определить магнитный поток в относительных единицах:

$$(k\Phi)_* = k_{\phi*} \cdot I_{B*}, \quad (4.11)$$

где $k_{\phi*} = \operatorname{arctg} \alpha = \frac{1,4}{1,12} = 1,25$.

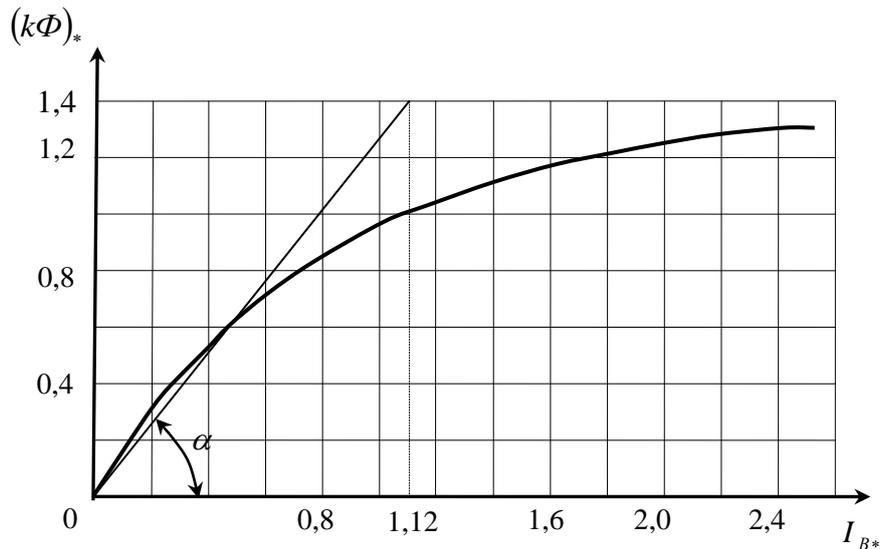


Рисунок 4.5

Электромеханическая характеристика рассматриваемого двигателя при ослабленном магнитном потоке на участке линеаризации описывается выражением в относительных единицах:

$$\omega_* = \frac{U_* - I_* \cdot (R'_{я\Sigma*} + k_{ш} \cdot R_{B*})}{k_{\phi*} \cdot I_{B*}}. \quad (4.12)$$

Подставляя в (4.12) значения $I_* = I_{H*} = 1$, $U_* = U_{H*} = 1$, $\omega_* = \omega_{3П*} = \frac{\omega_{3П}}{\omega_H}$,

$I_{B*} = k_{ш} I_{H*} = k_{ш}$, $R'_{я\Sigma*} = \frac{R'_{я\Sigma}}{R_H}$, $R_{B*} = \frac{R_B}{R_H}$, $R_H = \frac{U_H}{I_H}$, получим:

$$k_{ш} = \frac{1 - R'_{я\Sigma*}}{\omega_{3П*} \cdot k_{\phi*} + R_{B*}}. \quad (4.13)$$

Порядок построения характеристики следующий:

1) задаемся токами якоря двигателя в пределах $(0,6 \div 0,8) \cdot I_{H*} \div 2I_{H*}$ (теми же, что и в таблице 4.3);

2) для каждого тока якоря определяем ток возбуждения по (4.8);

- 3) для каждого тока возбуждения определяем по естественной характеристике скорость ω_{e^*} , имея в виду, что на естественной характеристике $I_{я} = I_{B}$;
- 4) для каждого тока якоря определяем E_{U^*} , E_{e^*} и ω_{U^*} по выражениям:

$$E_{U^*} = 1 - (R'_{я\Sigma^*} + k_{III} \cdot R_{B^*}), \quad (4.14)$$

$$E_{e^*} = 1 - k_{III} \cdot R_{я\Sigma^*}, \quad (4.15)$$

$$\omega_{U^*} = \omega_{e^*} \cdot \frac{E_{U^*}}{E_{e^*}}. \quad (4.16)$$

Поскольку момент на искусственной характеристике при том же значении тока якоря уменьшается по сравнению с моментом на естественной характеристике пропорционально уменьшению тока возбуждения, значения моментов для построения механической характеристики определяются по выражению:

$$M_u = k_{III} M_e. \quad (4.17)$$

Для удобства результаты расчета необходимо свести в таблицу 4.5.

Таблица 4.5

I_*	M_e	I_{B^*}	ω_{e^*}	E_{e^*}	E_{U^*}	ω_{U^*}	ω_u	M_u

Механическая характеристика двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением при ослабленном магнитном потоке, обеспечивающая скорость подъема груза $\omega = \omega_{3II}$ представлена на рисунке 4.6. Здесь же представлена и естественная характеристика двигателя.

Допустимый момент при ослаблении магнитного потока $M_{дон}$ определяется из выражения (4.17) подстановкой $M_e = M_H$.

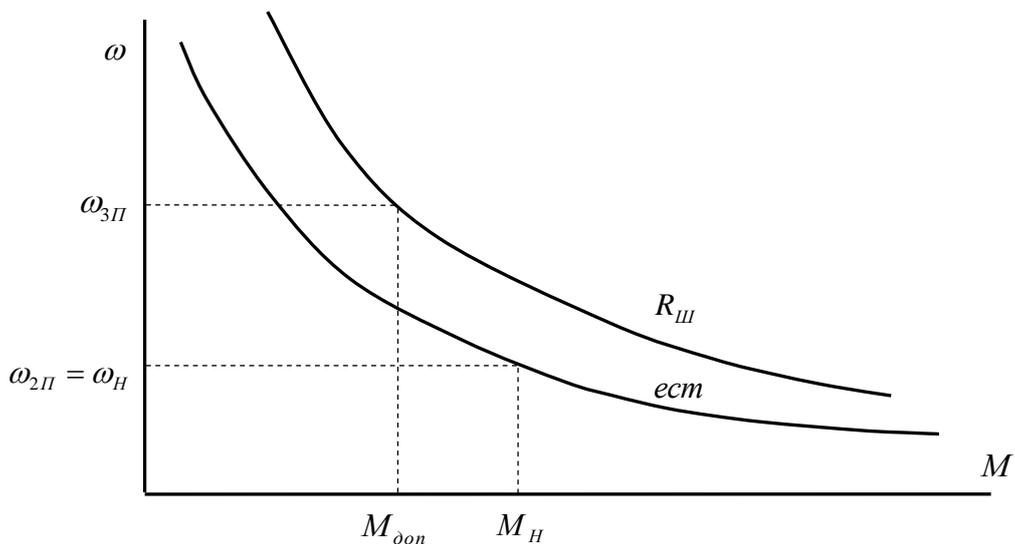


Рисунок 4.6

Величина сопротивления, шунтирующего обмотку возбуждения, определяется из (4.8):

$$R_{ш} = \frac{k_{ш}}{1 - k_{ш}} \cdot R_B. \quad (4.18)$$

Поскольку двигатели последовательного возбуждения типа МП и ДП допускают 3-кратную перегрузку по току, а двигатели типа ПН-2,5 – кратную [3], представляет интерес вид статических характеристик при ослабленном магнитном потоке в этой области.

Рассматривая приведенные на рисунке 4.2 каталожные универсальные характеристики, можно сделать вывод о том, что при токах якоря (возбуждения), больших 2-кратного номинального, характеристики становятся практически линейными. Это означает, что магнитная система двигателя при этих токах насыщается, и увеличение тока уже не приводит к изменению магнитного потока.

При шунтировании обмотки возбуждения насыщение магнитной системы двигателя наступает при токах якоря, больших $2I_H / K_{ш}$. Вследствие этого при таких токах электромеханические характеристики двигателя последовательного возбуждения при ослаблении магнитного потока сливаются с естественной характеристикой.

Так как магнитный поток насыщения больше номинального потока примерно в 1,3 раза (рисунок 4.3), механические характеристики двигателя при ослаблении магнитного потока сливаются с естественной характеристикой при моментах, больших $2,6M_H / K_{ш}$.

4.2.4 Расчет и построение характеристик динамического торможения с независимым возбуждением

Схема включения рассматриваемого двигателя для получения такого режима представлена на рисунке 4.7.

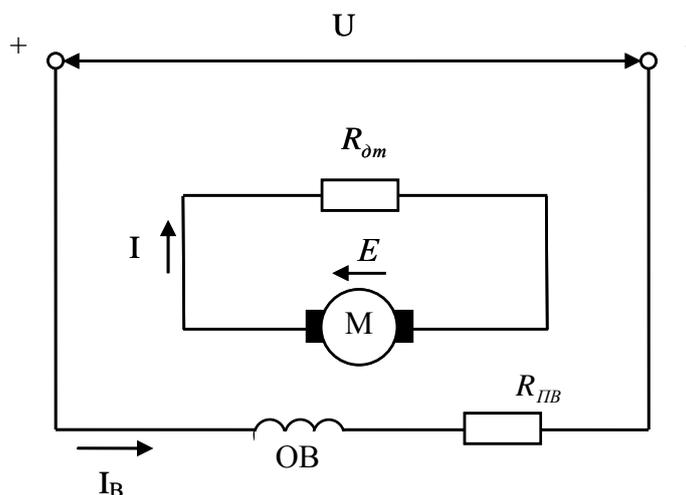


Рисунок 4.7

В режиме динамического торможения с независимым возбуждением должны быть обеспечены скорости спуска $\omega = \omega_{1c}$ и $\omega = \omega_{2c}$ при нагрузке двигателя, равной номинальной. Следовательно, ток возбуждения и магнитный поток в этом режиме должны быть номинальными. Поэтому величина сопротивления $R_{ПВ}$, обеспечивающего номинальный ток в обмотке возбуждения, определяется из выражения:

$$R_{ПВ} = \frac{U_H}{I_H} - R_B. \quad (4.19)$$

Номинальный поток двигателя определяется из условий двигательного режима:

$$(k\Phi)_H = \frac{U_H - I \cdot R_{я\Sigma}}{\omega_H}. \quad (4.20)$$

Поскольку характеристики двигателя в этом режиме линейны и проходят через начало координат, их построение производится по двум точкам: точке начала координат и точкам с координатами $\omega = \omega_{1c}$, $M = M_H$ и $\omega = \omega_{2c}$, $M = M_H$ (рисунок 4.8).

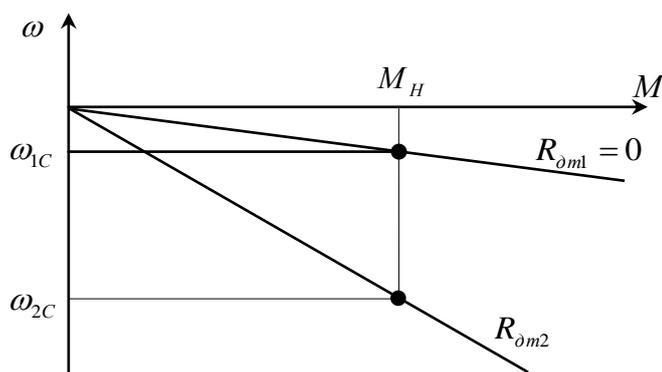


Рисунок 4.8

Минимальная скорость спуска груза $\omega = \omega_{1c} = \Delta\omega_H$ обеспечивается на характеристике динамического торможения при замыкании якоря накоротко. Поэтому

$$\omega_{1c} = \Delta\omega_H = \frac{I_H \cdot R'_{я\Sigma}}{(k\Phi)_H}. \quad (4.21)$$

Величину сопротивления $R_{ом2}$, обеспечивающего скорость спуска груза $\omega = \omega_{2c}$, можно определить по выражению:

$$R_{ом2} = \frac{E_2}{I_H} - R'_{я\Sigma} = \frac{(k\Phi)_H \cdot \omega_{2c}}{I_H} - R'_{я\Sigma}. \quad (4.22)$$

4.2.5 Расчет и построение характеристик двигателя при параллельном включении якоря и обмотки возбуждения

Схема включения двигателя для обеспечения скорости спуска груза $\omega = \omega_{3c}$ представлена на рисунке 4.9.

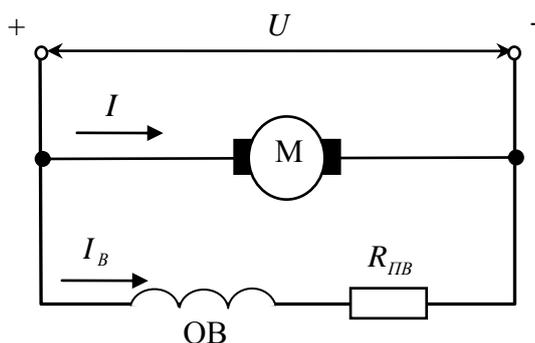


Рисунок 4.9

В такой схеме включения в режиме рекуперативного торможения обеспечивается скорость спуска груза, большая номинальной скорости. Характеристика при данной схеме включения двигателя линейная и может быть построена по двум точкам: точке идеального холостого хода ($M = 0$; $I = 0$; $\omega = \omega_0$) и точке номинального режима ($M = M_H$; $I = I_H$; $\omega = \omega'_H$).

Номинальная скорость двигателя в обычной схеме включения:

$$\omega_H = \frac{U_H - I_H \cdot R'_{я\Sigma}}{(k\Phi)_H}. \quad (4.23)$$

Скорость идеального холостого хода при параллельном включении якоря и обмотки возбуждения:

$$\omega_0 = \frac{U_H}{(k\Phi)_H}. \quad (4.24)$$

Скорость двигателя в режиме рекуперативного торможения при номинальной нагрузке:

$$\omega'_H = \omega_0 + \Delta\omega_H = \frac{U_H}{(k\Phi)_H} + I_H \cdot \frac{R'_{я\Sigma}}{(k\Phi)_H}. \quad (4.25)$$

С учетом (4.23) эту скорость можно определить, как

$$\omega'_H = \omega_H + 2\Delta\omega_H + I_H \cdot \frac{R_B}{(k\Phi)_H}. \quad (4.26)$$

Вышерассчитанная характеристика представлена на рисунке 4.10. Здесь же приведена естественная характеристика для обратного направления вращения.

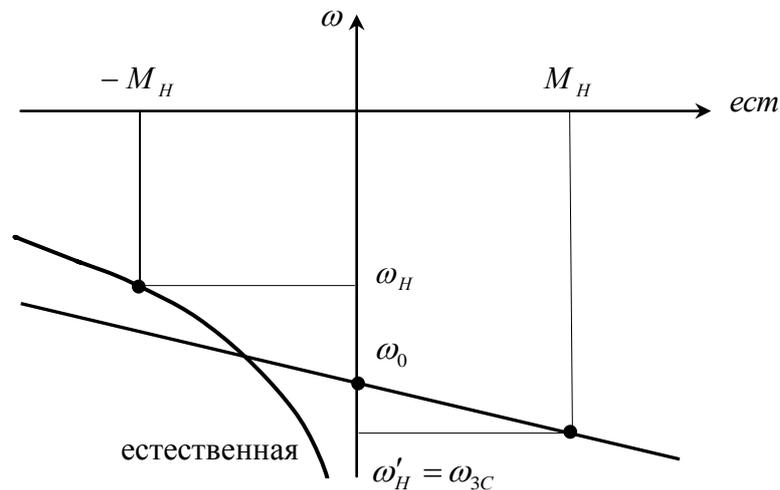


Рисунок 4.10

Величина сопротивления $R_{пв}$, включенного последовательно с обмоткой возбуждения, определяется по (4.19).

4.2.6 Расчет и построение механической характеристики двигателя при пониженном напряжении

Пониженное напряжение на двигателе в естественной схеме включения должно обеспечить при номинальной нагрузке скорость $\omega = \omega_{1П}$.

Здесь, как и в разделах 4.2.2 и 4.2.3, характеристика строится в соответствии с выражением (4.4):

$$\omega_u = \omega_e \cdot \frac{U_\delta - IR_{я\Sigma}}{U_H - IR_{я\Sigma}}, \quad (4.27)$$

где U_δ - фактическое напряжение на двигателе.

Подставив в (4.27) $\omega_e = \omega_H$; $I = I_H$; $\omega_u = \omega_{\text{лп}} = k_U \cdot \omega_H$, получим

$$U_\delta = k_U U_H + I_H R_{\Sigma} \cdot (1 - k_U), \quad (4.28)$$

где $k_U = \frac{\omega_{\text{лп}}}{\omega_H}$.

Теперь, как и в разделах 4.2.2 и 4.2.3, задаемся рядом значений токов из таблицы 4.3 и по 4.27 рассчитываем значения скоростей на искусственной характеристике при этих токах. Значения ω_e и момента M для построения механической характеристики также берутся из таблицы 4.3.

Результаты расчета необходимо свести в таблицу 4.6.

Таблица 4.6

I											
M											
ω_e											
ω_u											

Электромеханическая характеристика при пониженном напряжении вместе с естественной приведены на рисунке 4.11.

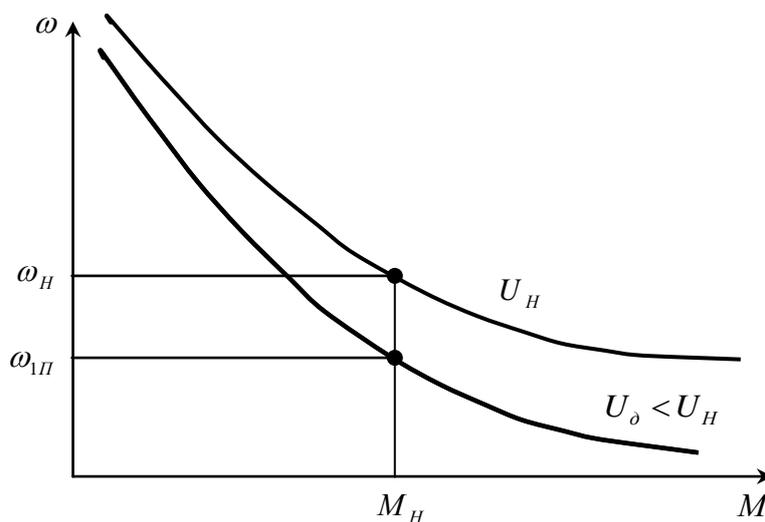


Рисунок 4.11

Таким образом, рассчитаны и построены все характеристики, необходимые для обеспечения указанных в задании скоростей. Эти характеристики приведены на рисунке 4.12.

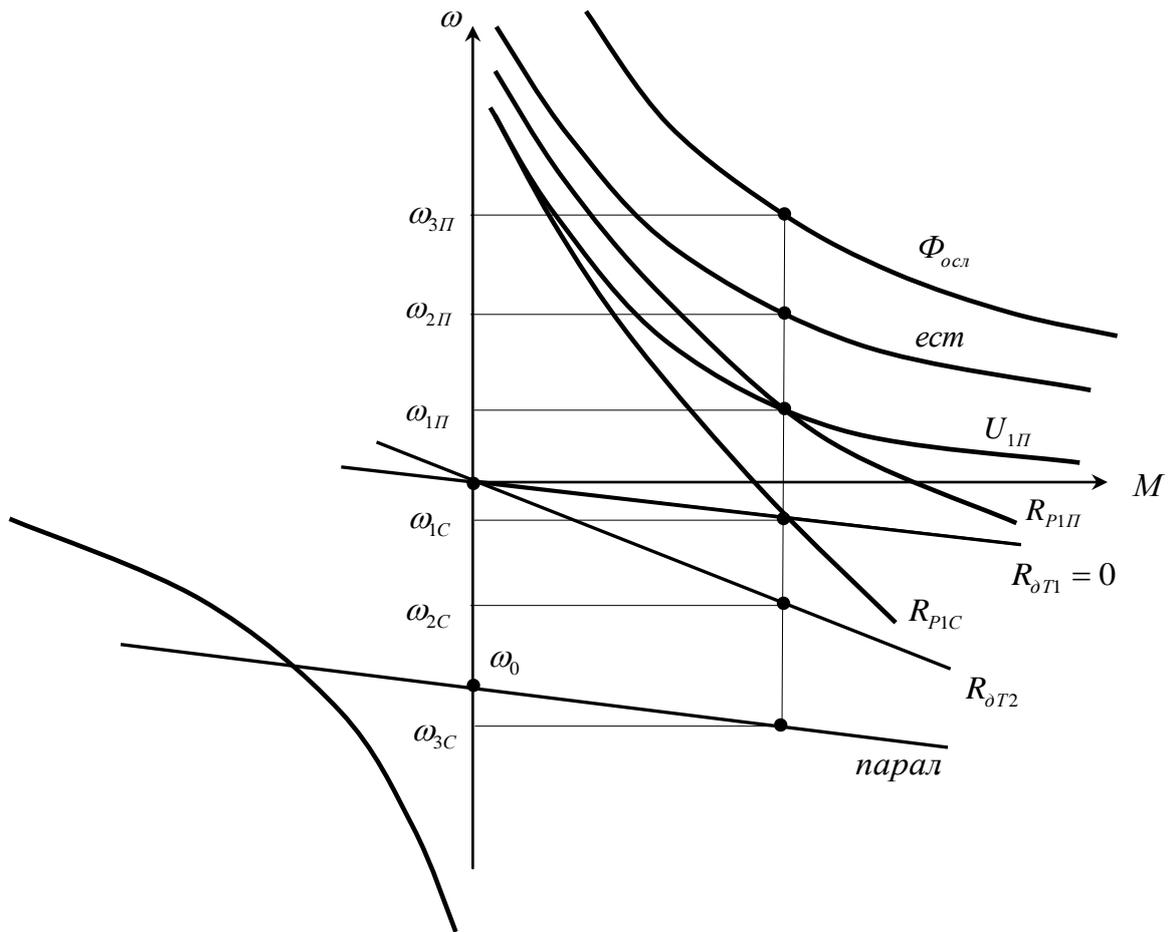


Рисунок 4.12

5 Электропривод грузоподъемного механизма с асинхронным двигателем с фазным ротором

5.1 Варианты задания

Таблица 5.1

Скорости механизма

Предпоследняя цифра зачетной книжки	$\omega_{1П}$	$\omega_{2П}$	$\omega_{03П}$	ω_{1c}	ω_{2c}	ω_{3c}	U_1
1	2	3	4	5	6	7	8
1	$0,30 \omega_H$	ω_H	$1,20\omega_0$	$\Delta\omega_H$	$0,35 \omega_H$	$\omega'_H > \omega_0$	$0,85U_H$
2	$0,35 \omega_H$	ω_H	$1,25\omega_0$	$\Delta\omega_H$	$0,40 \omega_H$	$\omega'_H > \omega_0$	$0,80U_H$
3	$0,40 \omega_H$	ω_H	$1,30\omega_0$	$\Delta\omega_H$	$0,45 \omega_H$	$\omega'_H > \omega_0$	$0,75U_H$
4	$0,45 \omega_H$	ω_H	$1,35\omega_0$	$\Delta\omega_H$	$0,55 \omega_H$	$\omega'_H > \omega_0$	$0,70U_H$
5	$0,50 \omega_H$	ω_H	$1,40\omega_0$	$\Delta\omega_H$	$0,60\omega_H$	$\omega'_H > \omega_0$	$0,65U_H$
6	$0,55 \omega_H$	ω_H	$1,45\omega_0$	$\Delta\omega_H$	$0,55\omega_H$	$\omega'_H > \omega_0$	$0,6U_H$
7	$0,60 \omega_H$	ω_H	$1,50\omega_0$	$\Delta\omega_H$	$0,50\omega_H$	$\omega'_H > \omega_0$	$0,55U_H$
8	$0,65 \omega_H$	ω_H	$1,25\omega_0$	$\Delta\omega_H$	$0,45\omega_H$	$\omega'_H > \omega_0$	$0,50U_H$
9	$0,70 \omega_H$	ω_H	$1,35\omega_0$	$\Delta\omega_H$	$0,40\omega_H$	$\omega'_H > \omega_0$	$0,85U_H$
0	$0,75 \omega_H$	ω_H	$1,40\omega_0$	$\Delta\omega_H$	$0,35 \omega_H$	$\omega'_H > \omega_0$	$0,80U_H$

Здесь $\omega_{03П}$ - скорость идеального холостого хода на механической характеристике, обеспечивающей скорость подъема груза $\omega_{3П}$, при питании двигателя от трехфазного источника питания повышенной частоты с постоянным линейным напряжением 380 В;

ω_{1c} - скорость спуска груза на характеристике динамического торможения при замкнутой накоротке обмотке ротора;

ω_{3c} - скорость спуска груза на естественной характеристике рекуперативного торможения;

U_1 - пониженное напряжение источника питания асинхронного двигателя при частоте $f_1 = f_{1H} = 50$ Гц.

Нагрузка двигателя на всех скоростях, кроме скорости $\omega = \omega_{3П}$, должна быть номинальной. Нагрузочные возможности двигателя на скорости $\omega = \omega_{3П}$ должны быть определены при выполнении задания.

Таблица 5.2

Технические данные электрических двигателей, $U_H = 380$ В для групп Э – 31, 33

Сумма последних двух цифр зачетной книжки	Тип	P_H , кВт	n_H , об/мин	$I_{c.n}$, А	$I_{c.x}$, А	r_c , Ом	x_c , Ом	$E_{p.H}$, В	$I_{p.H}$, А	r_p , Ом	x_p , Ом
00	МТМ312-6	11,0	950	27,3	17,8	0,595	0,485	166	43,0	0,097	0,181
01	МТФ011-6	1,7	850	5,9	4,9	5,78	3,6	126	12,0	0,77	0,566
02	МТФ012-6	2,7	840	8,9	6,12	3,63	2,51	154	15	0,745	0,59
03	МТФ111-6	4,1	870	11,7	7,45	2,1	1,93	175	18,7	0,6	0,57
04	МТФ112-6	5,8	915	16	11,35	1,26	1,26	217	19,0	0,5	0,648
05	МТФ211-6	9	915	21	14,35	0,755	1,05	273	25	0,485	0,855
06	МТФ311-6	13	935	34,5	23,2	0,48	0,645	184	51	0,111	0,241
07	МТФ312-6	17,5	950	42,5	28,7	0,23	0,334	233	54	0,107	0,244
08	МТФ311-8	9	680	25,6	17,7	0,835	0,843	264	26	0,46	0,643
09	МТФ312-8	13	695	34	24,2	0,365	0,53	178	53	0,122	0,182
10	МТФ411-6	27	955	64	40	0,497	0,287	246	77	0,0763	0,236
11	МТФ412-6	36	965	86	51,8	0,124	0,197	271	88	0,055	0,173
12	МТФ411-8	18	700	46,7	29,8	0,327	0,53	221	59	0,117	0,26
13	МТФ412-8	26	715	71	49,6	0,182	0,313	266	68	0,095	0,231
14	МТМ111-6	2,2	885	6,6	4,6	4,33	2,61	144	11,1	0,72	0,595
15	МТМ112-6	3,5	895	9,5	7,25	2,8	1,67	177	13,5	0,725	0,595
16	МТМ211-6	5,0	920	13,6	9,7	1,41	1,29	215	16,2	0,58	0,66
17	МТМ311-6	7,5	945	20,0	14,2	0,90	0,663	240	19,7	0,35	0,511
18	МТМ311-8	5,0	685	14,7	10,2	1,76	1,24	215	17,0	0,517	0,664

Таблица 5.3

Технические данные электрических двигателей, $U_H = 380$ В для групп Э – 32, 34

Сумма последних трех цифр зачетной книжки	Тип	P_H , кВт	n_H , об/мин	$I_{c.n}$, А	$I_{c.x}$, А	r_c , Ом	x_c , Ом	$E_{p.H}$, В	$I_{p.H}$, А	r_p , Ом	x_p , Ом
00	МТМ312-8	7,5	695	20,6	13,9	1,04	0,833	254	20,0	0,0462	0,641
01	МТМ411-6	16	957	38,0	21,4	0,323	0,398	200	53,0	0,092	0,235
02	МТМ411-8	11	710	30,0	21	0,465	0,543	172	41,5	0,116	0,214
03	МТМ412-6	22	960	48,5	24,2	0,218	0,312	225	63,0	0,072	0,225
04	МТМ412-8	16	715	42,5	30	0,316	0,371	200	52,0	0,098	0,195
05	МТМ511-8	22	715	55,0	37	0,205	0,284	237	58,5	0,106	0,231
06	МТМ512-8	30	716	72,0	46	0,141	0,214	288	65,0	0,102	0,252
07	МТМ611-10	38	577	90,0	57	0,119	0,222	172	138	0,0255	0,0463
08	МТМ612-10	50	577	114,0	66	0,088	0,176	223	140	0,0313	0,0625
09	МТМ613-10	63	580	140	80	0,061	0,140	282	139	0,0366	0,078
10	МТМ711-10	80	585	188	115	0,033	0,122	246	200	0,0159	0,067
11	МТМ712-10	100	587	240	150	0,022	0,094	316	196	0,018	0,082
12	МТМ713-10	125	587	275	156	0,0183	0,081	372	196	0,020	0,098
13	МТН111-6	3,5	870	11,6	9,87	2,62	1,7	178	16,5	0,671	0,565
14	МТН112-6	5,3	885	15,3	11,8	1,61	1,14	217	19	0,603	0,625
15	МТН211-6	8,2	900	24,6	19	0,835	0,88	257	23	0,466	0,666
16	МТН311-6	13	925	35	23,2	0,51	0,645	186	51	0,124	0,241
17	МТН312-6	17,5	945	43	34,4	0,337	0,431	233	54	0,125	0,254
18	МТН311-8	9	675	26,1	17,7	0,98	0,843	264	26	0,498	0,643
19	МТН312-8	13	690	34,7	27,5	0,534	0,529	178	53	0,13	0,1825
20	МТН411-6	27	950	65	39,7	0,219	0,271	247	77	0,08	0,233
21	МТН412-6	36	955	87	51,8	0,133	0,197	271	88	0,059	0,173
22	МТН411-8	18	695	48	29,8	0,352	0,507	221	59	0,125	0,245
23	МТН412-8	26	710	72	49,6	0,202	0,313	266	68	0,102	0,231
24	МТН511-8	34	695	82	47,4	0,164	0,232	297	81	0,124	0,448
25	МТН512-8	45	695	104	53,1	0,103	0,172	319	94	0,091	0,356
26	МТН611-10	53	560	128	78,1	0,0855	0,18	197	185	0,0274	0,176
27	МТН612-10	70	560	165	88,7	0,06	0,136	262	181	0,033	0,133

5.2 Выполнение задания

Для получения скоростей подъема и спуска груза, указанных в таблице 5.2 необходимо рассчитать и построить нижеперечисленные механические $\omega = f(M)$ и электромеханические $\omega = f(I)$ характеристики двигателя, указанного в задании (таблица 5.1):

1) естественные механические и электромеханические характеристики, обеспечивающие скорость подъема груза $\omega = \omega_{2П}$ и скорость спуска груза $\omega = \omega_{3с}$;

2) механические характеристики динамического торможения с независимым возбуждением, обеспечивающие скорости спуска груза $\omega = \omega_{1с}$ и $\omega = \omega_{2с}$;

3) реостатные механические характеристики, обеспечивающие скорость подъема груза $\omega = \omega_{1П}$ и скорость спуска груза $\omega = \omega_{1с}$;

4) механическую характеристику двигателя при повышенной частоте питающего напряжения, обеспечивающую скорость подъема груза $\omega = \omega_{3П}$;

5) дополнительно необходимо рассчитать и построить механическую и электромеханическую характеристику при пониженном напряжении на статоре двигателя $U_1 = K_U U_{1Н}$ (значения коэффициента снижения напряжения K_U указаны в таблице 5.1).

5.2.1 Расчет и построение естественных характеристик

Схема включения асинхронного двигателя с фазным ротором представлена на рисунке 5.1.

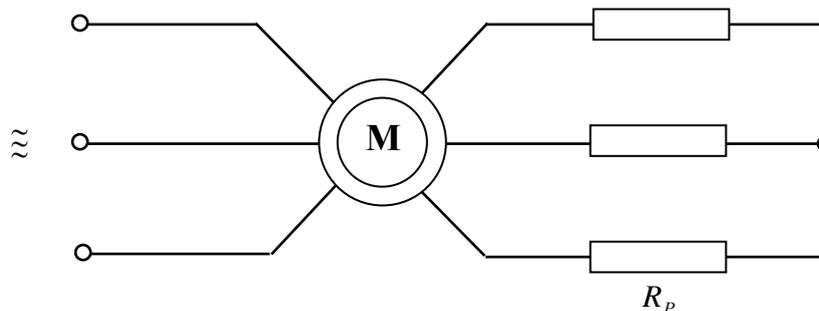


Рисунок 5.1

При номинальном напряжении сети и замкнутой накоротко обмотке ротора ($R_p = 0$) двигатель будет работать на естественной характеристике. При введении в цепь ротора добавочных сопротивлений будет получена реостатная характеристика.

Расчет естественных электромеханической и механической характеристик проводится по известным из литературы выражениям [1]:

$$I'_2 = \frac{U_{1H}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + x_K^2}}, \quad (5.1)$$

$$M = \frac{2M_K \cdot (1 + as_K)}{\frac{s}{s_K} + \frac{s_K}{s} + 2as_K}, \quad (5.2)$$

$$M_K = \frac{3U_{1H}^2}{2\omega_0 \cdot \left[R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + x_K^2}\right]}, \quad (5.3)$$

$$s_K = \frac{R'_2}{\sqrt{R_1^2 + x_K^2}}, \quad (5.4)$$

$$x_K = x_1 + x'_2, \quad (5.5)$$

$$a = \frac{R_1}{R'_2}, \quad (5.6)$$

где I'_2 - приведенный к статорной обмотке ток ротора;
 U_{1H} - номинальное фазное напряжение двигателя;
 M_K - критический момент;
 s_K - критическое скольжение;
 x_K - индуктивное сопротивление короткого замыкания;
 R_1, x_1 - активное и индуктивное сопротивления статорной обмотки;
 R'_2, x'_2 - приведенные активное и индуктивное сопротивления роторной обмотки;
 s - текущее значение скольжения.

В выражении (5.3) знак «плюс» означает, что максимум момента имеет место при $s > 0$ в двигательном режиме или в режиме противовключения, а знак «минус» - при $s < 0$ в генераторном режиме.

Приведенные сопротивления роторной обмотки определяются с помощью коэффициента трансформации сопротивлений K_R

$$\left. \begin{aligned} R'_2 &= R_2 \cdot K_R \\ x'_2 &= x_2 \cdot K_R \end{aligned} \right\}, \quad (5.7)$$

где R_2, x_2 - активное и индуктивное сопротивления роторной обмотки.

Коэффициент трансформации сопротивлений может быть определен через коэффициент трансформации э.д.с. K_e или через номинальную э.д.с. ротора E_{2H} :

$$K_R = \frac{m_1}{m_2} \cdot K_e^2 = \frac{m_1}{m_2} \cdot \left(0,95 \cdot \frac{\sqrt{3}U_{1H}}{E_{2H}} \right)^2, \quad (5.8)$$

где m_1 и m_2 - число фаз статора и ротора;

E_{2H} - э.д.с. между кольцами неподвижного разомкнутого ротора.

Для расчета характеристик необходимо также определить координаты точек идеального холостого хода, номинального режима и критической. Скорость идеального холостого хода (синхронная скорость) определяется по выражению:

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{2\pi \cdot f_{1H}}{p}, \quad (5.9)$$

где f_{1H} - частота питающей сети, равная 50 Гц;

p - число пар полюсов статора двигателя.

Если число пар полюсов неизвестно, скорость идеального холостого хода определяется как ближайшая большая номинальной скорости из ряда синхронных скоростей: (3000, 1500, 1000, 750, 600, 500, 375, 300 и т.д.) об/мин.

Номинальное скольжение определяется из известного выражения:

$$s_H = \frac{n_0 - n_H}{n_0} = \frac{\omega_0 - \omega_H}{\omega_0}. \quad (5.10)$$

Координаты критической точки M_K и s_K определяются по выражениям (5.3) и (5.4).

Далее, задаваясь значениями скольжения s от 0 до 1, по выражениям (5.1) и (5.2) определим значения I'_2 и M . Значения угловой скорости, соответствующие заданным значениям скольжения, определяются из выражения:

$$\omega = \omega_0 \cdot (1 - s) \quad (5.11)$$

Значения s , ω , I'_2 , M рекомендуется занести в таблицу 5.3.

Таблица 5.3

s													
ω													
M													
I'_2													
M_U													
I'_{2U}													

Для построения естественных характеристик двигателя необходимо иметь $12 \div 14$ точек. Значения скольжения рекомендуется задавать, исходя из следующих соображений. Учитывая то, что характеристики двигателя практически линейны на участке от идеального холостого хода до номинального режима, задаемся здесь тремя значениями скольжения ($s = 0$; $s = 0,5s_H$; $s = s_H$). На участке от номинального режима до критической точки механической характеристики следует задаться тремя – четырьмя значениями в зависимости от величины разности критического и номинального скольжений. На последнем участке от критической точки до значения $s = 1$, желательно установить шаг скольжения, равный $0,1$.

По данным таблицы 5.3 строится электромеханическая $\omega = f(I'_2)$ и механическая $\omega = f(M)$ характеристики двигателя (рисунок 5.2) в двигательном режиме (кривые 1 и 2).

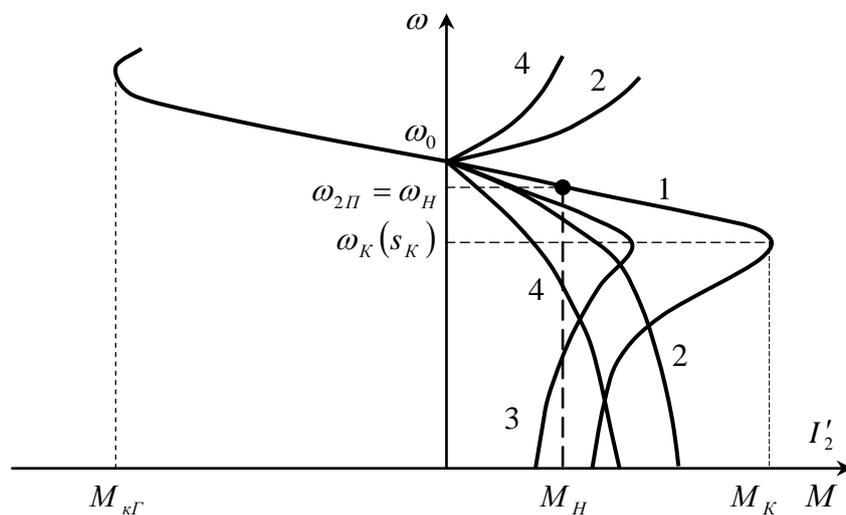


Рисунок 5.2

С помощью таблицы 5.3 легко построить и характеристики двигателя при пониженном напряжении на статоре. Из выражений (5.1) – (5.4) видно, что при снижении напряжения критическое скольжение s_K остается неизменным, ток ротора I'_{2U} уменьшается пропорционально напряжению, а критический мо-

мент M_{KU} и момент двигателя M_U уменьшаются пропорционально квадрату коэффициента уменьшения напряжения K_U .

Заполнив в таблице 5.3 графы M_U и I'_{2U} , можно построить механическую и электромеханическую характеристики двигателя при пониженном напряжении (кривые 3 и 4) на рисунке 5.2.

Так как спуск груза со скоростью ω_{3C} , должен происходить на естественной характеристике в режиме рекуперативного торможения, естественную механическую характеристику необходимо построить и в генераторном режиме при скольжении $s < 0$.

Для сокращения математических расчетов эту ветвь механической характеристики рассчитаем по упрощенному выражению:

$$M = \frac{2M_{KГ}}{\frac{s}{s_K} + \frac{s_K}{s}}, \quad (5.12)$$

где $M_{KГ}$ - критический момент в генераторном режиме, определенный по выражению (5.3) со знаком «минус» перед корнем в знаменателе.

В связи с тем, что $M_{KГ}$ по абсолютному значению больше M_K в двигательном режиме при одинаковых абсолютных значениях критического скольжения s_K , абсолютное значение номинального скольжения $s_{HГ}$ в этом режиме будет меньше номинального скольжения s_H в двигательном режиме. Это скольжение и соответствующую ему скорость можно определить графически после построения характеристики или аналитически, подставив в выражение (5.12) значения $M = M_H$ и $s = s_{HГ}$:

$$s_{HГ} = s_K \cdot (\lambda_{Г} - \sqrt{\lambda_{Г}^2 - 1}), \quad (5.13)$$

где $\lambda_{Г} = \frac{M_{KГ}}{M_H}$.

Естественную механическую характеристику двигателя в генераторном режиме, как и все остальные характеристики, будем рассчитывать и строить в диапазоне скольжений $0 < s < s_K$, полагая, что этого достаточно для выполнения задания.

Для обеспечения спуска груза со скоростью $\omega = \omega_{3C}$ двигатель должен работать в режиме рекуперативного торможения при обратном направлении вращения вала, а характеристика должна располагаться в четвертом квадранте, где моменты положительны.

Построение этой характеристики проведем по четырем точкам, координаты трех из которых уже практически известны:

- 1) $s_1 = 0, \omega_1 = -\omega_0, M_1 = 0;$
- 2) $s_2 = -s_{HG}, \omega_2 = -\omega_{HG} = -\omega_0 \cdot (1 + |s_{HG}|), M_2 = M_H;$
- 3) $s_3 = -s_K, \omega_3 = -\omega_{KG} = -\omega_0 \cdot (1 + |s_{KG}|), M_3 = M_{KG}.$

Координаты четвертой точки, находящейся между второй и третьей, определим по выражениям:

$$s_4 = -\frac{|s_K| + |s_{HG}|}{2}, \quad \omega_4 = -\omega_0 \cdot (1 + |s_4|), \quad M_4 = \frac{2M_{KG}}{\frac{s_4}{s_K} + \frac{s_K}{s_4}}.$$

5.2.2 Расчет и построение характеристик динамического торможения с независимым возбуждением

Эти характеристики обеспечиваются схемой включения двигателя, представленной на рисунке 5.3.

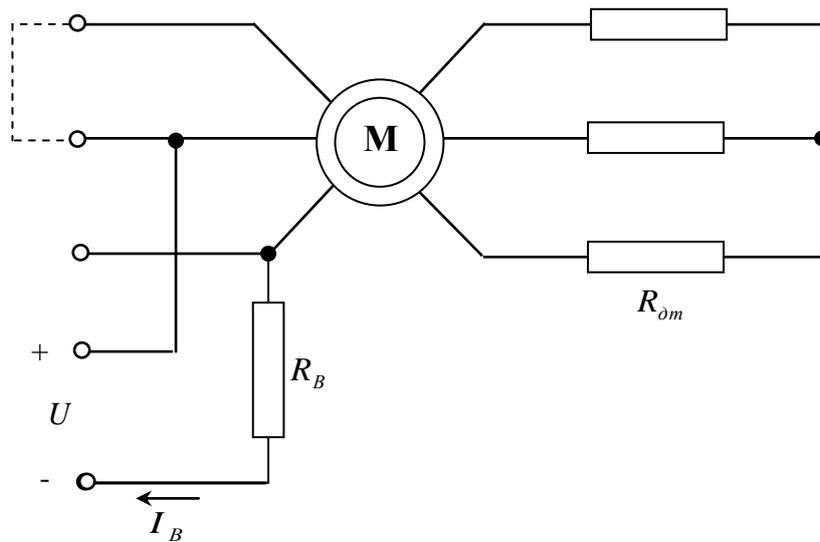


Рисунок 5.3

Характеристики динамического торможения рассматриваемого двигателя, хотя и имеют вид, аналогичный виду характеристик двигательного режима, в корне от них отличаются и по своим параметрам (M_K, s_K), и по физическим процессам, протекающим в двигателе.

В двигательном режиме асинхронный двигатель получает питание от сети трехфазного переменного тока, то есть, от источника напряжения. При динамическом же торможении по статору двигателя протекает постоянный ток, практически не зависящий от нагрузки. Поэтому режим динамического торможения асинхронного двигателя с независимым возбуждением является частным

случае питания его от источника тока. Этот факт определяет различные подходы к рассмотрению процессов, протекающих в двигателе в этих режимах.

Вследствие непостоянства магнитного потока двигателя в режиме динамического торможения (при малой скорости уменьшается размагничивающее действие тока ротора, и магнитный поток увеличивается), расчет его механических характеристик следует вести с учетом насыщения магнитной цепи. Универсальная кривая намагничивания в относительных единицах представлена на рисунке 5.4 (кривая 1), там же построена в относительных единицах кривая $X_{\mu^*} = f(I_{\mu^*})$ (кривая 2), соответствующая данной кривой намагничивания.

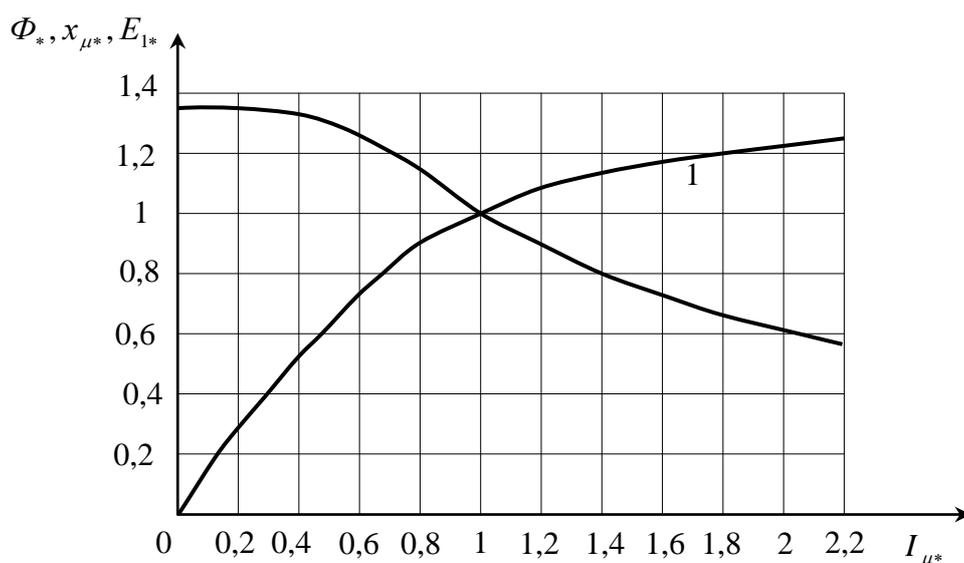


Рисунок 5.4

Здесь Φ_* - магнитный поток двигателя;

X_{μ^*} - индуктивное, изменяющееся по величине сопротивление цепи намагничивания двигателя, определяемое э.д.с. статора E_{1*} и током намагничивания I_{μ^*} :

$$X_{\mu^*} = \frac{E_{1*}}{I_{\mu^*}} = \frac{x_{\mu}}{x_{\mu H}} = \frac{E_1 \cdot I_{\mu H}}{I_{\mu} \cdot E_{1H}}, \quad (5.14)$$

где $I_{\mu H} = I_0$ - номинальный ток намагничивания, равный току холостого хода статора двигателя;

$E_{1H} \approx 0,95 \cdot U_{1H}$ - э.д.с. фазы статора при номинальном напряжении и токе холостого хода I_0 ;

$$x_{\mu H} = \frac{E_{1H}}{I_{\mu H}} \approx \frac{0,95 U_{1H}}{I_0} \quad - \text{сопротивление намагничивающего контура}$$

ненасыщенного двигателя.

Расчетные формулы имеют вид [1]:

$$\left(\frac{R'_2}{s_a}\right)^2 = \frac{I_\mu^2 \cdot (x_\mu + x'_2)^2 - I_{\text{экв}}^2 \cdot x'_2{}^2}{I_{\text{экв}}^2 - I_\mu^2}, \quad (5.15)$$

$$I'_2 = \frac{I_{\text{экв}} \cdot x_\mu}{\sqrt{\left(\frac{R'_2}{s_a}\right)^2 + (x_\mu + x'_2)^2}}, \quad (5.16)$$

$$M = \frac{3I_2'^2}{\omega_0} \cdot \left(\frac{R'_2}{s_a}\right), \quad (5.17)$$

где $s_a = \frac{\omega}{\omega_0}$ - абсолютное скольжение для режима динамического торможения;

$I_{\text{экв}}$ - трехфазный ток статора двигателя, эквивалентный по создаваемой м.д.с. постоянному току, протекающему по обмоткам статора в режиме динамического торможения.

Для определения эквивалентного тока необходимо задаться величиной постоянного тока возбуждения I_B , определяющего значение максимального момента двигателя, развиваемого при динамическом торможении $M_{\text{max } \text{от}}$.

Из литературы [3] известно, что для создания максимального момента $M_{\text{max } \text{от}} = (2 \div 2,2)M_H$, необходимо по статору двигателя пропускать постоянный ток возбуждения $I_B \approx 3I_0$.

Тогда эквивалентный ток определится из выражения:

$$I_{\text{экв}} = K_{\text{сх}} \cdot I_B, \quad (5.18)$$

где $K_{\text{сх}}$ - коэффициент схемы включения фаз статора на постоянное напряжение, величина которого зависит от схемы подачи тока к фазам статора двигателя [3].

Порядок расчета механической характеристики динамического торможения следующий.

1. Задаемся значениями тока намагничивания I_μ в пределах от $I_{\text{экв}}$ до $I_{\mu \text{пред}} \cdot I_{\mu \text{пред}}$ - это ток намагничивания при больших скольжениях, когда двигатель при данном токе возбуждения I_B или эквивалентном токе $I_{\text{экв}}$ выходит из насыщения.

$$I_{\mu\text{пред}} = I_{\text{экв}} \cdot \frac{x_2'}{x_{\mu H} + x_2'} \quad (5.19)$$

Затем заданные значения тока намагничивания I_{μ} переводим в относительные единицы I_{μ^*} и с помощью кривой 2 на рис. 5.4 определяем сопротивления намагничивающего контура x_{μ^*} , соответствующие этим токам. Сопротивления x_{μ^*} в относительных единицах переводим в абсолютные единицы, пользуясь выражением:

$$x_{\mu} = x_{\mu^*} \cdot x_{\mu H} = x_{\mu^*} \cdot \frac{0,95 \cdot U_{1H}}{I_0} \quad (5.20)$$

2. Подставляя значения $I_{\text{экв}}$, I_{μ} , x_{μ} в выражение (5.15), определяем значения параметров $\left(\frac{R_2'}{s_a}\right)^2$, $\left(\frac{R_2'}{s_a}\right)$ и s_a .

3. По выражению (5.16) определяем токи I_2' , соответствующие задаваемым токам намагничивания I_{μ} .

4. Подставляя рассчитанные задания I_2' и $\left(\frac{R_2'}{s_a}\right)$ в выражение (5.17), определяем значения моментов M , соответствующих рассчитанным значениям s_a .

5. Скорость двигателя определяем по формуле:

$$\omega = \omega_0 s_a = \omega_0 \cdot R_2' / \left(\frac{R_2'}{s_a}\right) \quad (5.21)$$

Для удобства результаты расчета следует свести в таблицу 5.4.

Таблица 5.4

I_{μ}	I_{μ^*}	x_{μ^*}	x_{μ}	$(x_{\mu} + x_2')^2$	$\left(\frac{R_2'}{s_a}\right)^2$	$\left(\frac{R_2'}{s_a}\right)$	s_a	$I_{\text{экв}} \cdot x_{\mu}$	I_2'	M	ω
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Учитывая то, что для решения задачи необходима только рабочая часть характеристики, расчеты и построение можно ограничить диапазоном $0 \leq M \leq M_{\text{макс } \partial m}$ и $0 \leq \omega \leq \omega_{KO}$. Здесь ω_{KO} - скорость при максимальном моменте $M_{\text{крит}}$ (критическая точка). Для получения достаточной точности расчета и по-

строения механической характеристики значения тока намагничивания I_μ следует задавать с шагом $0,2I_0$.

Характеристика динамического торможения асинхронного двигателя с замкнутой накоротко роторной обмоткой представлена на рисунке 5.5 (кривая 1).

Далее определяем скорость спуска груза $\omega = \omega_{1c}$ при моменте $M = M_H$. Эту скорость можно определить либо графически по кривой 1 рисунка 5.5, либо из таблицы 5.4 методом аппроксимации. Теми же методами определяем параметры критической точки $M_{к\delta m}$ и $\omega_{к\delta o}$.

Для обеспечения скорости спуска груза $\omega = \omega_{2c}$ необходимо при динамическом торможении замкнуть роторную обмотку на сопротивления $R_{\delta m}$.

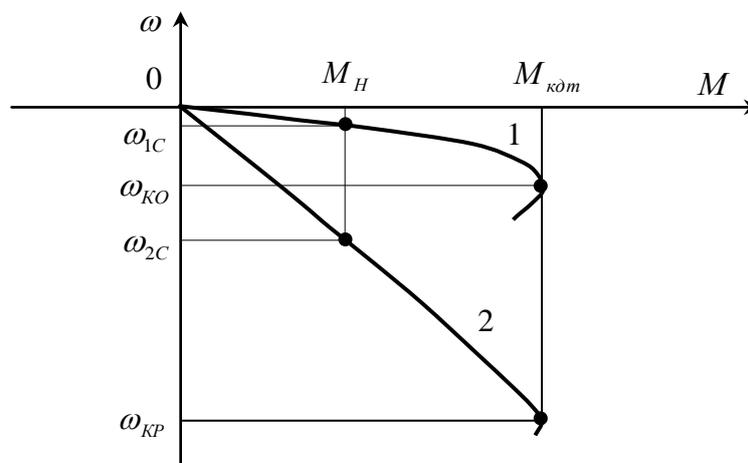


Рисунок 5.5

В связи с тем, что при введении в цепь роторной обмотки добавочного сопротивления, как и в двигательном режиме, изменяется критическое скольжение s_K при постоянном критическом моменте $M_{к\delta m}$, величина этого сопротивления определится из выражения [1]:

$$s_{2c} = s_{1c} \cdot \frac{R_2 + R_{\delta m}}{R_2}, \quad R_{\delta m} = R_2 \cdot \frac{s_{2c} - s_{1c}}{s_{1c}} \quad (5.22)$$

где $s_{1c} = \frac{\omega_{1c}}{\omega_0}$ - скольжение при скорости ω_{1c} на характеристике динамического торможения при накоротко замкнутой обмотке ротора;

$$s_{2c} = \frac{\omega_{2c}}{\omega_0} - \text{скольжение при скорости } \omega_{2c} \text{ на характеристике динамического торможения при замыкании обмотки ротора на сопротивления } R_{\delta m}.$$

Рабочую часть характеристики построим по четырем точкам. Первая точка – точка идеального холостого хода ($s_1 = 0$; $\omega_1 = 0$; $M_1 = 0$). Вторая точка – точка номинального режима ($s_2 = s_{2C}$; $\omega_2 = \omega_{2C}$; $M_2 = M_H$). Координаты третьей (критической) точки определим из выражений:

$$s_3 = s_{KP} = s_{K0} \cdot \frac{R_2 + R_{\text{ом}}}{R_2} = \frac{\omega_{K0}}{\omega_0} \cdot \frac{R_2 + R_{\text{ом}}}{R_2}; \quad \omega_3 = \omega_0 s_3; \quad M_3 = M_K = M_{\text{макс ом}} \quad (5.23)$$

где s_{K0} , ω_{K0} – скольжение и скорость в критической точке характеристики 1 на рисунке 5.5.

Четвертую точку возьмем промежуточной между второй и третьей. Ее координаты определим следующим образом. Из таблицы 5.4 возьмем значение момента $M_4 \approx \frac{M_H + M_{\text{кдм}}}{2}$, и соответствующие ему значения скольжения s_{40} и скорости ω_{40} на характеристике динамического торможения при замкнутой накоротко роторной обмотке. Затем определим значения скольжения и скорости на реостатной характеристике динамического торможения, соответствующие значению момента M_4 :

$$s_4 = s_{40} \cdot \frac{R_2 + R_{\text{ом}}}{R_2}; \quad \omega_4 = \omega_0 \cdot s_4 = \omega_{40} \cdot \frac{R_2 + R_{\text{ом}}}{R_2} \quad (5.24)$$

Все значения скольжений и скоростей берутся со знаком «минус».

Реостатная характеристика динамического торможения построена на рисунке 5.5 (кривая 2).

5.2.3 Расчет и построение реостатных механических характеристик

Схема включения двигателя представлена на рисунке 5.1. В соответствии с заданием на реостатных характеристиках должны быть обеспечены скорость подъема груза $\omega = \omega_{1П}$ и скорость спуска груза $\omega = \omega_{1С}$. При этом спуск груза при скорости $\omega = \omega_{1С}$, определенной в разделе 5.2.2, будет происходить в режиме торможения противовключением (ТПВ).

Для расчета и построения реостатных характеристик воспользуемся рассчитанной в разделе 5.2.1 естественной характеристикой и таблицей 5.3.

Из литературы [3] известно, что при любых одинаковых моментах для реостатной и естественной характеристик асинхронного двигателя скольжение на реостатной характеристике s_p во столько раз больше, чем на естественной s_e , во сколько раз полное активное сопротивление цепи ротора больше активного сопротивления роторной обмотки двигателя:

$$\frac{s_p}{s_e} = \frac{R_2 + R_p}{R_2} \quad (5.25)$$

Подставив в (5.25) номинальное скольжение $s_{не}$ и скольжение на реостатных характеристиках при номинальном моменте, обеспечивающие скорости $\omega_{1п}$ и $\omega_{1с}$, определим значения добавочных сопротивлений, необходимых для получения требуемых реостатных характеристик:

$$s_{p1п} = \frac{\omega_0 - \omega_{1п}}{\omega_0}; \quad s_{p1с} = \frac{\omega_0 + \omega_{1с}}{\omega_0}; \quad (5.26)$$

$$R_{p1п} = R_2 \cdot \left(\frac{s_{p1п}}{s_{не}} - 1 \right); \quad R_{p1с} = R_2 \cdot \left(\frac{s_{p1с}}{s_{не}} - 1 \right) \quad (5.27)$$

Теперь можно построить рабочие части искомых реостатных характеристик по четырем точкам. Первая точка, общая для обеих характеристик, - точка идеального холостого хода ($s_1 = 0$; $\omega_1 = \omega_0$; $M_1 = 0$). Вторые точки – точки номинального режима:

- для характеристики подъема груза - $s_2 = s_{p1п}$; $\omega_2 = \omega_{1п}$; $M_2 = M_H$;
- для характеристики спуска груза - $s'_2 = s_{p1с}$; $\omega'_2 = \omega_{1с}$; $M'_2 = M_H$.

Координаты третьих точек (критических) определим из выражений:

$$s_3 = s_{кр} = s_{ке} \cdot \frac{R_2 + R_p}{R_2}; \quad \omega_3 = \omega_{кр} = \omega_0(1 - s_3); \quad M_3 = M_{кр} = M_{ке} \quad (5.28)$$

Для характеристики подъема груза подставляем $R_p = R_{p1п}$, а для характеристики спуска груза - $R_p = R_{p1с}$.

Четвертые точки возьмем промежуточными между вторыми и третьими. Для этого из таблицы 5.3 возьмем значения момента $M_4 \approx \frac{M_H + M_K}{2}$ и соответствующие ему значения скольжения $s_{4е}$ и скорости $\omega_{4е}$. Затем, подставляя в выражение (5.25) значения $s_{4е}$ и сопротивлений $R_{p1п}$ и $R_{p1с}$, получим значения скольжений $s_{4п}$ для характеристики подъема и характеристики спуска груза.

Затем по аналогии с (5.28) определим скорости двигателя при моменте M_4 на обеих характеристиках.

Реостатные характеристики вместе с естественной приведены на рисунке 5.6.

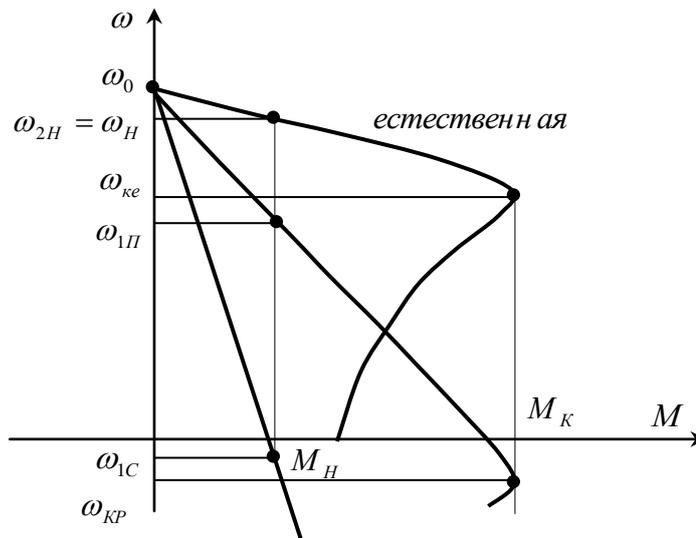


Рисунок 5.6

Для уменьшения площади рисунка реостатную характеристику для спуска груза можно построить по двум первым точкам, продолжив прямую, проходящую через них, до значения момента $M \approx (1,2 \div 1,3)M_H$.

5.2.4 Расчет и построение механической характеристики двигателя при повышенной частоте питающего напряжения

Для получения повышенной скорости подъема груза $\omega = \omega_{3П}$ необходимо в соответствующей пропорции увеличить частоту питающего напряжения, причем, если нагрузка постоянная или уменьшающаяся при повышении скорости, допустимо не повышать вместе с частотой напряжение. В этом случае скорость идеального холостого хода увеличится, так как

$$\omega_{of} = 2\pi f_1 / p_n, \quad (5.29)$$

где p_n - число пар полюсов;

$f_1 = k_f \cdot f_{1н} = 50k_f$ - повышенная частота питающего напряжения;

k_f - задаваемый таблицей 5.2 коэффициент увеличения скорости идеального холостого хода (частоты).

При этом в связи с увеличением индуктивных сопротивлений уменьшится магнитный поток двигателя. В соответствии с выражением (5.3) критический момент также уменьшится из-за увеличения скорости ω_0 и индуктивного сопротивления короткого замыкания

$$x_{kf} = x_{кн} \frac{f_1}{f_{1н}}, \quad (5.30)$$

где $x_{кн}$ - индуктивное сопротивление короткого замыкания двигателя при частоте 50 гц.

Критическое скольжение при этом в соответствии с выражением (5.4) тоже уменьшится.

Таким образом, подставляя в выражение (5.3) и (5.4) значения ω_{0f} и x_{kf} , определяются значения критического момента M_{kf} и критического скольжения s_{kf} . По соотношению номинального момента двигателя и момента M_{kf} определяются нагрузочные возможности двигателя на рассчитываемой характеристике.

Если $M_H \leq 0,8M_{kf}$, двигатель при повышении частоты питающего напряжения может работать с номинальной нагрузкой при скольжении s_{Hf} и скорости $\omega_{3П}$, определенным по выражениям:

$$s_{Hf} = s_{kf} (\lambda_f - \sqrt{\lambda_f^2 - 1}), \quad (5.31)$$

$$\omega_{3П} = \omega_{0f} (1 - s_{Hf}), \quad (5.32)$$

где $\lambda_f = \frac{M_{kf}}{M_H}$.

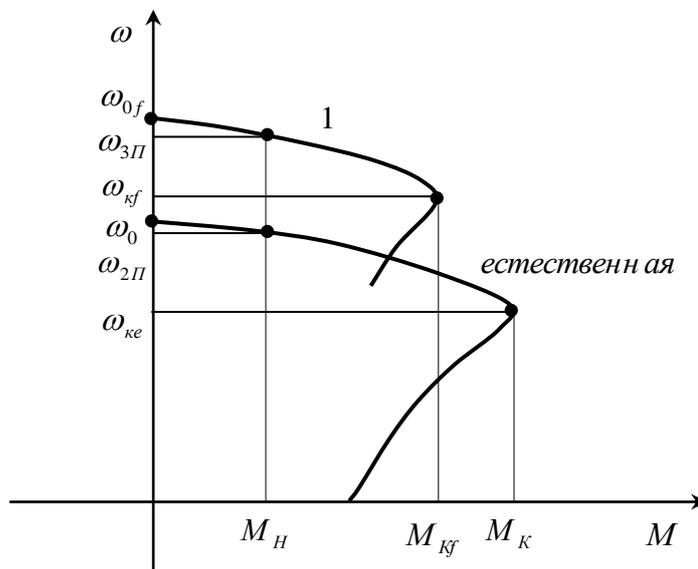


Рисунок 5.7

Если $M_H > 0,8M_{Kf}$, нагрузка двигателя при повышении частоты должна быть соответствующим образом уменьшена. Скольжение и скорость при этом определяются теми же выражениями (5.31) и (5.32).

Для выполнения задания достаточно построить рабочий участок характеристики в диапазоне $0 \leq s_f \leq s_{Kf}$. Строится он по 4 ÷ 5 точкам, включая точки $s_f = 0$, $s_f = s_{Kf}$, $s_f = s_{Hf}$ (если она есть) и одну – две промежуточные. Расчет моментов двигателя в промежуточных точках проводится по выражению (5.12), подстановкой в него значений M_{Kf} , s_{Kf} и s_f .

Характеристика двигателя при повышенной частоте питающего напряжения вместе с естественной приведена на рисунке 5.7 (кривая 1).

Таким образом, рассчитаны и построены все механические характеристики, необходимые для обеспечения скоростей подъема и спуска электропривода грузоподъемного механизма. Эти характеристики представлены на рисунке 5.8.

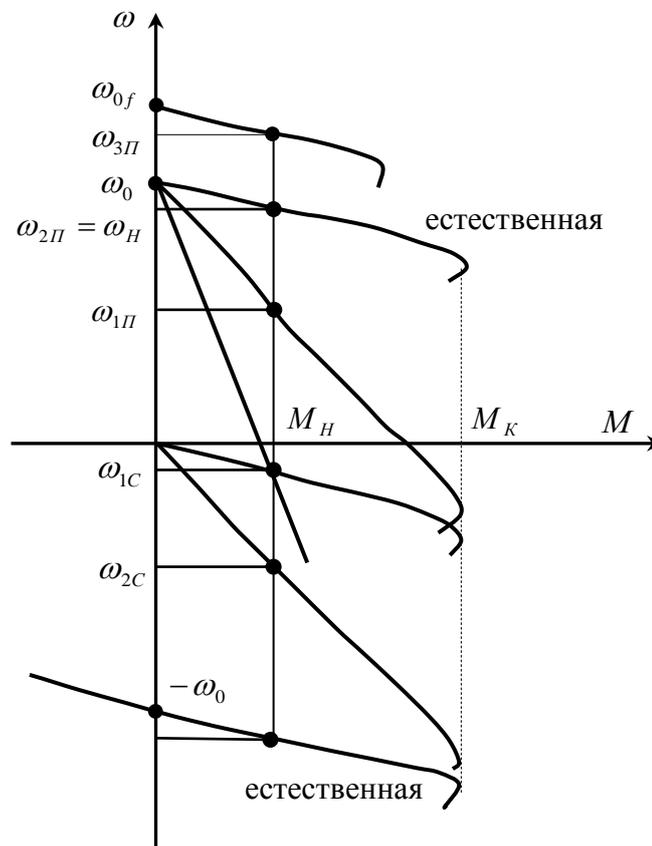


Рисунок 5.8

Список рекомендуемой литературы

1. Ключев В.И. Теория электропривода. – М.: Энергоатомиздат, 1998. 704 с.
2. Чиликин М.Г., Соколов М.М., Терехов В.М., Шинянский А.В. Основы автоматизированного электропривода. – М.: Энергия, 1974. 568 с.
3. Вешеневский С.Н. Характеристики двигателей в электроприводе.- М.: Энергия, 1977. 432 с.