

Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
Санкт-Петербургский государственный горный институт им. Г.В. Плеханова
(технический университет)

В.В. АЛЕКСЕЕВ, П.В. АЛЕКСЕЕВ, А.Е. КОЗЯРУК

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРИВОД

Примеры расчета электрического привода

Санкт-Петербург

2008

УДК 62.83.52(075.83)

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРИВОД: Примеры расчета электрического привода/ Санкт-Петербургский горный ин-т. *В.В. Алексеев, П.В. Алексеев, А.Е. Козярук.* СПб, 2008. 35 с.

На конкретных примерах показаны расчеты электрического привода. Дан математический аппарат для решения представленных задач.

Пособие предназначено для студентов специальности 140604 «Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов», а также студентов специальности 150402 «Горные машины и оборудование», а также может быть использовано аспирантами и инженерами, при проектировании и эксплуатации электроприводов.

Научный редактор проф. Э.А.Загривный

Рецензенты: кафедра систем автоматического управления С-Петербургского технического университета; д.т.н. В.Д.Кулик (СПГТУРП)

© Санкт-Петербургский горный
институт имени Г.В.Плеханова, 2008

ВВЕДЕНИЕ

Практикум по дисциплине «Электрический привод» призван облегчить изучение студентами элементов расчета и проектирования электропривода, и обеспечить контроль текущей успеваемости студентов.

Первые два раздела включают задачи по механике и выбору мощности электроприводов. Понимание решения приведенных задач должно быть полным, так как без этого невозможно решение задач последующих разделов.

Задачи разделов 3 и 4 посвящены вопросам оценки и расчета механических и регулировочных характеристик электроприводов с двигателями постоянного и переменного тока. Они базируются на материале учебного курса "Электрические машины».

В разделе 5 рассматриваются типовые задачи по статическим и динамическим характеристикам регулируемых электроприводов с релейным управлением посредством регулируемых сопротивлений в цепях электродвигателей или регулирующих напряжение и ток двигателей электромашинных и статических полупроводниковых преобразователей. Они базируются на материале учебных курсов "Электрические машины» и «Силовая электроника».

1. МЕХАНИКА ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Задача 1. Лебедка для подъема груза (рис.1) включает в себя барабан с канатом Б, крюк К, груз Г, редуктор Р и двигатель Д.

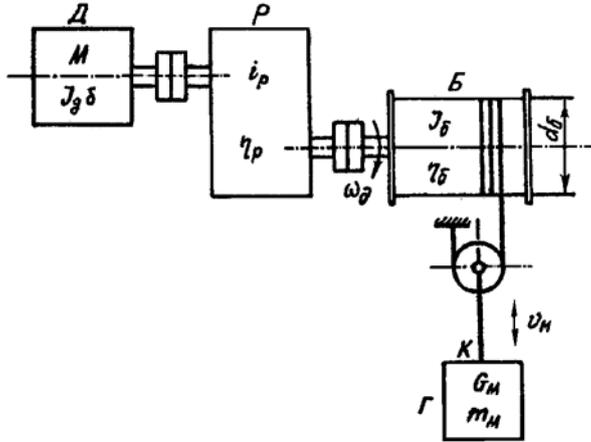


Рис.1

Данные механизма: $G_{\Gamma} = 4000 \text{ Н}$; $G_{\text{К}} = 1000 \text{ Н}$; $m_{\Gamma} = 400 \text{ кг}$; $m_{\text{К}} = 100 \text{ кг}$; скорость подъема или опускания $v = 1 \text{ м/с}$; КПД редуктора $\eta = 0,5$. Двигатель характеризуется установившейся скоростью $\omega = 100 \text{ рад/с}$ и моментом инерции $J_{\text{д}} \delta = 0,15 \text{ кгм}^2$.

1. Найти приведенный момент нагрузки на валу двигателя $M_{\text{с0}\uparrow}$ при подъеме крюка без груза, приведенный момент инерции от крюка, суммарный момент инерции $J_{\Sigma} = J_{\text{д}} \delta + J_{\text{пр}}$ и динамический момент $M_{\text{дин0}\uparrow}$ привода при равномерном нарастании скорости при пуске за $t_{\text{п}} = 1 \text{ с}$.

2. Определить $M_{\text{с}\uparrow}$ и $M_{\text{дин}\uparrow}$ при подъеме груза.

3. Определить $M_{\text{с}\downarrow}$ и $M_{\text{дин}\downarrow}$ при опускании груза.

Задача 2. Механизм вращательного действия (рис.2) включает в себя рабочий механизм Мех, редуктор Р и двигатель привода Д. Данные механизма: $M_{\text{м0}} = 20 \text{ Нм}$; $M_{\text{М}} = 200 \text{ Нм}$; $J_{\text{М}} = 2 \text{ кгм}^2$; $i_{\text{р}} = 2,0$; $\eta_{\text{р}} = 0,5$. Двигатель характеризуется установившейся скоростью $\omega = 100 \text{ рад/с}$ и моментом инерции $J_{\text{д}} \delta = 0,5 \text{ кгм}^2$.

1. Найти приведенный к валу двигателя статический момент

$M_{с0}$ при холостом ходе, момент инерции $J_{пр0}$, суммарный момент инерции $J_{\Sigma 0}$ и динамический момент привода $M_{дин0}$ при пуске с постоянным ускорением $a = d\omega / dt = 50 \text{ с}^{-2}$.

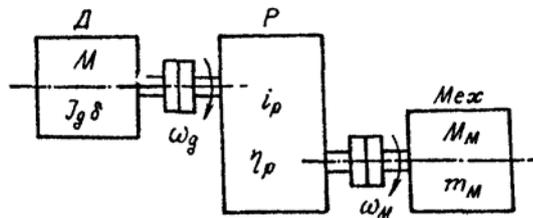


Рис.2

2. Определить $M_{сн}$ при работе с нагрузкой в двигательном режиме, $J_{пр}$, J_{Σ} и $M_{дин}$ при $a = d\omega / dt = 50 \text{ с}^{-2}$.

3. Определить $M_{ст}$ при торможении привода, $J_{пр}$, J_{Σ} и $M_{дин}$ при торможении с ускорением $a = d\omega / dt = 50 \text{ с}^{-2}$.

Задача 3. Определить мощность двигателя привода лебедки (см. рис.1) в установившемся режиме работы. Данные привода: $G_k = 5000 \text{ Н}$; $G_r = 15000 \text{ Н}$; $v_d = v_r = 0.5 \text{ м/с}$; $\eta_n = 0,8$; $\eta_0 = 0,5$.

Найти мощность двигателя: 1) при подъеме груза; 2) при подъеме крюка без груза; 3) при опускании груза; 4) при опускании крюка без груза.

Задача 4. Определить оптимальное передаточное число редуктора механизма вращательного действия (см. рис.2) при работе на холостом ходу ($M_M = 0$).

Данные привода: $J_M = 4 \text{ кгм}^2$; $J_1 = J_d + J_{муфты} = J_d \delta$, $\delta = 1,25$.

Найти $i_{опт}$, $J_{пр}$: 1) для привода с двигателем $J_d = 0,8 \text{ кгм}^2$; 2) для $J_d = 0,2 \text{ кгм}^2$, 3) для $J_d = 0,05 \text{ кгм}^2$.

Задача 5. Определить время пуска и торможения привода механизма вращательного движения при постоянных значениях статического момента и момента двигателя во время пуска или торможения. Данные привода: $J_d \delta = 1 \text{ кгм}^2$; $J_M = 8 \text{ кгм}^2$, $i_p = 2,0$; $\omega_{уст} = 100 \text{ рад/с}$; $M_c = 500 \text{ Нм}$ (момент активный).

Найти время пуска и торможения привода для $\omega_{нач} = 0$ и $\omega_{уст} = 100 \text{ рад/с}$: 1) при $M_d = 750 \text{ Нм}$; 2) $M_d = 1000 \text{ Нм}$; 3) $M_d = 1500 \text{ Нм}$.

Задача 6. Определить требуемый момент двигателя при пуске и торможении привода лебедки (см. рис.1) с постоянным ускорением $a = d\omega / dt = 100 \text{ с}^{-2}$. Данные привода: $M_{сгр} = 500 \text{ Нм}$; $M_{с0}$, $= 50 \text{ Н.м}$; $\omega_{уст} = 100 \text{ рад/с}$; $t_{п} = t_{т} = 1 \text{ с}$, $J_{д} \delta = 2 \text{ кгм}^2$; $J_{пр} = 3 \text{ кгм}^2$.

Найти $M_{п(т)} = M_{с} + M_{дин}$ при: 1) подъеме груза ($M_{п(т)\uparrow}$); 2) подъеме крюка без груза ($M_{п0(т0)\uparrow}$); 3) остановке привода при опускании груза ($M_{п(т)\downarrow}$); 4) остановке привода при опускании крюка без груза ($M_{п0(т0)\downarrow}$).

2. НАГРУЗОЧНЫЕ ДИАГРАММЫ И ВЫБОР МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРИВодОВ

Задача 7. Определить по заданной тахограмме и нагрузочной диаграмме рабочей машины нагрузочную диаграмму привода с предварительно выбранным двигателем. Двигатель привода имеет номинальные данные: $P_{н} = 50 \text{ кВт}$; $\omega_{н} = 100 \text{ рад/с}$; $J_{д} \delta = 5 \text{ кгм}^2$, $M_{н} = P_{н}/\omega_{н} = 500 \text{ Нм}$. Момент рабочей машины $M_{м} = 1250 \text{ Нм}$; установившаяся скорость $\omega_{м} = 20 \text{ рад/с}$; $\eta = 0,5$.

Тахограмма рабочей машины приведена на рис.3. Время пуска $t_{п} = 2 \text{ с}$, время, торможения $t_{т}$, $= 2 \text{ с}$, время работы $t_{р} = 26 \text{ с}$ и время паузы $t_{0} = 20 \text{ с}$.

Рассчитать и построить нагрузочную диаграмму привода при $J_{м} = 62,5 \text{ кгм}^2$; $J_{м} = 125 \text{ кгм}^2$; $J_{м} = 250 \text{ кгм}^2$.

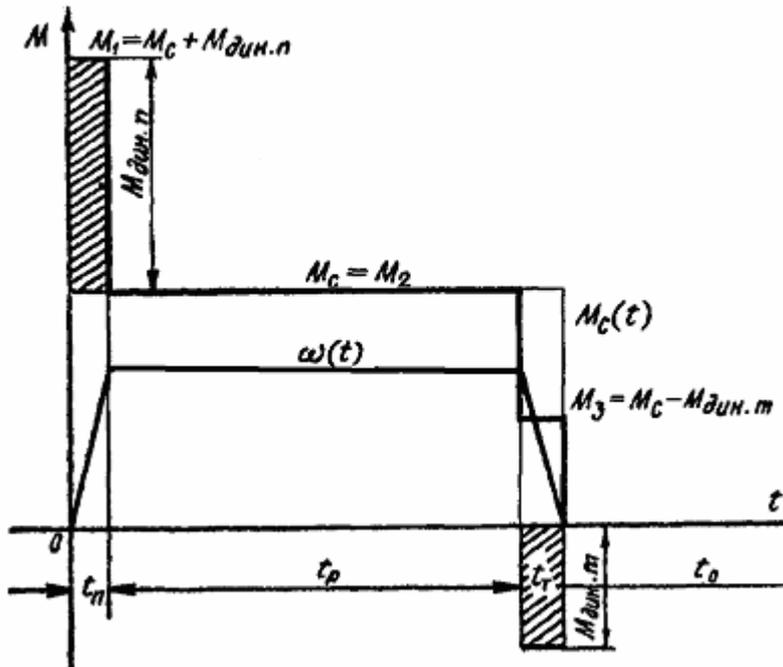


Рис.3

Задача 8. Привод с двигателем ($P_n = 15$ кВт, $\omega_n = 100$ рад/с, $M_n = 150$ Нм) работает по тахограмме, приведенной на рис.3. Коэффициента ухудшения теплоотдачи в периоды пуска и торможения $\gamma = 0,75$; коэффициент, учитывающий ухудшение теплообмена при остановке $\beta = 0,5$. Моменты $M_n = 200$ Нм; $M_p = M_c = 150$ Нм; $M_t = -141$ Нм.

Найти эквивалентный момент двигателя: 1) при $t_n = 5$ с, $t_p = 40$ с, $t_t = 5$ с, $t_0 = 155$ с, $\gamma = 0,75$, $\beta = 0,5$; 2) при $\gamma = 1$, $\beta = 0,5$, $t_0 = 155$ с.

Задача 9. Привод с двигателем постоянного тока работает в повторно-кратковременном режиме. Цикл работы включает работу в течение 2,5 мин с моментом на валу $M = 300$ Нм и скоростью 73,3 рад/с и паузы в течение $t_0 = 5$ мин.

Выбрать для этих условий асинхронный электродвигатель.

Задача 10. Определить коэффициент увеличения мощности двигателя длительного режима при работе в кратковременном

режиме. Постоянная времени нагрева двигателя $T_n = 60$ мин.

Найти коэффициент термической перегрузки и коэффициент механической перегрузки двигателя при кратковременном режиме при $t_{кр} = 30$ мин и $t_{кр} = 60$ мин.

Задача 11. Привод повторно-кратковременного режима работа выполнен с двигателем, имеющим следующие данные $P_n = 100$ кВт, $\omega_n = 100$ рад/с, $M_n = 1000$ Нм при $P_{вст} = 60\%$.

Найти мощность $P_{нх}$ и номинальное значение момента $M_{нх}$ при работе привода с $PВ = 40\%$; с $PВ = 25\%$; с $PВ = 15\%$.

Задача 12. Проверить по методу эквивалентного момента двигатель привода повторно-кратковременного режима работы по нагрузочной диаграмме, приведенной на рис.4. Данные привода:

$P_{вст} = 25\%$; $P_n = 2$ кВт, $\omega_n = 100$ рад/с, $M_n = 20$ Нм; $t_1 = 5$ с; $M_1 = 25$ Нм; $t_1 = 10$ с; $M_1 = 17$ Нм; $t_0 = 35$ с; $t_{ц} = 50$ с.

Найти; 1) коэффициент продолжительности включения двигателя $PВ_x$, 2) эквивалентное значение момента двигателя при $PВ_x$, 3) эквивалентное значение момента двигателя при $PВ = 25\%$.

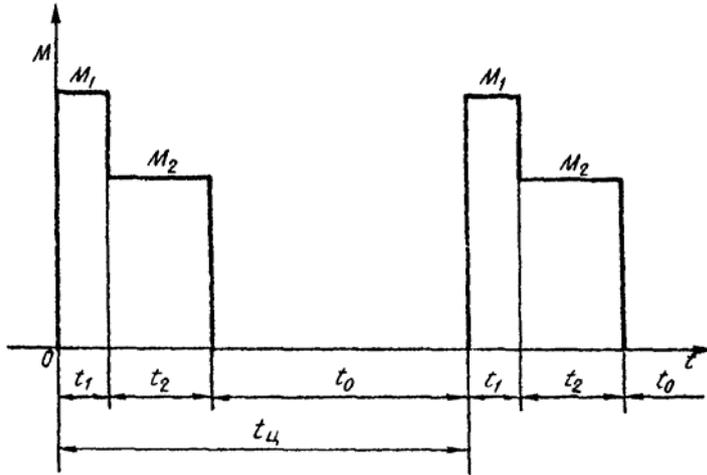


Рис.4

3. ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Задача 13. Определить параметры двигателя постоянного тока по паспортным данным двигателя. Данные двигателя: $P_n = 40$ кВт, $\omega_n = 100$ рад/с, $M_n = 400$ Нм; $U_n = 220$ В; $I_n = 200$ А. Возбуждение двигателя независимое (параллельное). Естественная характеристика двигателя показана на рис.5.

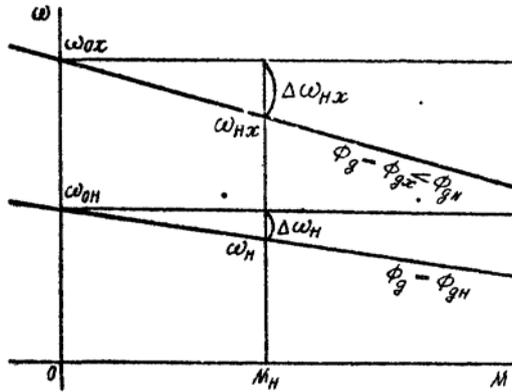


Рис.5

1. Найти магнитный поток двигателя $\Phi_{дн}$ и скорость идеального холостого ω_0 .

2. Определить относительное падение скорости двигателя при номинальной нагрузке Δv_n и номинальное сопротивление двигателя R_n .

3. Определить относительное и омическое сопротивления цепи якоря двигателя r_a и ρ .

Задача 14. Определить номинальные значения скорости вращения и момента двигателя постоянного тока, если известны его напряжение, ток, скорость холостого хода и сопротивление цепи якоря. Данные двигателя: $U_n = 220$ В; $I_n = 200$ А; $\omega_0 = 109$ рад/с; $r_a = 0,1$ Ом.

Найти: 1) магнитный поток двигателя $\Phi_{дн}$; 2) номинальный электромагнитный момент двигателя M_n . 3) номинальную скорость вращения двигателя ω_n .

Задача 15. Определить ЭДС генератора, питающего цепь якоря двигателя по схеме Г-Д (рис.6) для получения требуемой скорости двигателя при заданной нагрузке.

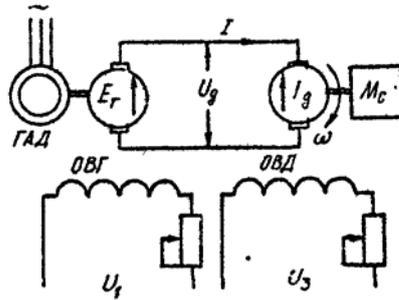


Рис.6

Данные машин систем Г-Д: генератор - $P_{нг} = 8,8$ кВт; $U_{нг} = 220$ В; $I_n = 40$ А; $r_{ат} = 1$ Ом; двигатель $P_{нд} = 8,8$ кВт; $\omega_n = 90$ рад/с; $U_{нд} = 220$ В; $I_n = 40$ А; $r_{ад} = 1$ Ом.

Схема и характеристики привода Г-Д приведены на рис.6, 7.

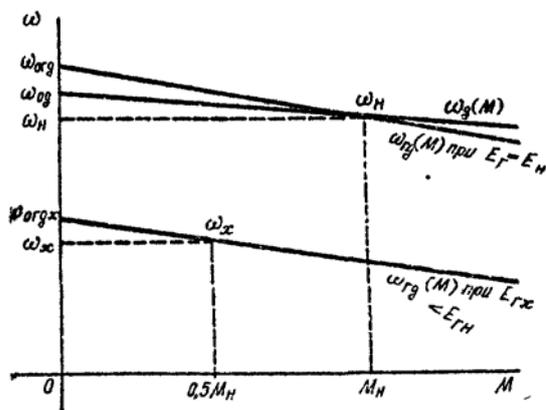


Рис.7

1. Определить номинальное значение ЭДС генератора $E_{гн}$. и скорость холостого хода двигателя привода Г-Д.
2. Найти напряжение генератора для получения номинальной скорости двигателя = 90 рад/с.
3. Найти напряжение генератора для получения скорости

привода $\omega_{гдх} = 0,5\omega_n$ при $M_{сх} = 0,5M_n$.

Задача 16. Определить поток двигателя в системе Г-Д для получения повышенной скорости привода при уменьшении нагрузки.

Данные машин и системы Г-Д приведены в задаче 15, характеристики на рис.5.

1. Найти магнитный поток двигателя и относительное сопротивление цепи якорей системы Г-Д $s\Phi_n$; R_n ; $\rho_{гд}$.

2. Найти уменьшение относительного магнитного потока двигателя ϕ_x для заданной скорости привода $v_x = 1,4$ при $\mu_x = 0,5$.

Задача 17. Для привода с двигателем постоянного тока параллельного возбуждения с реостатно-релейным управлением (рис.8) рассчитать величины ступеней пусковых сопротивлений. Номинальные значения паспортных величин двигателя: $P_n = 9$ кВт; $U_n = 220$ В; $I_n = 44$ А; $\omega_n = 94$ рад/с; $\eta = 94$ %. Максимальный пиковый момент двигателя при пуске $\mu_1 = 2$. Момент переключения ступеней пускового сопротивления $\mu_2 = 1$. Статический момент нагрузки $\mu_c = 0,8$.

1. Определить скорость идеального холостого хода двигателя

ω_0 и построить в долевыми величинами естественную механическую характеристику двигателя $v = f(\mu)$.

2. Построить характеристики реостатного пуска и графически определить число ступеней пуска m . Проверить найденное значение числа ступеней пуска по аналитической формуле.

3. Определить номинальное сопротивление двигателя R_n , сопротивление якоря $r_{ад}$ и найти значения ступеней пускового сопротивления двигателя r_1, r_2, \dots, r_m .

Задача 18. Для привода постоянного тока с реостатно-релейным управлением (см. рис.8) рассчитать ступень сопротивления для торможения противовключения и для динамического торможения. Характеристики приведены на рис.9. Номинальные значения параметров двигателя: $P_n = 9$ кВт; $U_n = 220$ В; $I_n = 44$ А; $r_{ад} = 0,156$ Ом; $\omega_0 = 100$ рад/с; $\omega_n = 94$ рад/с. Двигатель переключается в тормозной режим противовключения или

динамического торможения при $\mu_c = 1$ и $v = v_n$. Максимальный тормозной момент при переключении $\mu_T = 1$. Пусковые характеристики рассчитаны для максимального значения момента при пуске с $\mu_1 = 2$.

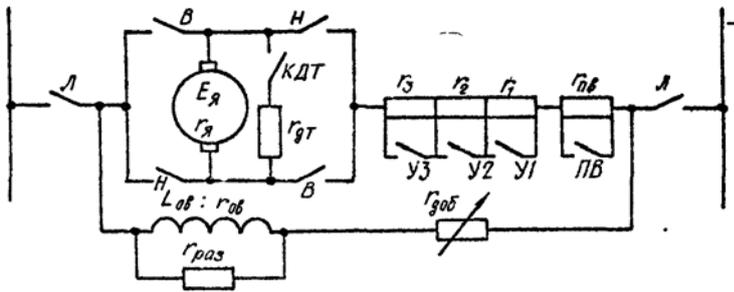


Рис.8

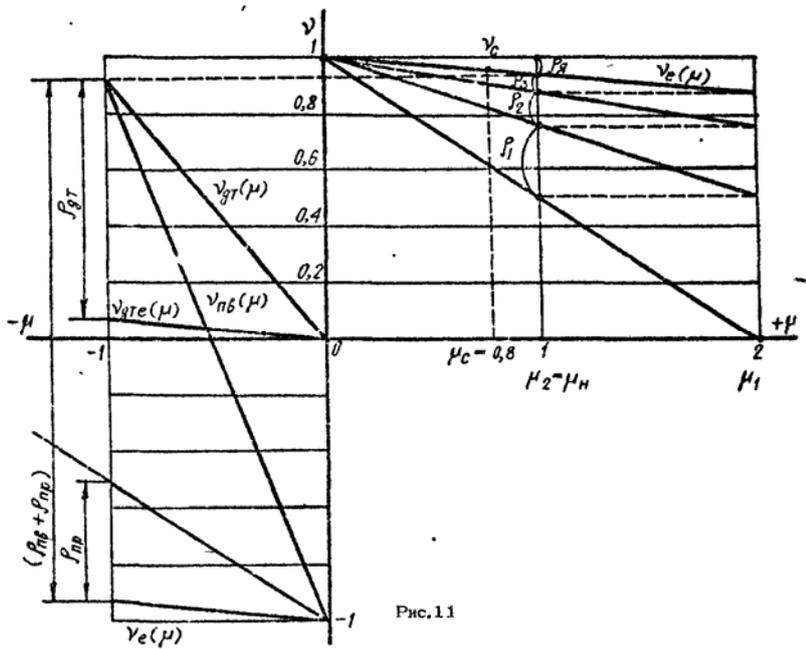


Рис.11

Рис.9

1. Определить номинальное сопротивление двигателя R_n , рассчитать относительное сопротивление цепи якоря $\rho = \rho_a$ и графически определить полное (без разбивки на ступени) сопротивление $\rho_{(1-m)}$.

2. Построить графики характеристик двигателя $v=f(\mu)$ при переключении в режим торможения противовключением или режим динамического торможения.

3. Определить по характеристикам тормозного противовключения и динамического торможения величины добавочных сопротивлений ступени противовключения и динамического торможения $\rho_{пв}$ и $\rho_{дт}$.

4. ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Задача 19. Для привода переменного тока с трехфазным асинхронным двигателем, пускаемым через реактор по схеме (рис.10), определить величину добавочного индуктивного сопротивления реактора x_p . Номинальное значение величин асинхронного двигателя: $P_n = 26$ кВт; $U_n = 380$ В; $I_n = 44$ А; $\cos\varphi_n = 0,9$; $\omega_n = 100$ рад/с; $k_i = I_n/I_n = 5$; $k_{мк} = M_k/M_n = 2$. В режиме короткого замыкания $\cos\varphi_k = 0,6$. Характеристики пуска показаны на рис.11.

1. Найти полное сопротивление короткозамкнутого асинхронного двигателя z_k и его активную и реактивную составляющие $z_k = r_k + jx_k$.

2. Для заданного снижения пускового момента при реакторном пуске $\mu_{пх} = 0,5\mu_{нс}$ определить снижение пускового тока $i_{пх}$; и полное сопротивление короткозамкнутого двигателя при реакторном пуске x_p .

3. Определить сопротивление реактора x_k для заданных условий пуска привода с асинхронным короткозамкнутым двигателем.

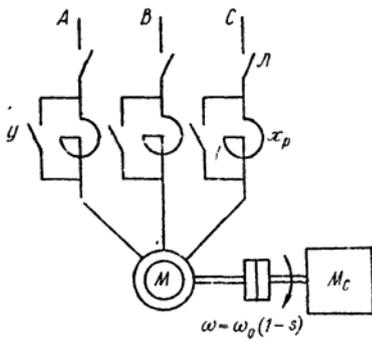


Рис.10

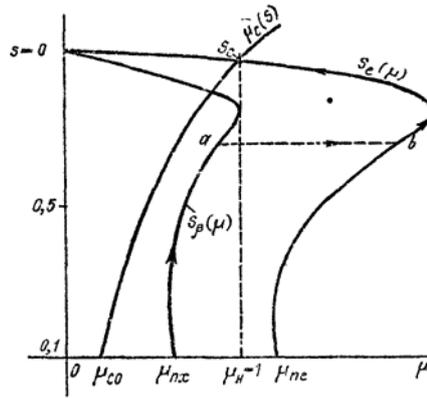


Рис.11

Задача 20. Найти параметры и построить механическую характеристику привода с асинхронным двигателем с фазным ротором. Привод имеет асинхронный двигатель с фазным ротором со следующими паспортными значениями номинальных величин: $P_n = 28,5$ кВт; $\omega_0 = 104,6$ рад/с; $\omega_n = 99,4$ рад/с; $s_n = 0,05$; $U_{1n} = 380$ В; $I_{1n} = 50$ А; $k_{мк} = M_k/M_n = 2,2$; $r_1 = 0$; $E_{2n} = 173$ В; $I_{2n} = 100$ А.

1. Определить номинальный момент двигателя M_n ; критическое скольжение s_k при $M_k = 2,2M_n$ и пусковой момент M_n при $s = 1$.

2. Построить естественную механическую характеристику для двигательного режима и оценить отношение пускового момента к номинальному моменту M_n/M_n двигателя без пускового сопротивления в роторе.

3. Определить номинальное сопротивление асинхронного двигателя R_{2n} , коэффициент трансформации k_t , сопротивление ротора r_2 , приведенное сопротивление ротора r'_2 .

Задача 21. Для привода с асинхронным двигателем с фазным ротором и реостатно-релейным управлением (рис.12) построить характеристики реостатного пуска и рассчитать ступени пускового реостата (рис.13). Номинальные данные асинхронного двигателя привода: $P_n = 22$ кВт; $\omega_0 = 104,5$ рад/с; $s_n = 0,0625$; $U_{1n} = 380$ В; $I_{1n} = 50$ А; $\cos\phi_n = 0,85$; $E_{2n} = 173$ В; $I_{2n} = 100$ А.

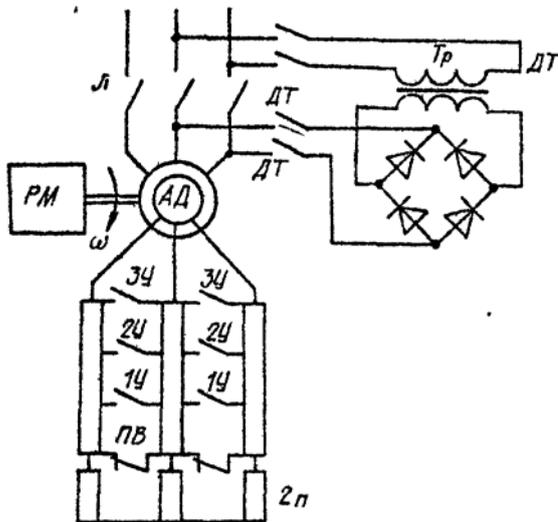


Рис.12

Двигатель пускается в три ступени ($m = 3$) при максимальном моменте при пуске $\mu_1 = 2$.

1. Определить при $r_{1s} \approx 0$: сопротивление ротора r_2 при $s=s_n$, полное сопротивление пускового реостата r_{1-m} при $s_n = 1$ и коэффициент отношения моментов двигателя при реостатном пуске $\lambda = \mu_1/\mu_2$.

2. Рассчитать приближенным аналитическим методом ступени пускового реостата R_1, R_2, R_3 при $m=3, \lambda=2$.

3. Построить график линейных пусковых характеристик асинхронного привода при найденных значениях моментов переключения $\mu_1 = M_1^*$, $\mu_2 = M_2^*$ и относительных сопротивлений ступеней пускового реостата ρ_1, ρ_2, ρ_3 .

Задача 22. Для схемы асинхронного привода с реостатным управлением по рис.12 определить величину сопротивления ступени тормозного противовключения при максимальном значении тормозного момента $\mu_{т1} = 2$ и $s_t \approx 2$ ($2 - 0,0625 = 1,9375$). Номинальные данные двигателя привода приведены в задаче 21.

1. Построить график механических характеристик с

пусковыми характеристиками для $m = 3$, $\mu_1 = 2$, $\mu_2 = 2$ и характеристики противовключения с $\mu_{T1} = 2$ и $s_{T1} = 1,9375$.

2. По графику пусковых характеристик $m = 3$, $\mu_1 = 2$, $\mu_2 = 1$ и характеристике противовключения $\mu_{T1} = 2$ и $s_T = 1,9375$ определить сопротивление противовключения $r_{пв}$ (см. рис.13).

3. Определить полное добавочное сопротивление в цепи ротора асинхронного двигателя при переключении в режим противовключения с $\mu_{T1} = 2$ и $s_T = 2$, $r_{1+m} + r_{пв} = r_{\Sigma пв}$.

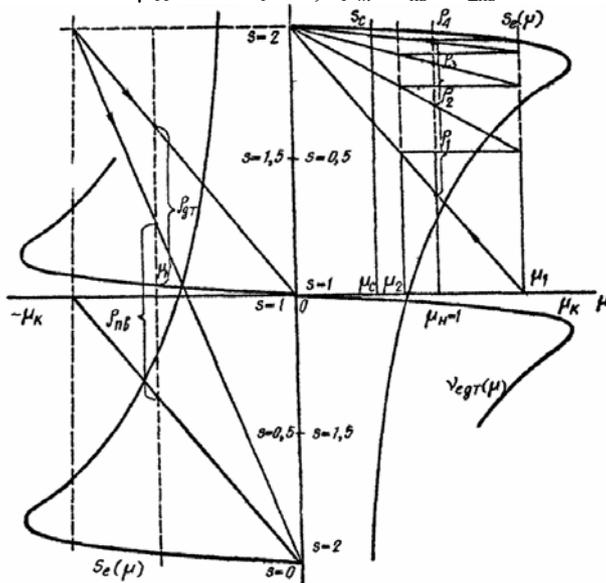


Рис.13

Задача 23. Для схемы асинхронного привода с реостатным управлением (см. рис.12) определить величину напряжения постоянного тока, подаваемого взамен переменного в статор двигателя, и величину сопротивления динамического торможения $r_{дт1}$ для $\mu_{дт1} = 1$ при $v_{дт1} = 0,9375$ (см. рис.13). Соединение обмоток статора - звезда. Номинальные данные двигателя привода приведены в задаче 21. Для расчета напряжения питания двигателя постоянным током принять омическое сопротивление фазы статора двигателя $r_{1\phi} = 0,24$ Ом.

Задача 24. Какую скорость будет развивать асинхронный двигатель $P_n = 22,5$ кВт; $U_n = 380$ В; $\omega_1 = 157,1$ рад/с; $\omega_n = 153,4$ рад/с; $r_1 = 0,2$ Ом; $r_2' = 0,24$ Ом; $x_1 = 0,39$ Ом; $x_2' = 0,46$ Ом при нагрузке номинальным моментом, если в цепь ротора включено сопротивление, приведенное значение которого равно $r_{2д}' = 1,2$ Ом, а в цепь статора – индуктивное сопротивление $x_{1д} = 0,75$ Ом.

5. СТАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕГУЛИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Задача 25. Выполнить статический расчет электропривода по системе ТП-Д с жесткой отрицательной обратной связью по скорости ω рис. 14.

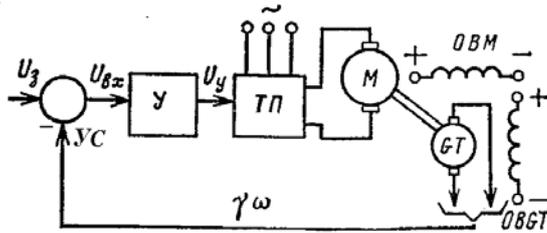


Рис.14. Схема электропривода

Исходные данные для расчета. Тиристорный преобразователь ТПЕ-200 с номинальным выходным напряжением $U_{ТПн} = 305$ В. Внутреннее сопротивление с учетом сопротивлений трансформатора и уравнивающих реакторов $R_{ТП} = 0,097$ Ом.

Двигатель ДПВ-52 мощностью 60 кВт, $U_n = 305$ В; $I_n = 220$ А; $\omega_n = 120$ рад/с; $R_d = 0,044$ Ом, магнитный поток $k\Phi = 2,28$ Вб.

Сопротивление якорной цепи системы ТП-Д $R_{яц} = 0,141$ Ом. Номинальное напряжение тахогенератора $U_{ГТ} = 12$ В.

Определить коэффициент усиления усилителя K_y из условия заданной статической точности замкнутой системы $\delta\omega = 5\%$ в диапазоне регулирования скорости $D = \omega_{max}/\omega_{min} = 10$.

Задача 26. Определить переходные процессы и построить характеристики изменения скорости и момента двигателя при реостатно-релейном пуске привода с асинхронным двигателем при

постоянном моменте нагрузки $\mu_1 = \text{const}$. Асинхронный двигатель • имеет следующие паспортные данные: $P_n = 10$ кВт; $\omega_0 = 105$ рад/с; $s_n = 0,0625$; $J_d \delta = 0,25$ кгм². Приведенные параметры механизма: $M_c = 0,5M_n$, $J_{пр} = 0,25$ кгм². Привод пускается в три ступени при $\mu_1 = 2$ и $\mu_2 = 1$. Механические характеристики пуска приведены на рис.14, 15.

1. Найти величину электромеханической постоянной времени привода на естественной характеристике $T_{ме}$, и на всех ступенях пуска $T_{м1}$, $T_{м2}$, $T_{м3}$.

2. Записать уравнения изменения скорости и момента двигателя на всех ступенях пуска и построить динамические характеристики изменения скорости и момента двигателя при пуске $M=f(t)$ и $\omega=f(t)$.

3. Определить время пуска на каждой реостатной ступени и полное время пуска привода $t_{п1}$, $t_{п2}$, $t_{п3}$.

Задача 27. Построить характеристики переходного процесса при пуске двигателя постоянного тока независимого возбуждения вхолостую с дальнейшим приложением номинального момента нагрузки (рис.15). Пуск производится подачей номинального напряжения на якорь двигателя с включенной обмоткой возбуждения. Для ограничения пускового тока в цепь якоря двигателя при пуске введено добавочное сопротивление, ограничивающее максимальное значение тока при пуске $I_n = 2,5I_n$.

Технические данные двигателя: мощность $P_n = 6,5$ кВт, номинальная скорость вращения $\omega_n = 104,5$ рад/с, номинальное напряжение $U_n = 220$ В; номинальный ток якоря $I_n = 33,5$ А; сопротивление цепи якоря $r_a = 0,77$ Ом; индуктивность якоря $L_a = 0,01$ Гн; момент инерции привода $J_\Sigma = 1,0$ кгм².

Задача 28. Определить, какой характер будут иметь переходные процессы в электроприводе ТП-Д с разомкнутой и замкнутой по скорости системами регулирования.

Данные приводного двигателя постоянного тока: номинальное напряжение якоря $U_n = 220$ В; сопротивление якорной цепи $r_a = 0,6$ Ом; индуктивность обмотки якоря $L_a = 0,02$ Гн, машинная постоянная $c\Phi_n = 1,9$ Вб; номинальная скорость $\omega_n = 104,5$ рад/с. Момент инерции привода $J_\Sigma = 1,0$ кгм².

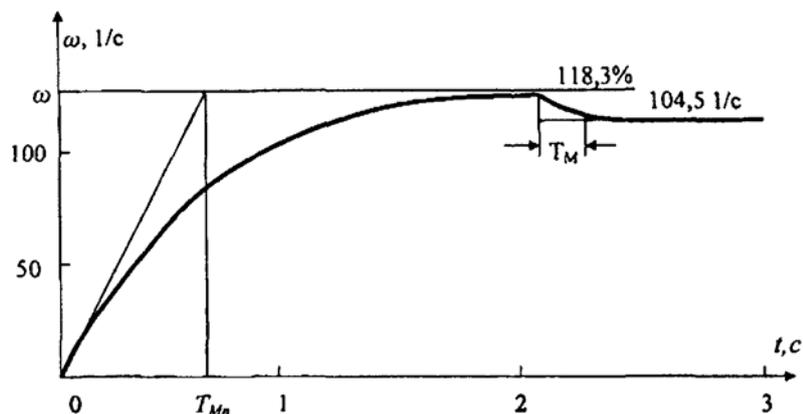


Рис.15

Напряжение управления U_y изменяется от 0 до 10В; напряжение тиристорного преобразователя $U_{тп}$ от 0 до 300 В пропорционально напряжению $U_{y.тп}$, подаваемому на систему управления ТП и изменяющемуся от 0 до 30 В; коэффициент обратной связи по скорости $k_c = 0,09$ Вс.

Задача 28. Определить, какой характер будут иметь переходные процессы в электроприводе ТП-Д с разомкнутой и замкнутой по скорости системами регулирования.

Данные приводного двигателя постоянного тока: номинальное напряжение якоря $U_n = 220$ В; сопротивление якорной цепи $r_a = 0,6$ Ом; индуктивность обмотки якоря $L_a = 0,02$ Гн, машинная постоянная $c\Phi_n = 1,9$ Вб; номинальная скорость $\omega_n = 104,5$ рад/с. Момент инерции привода $J_\Sigma = 1,0$ кгм². Напряжение управления U_y изменяется от 0 до 10В; напряжение тиристорного преобразователя $U_{тп}$ от 0 до 300 В пропорционально напряжению $U_{y.тп}$, подаваемому на систему управления ТП и изменяющемуся от 0 до 30 В; коэффициент обратной связи по скорости $k_c = 0,09$ Вс.

РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ

1. Механика электроприводов

1. Приведенный момент инерции тела (крюка), движущегося поступательно (подъем)

$$J_{\text{пр}0} = \frac{m_{\text{к}} v^2}{\omega_{\text{д}}^2}.$$

Суммарный приведенный момент инерции механизма (лебедки) при подъеме крюка

$$J_{\Sigma} = J_{\text{д}} \delta + J_{\text{пр}} = J_{\text{д}} \delta + J_{\text{пр}0},$$

где δ – коэффициент, учитывающий момент инерции редуктора.

Статический момент, приведенный к валу двигателя, необходимый при подъеме крюка

$$M_{\text{с}0\uparrow} = \frac{G_{\text{к}} v}{\omega_{\text{д}} \eta},$$

с постоянным ускорением

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{\omega}{t_{\text{п}}}.$$

Динамический момент, необходимый для подъема крюка без груза

$$M_{\text{д}0\uparrow} = J_{\Sigma} \frac{d\omega}{dt}.$$

Статический момент, приведенный к валу двигателя, необходимый при подъеме крюка с грузом

$$M_{\text{с}\uparrow} = \frac{(G_{\text{к}} + G_{\text{Г}}) v}{\omega_{\text{д}} \eta_{\text{р}}},$$

Динамический момент, необходимый для подъема крюка с

грузом

$$M_{\text{д}\uparrow} = J_{\Sigma} \frac{d\omega}{dt},$$

где $J_{\Sigma} = J_{\text{д}} \delta + J_{\text{пр}} + J_{\text{пр}0}$; $J_{\text{пр}} = \frac{(m_{\text{к}} + m_{\text{г}})v^2}{\omega_{\text{д}}^2}$.

Статический момент, приведенный к валу двигателя, необходимый при спуске крюка с грузом

$$M_{\text{с}\downarrow} = \frac{(G_{\text{к}} + G_{\text{г}})v \eta_{\text{п}}}{\omega_{\text{д}}},$$

Динамический момент при спуске крюка с грузом

$$M_{\text{д}\downarrow} = J_{\Sigma} \frac{d\omega}{dt},$$

2. Статический момент $M_{\text{с}0}$ при пуске механизма вращательного действия при холостом ходе

$$M_{\text{с}0} = \frac{M_{\text{м}0}}{i\eta_{\text{п}}}.$$

Динамический момент привода $M_{\text{дин}0}$ при пуске с постоянным ускорением a и холостом ходе

$$M_{\text{дин}0} = J_{\Sigma} \frac{d\omega}{dt},$$

где $J_{\Sigma} = J_{\text{д}} \delta + \frac{J_{\text{м}0}}{i_{\text{п}}^2}$ - суммарный момент инерции; $J_{\text{м}0}=0$.

Приведенный статический момент $M_{\text{сн}}$ при работе с нагрузкой, имеющей реактивный характер

$$M_{\text{сн}} = M_{\text{ст}} = \frac{M_{\text{м}}}{i_{\text{п}}\eta_{\text{п}}},$$

Динамический момент привода $M_{\text{дин}}$ при пуске с постоянным ускорением a

$$M_{\text{дин}} = J_{\Sigma} \frac{d\omega}{dt},$$

где $J_{\Sigma} = J_{\text{д}}\delta + \frac{J_{\text{м}}}{i_{\text{п}}^2}$ - суммарный момент инерции; $\frac{J_{\text{м}}}{i_{\text{п}}^2}$ - приведенный к валу двигателя момент инерции механизма.

Динамический момент привода $M_{\text{дин.т}}$ при торможении с постоянным ускорением a

$$M_{\text{дин.т}} = -J_{\Sigma} \frac{d\omega}{dt},$$

где $J_{\Sigma} = J_{\text{д}}\delta + \frac{J_{\text{м}}}{i_{\text{п}}^2}$ - суммарный момент инерции; $\frac{J_{\text{м}}}{i_{\text{п}}^2}$ - приведенный к валу двигателя момент инерции механизма.

3. Мощность двигателя привода лебедки при подъеме груза

$$M_{\text{г}\uparrow} = \frac{(G_{\text{к}} + G_{\text{г}})v}{\eta_{\text{н}}}.$$

Мощность двигателя при подъеме крюка

$$M_{\text{к}\uparrow} = \frac{G_{\text{к}}v}{\eta_0}.$$

Мощность двигателя привода при опускании груза

$$M_{\text{г}\downarrow} = (G_{\text{к}} + G_{\text{г}})v\eta_{\text{н}}.$$

Мощность двигателя привода при опускании груза

$$M_{\text{к}\downarrow} = G_{\text{к}}v\eta_0.$$

4. Оптимальное передаточное число редуктора механизма вращательного действия при $M_{\text{м}} = 0$

$$i_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{J_M}{J_d \delta}},$$

Приведенный момент инерции механизма

$$J_{\text{пр}} = \frac{J_M}{i_{\text{опт}}^2}.$$

5. Суммарный приведенный момент инерции механизма

$$J_{\Sigma} = J_d \delta + \frac{J_M}{i_p^2}.$$

Время пуска привода механизма вращательного движения

$$t_{\text{п}} = J_{\Sigma} \frac{\omega_{\text{уст}} - \omega_{\text{нач}}}{M_d - M_c}.$$

Время торможения привода механизма вращательного движения

$$t_{\text{п}} = J_{\Sigma} \frac{\omega_{\text{уст}} - \omega_{\text{нач}}}{M_d + M_c}.$$

6. Требуемый момент двигателя при пуске привода лебедки на подъем

$$M_{\text{п}\uparrow} = M_c + M_{\text{дин.}}$$

Требуемый момент двигателя при торможении (остановке при спуске) привода лебедки

$$M_{\text{т}\downarrow} = -M_c - M_{\text{дин.}}$$

Динамический момент в переходных режимах

$$M_{\text{дин}} = J_{\Sigma} a = J_{\Sigma} \frac{d\omega}{dt},$$

где $J_{\Sigma} = J_d \delta + J_{\text{пр}}$ - суммарный приведенный момент инерции механизма.

2. Нагрузочные диаграммы и выбор мощности двигателей приводов

7. Приведенный момент двигателя при установившемся движении привода $M_2 = M_c$ с учетом формулы приведения моментов к валу двигателя:

$$M_c = M_2 = \frac{M_M}{i \cdot \eta},$$

где $i = \frac{\omega_H}{\omega_M}$ - общее передаточное число редуктора.

2). Момент двигателя при пуске из основного уравнения движения электропривода:

$$M_1 = M_c + M_{дин} = M_c + J \frac{d\omega}{dt}.$$

Ускорение согласно тахограмме:

$$d\omega/dt = \omega / t_p.$$

Суммарный момент инерции привода равен:

$$J = J_{дв} + \frac{J_M}{i^2}.$$

Где J_M/i^2 - приведенный момент инерции механизма.

3). Момент двигателя при торможении равен:

$$M_3 = M_c - J \frac{d\omega}{dt}.$$

Замедление согласно тахограмме:

$$d\omega/dt = \omega / t_r.$$

4). Эквивалентный момент двигателя:

$$M_3 = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + \dots + M_N^2 t_N}{t_1 + t_2 \dots + t_N}} = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + M_3^2 t_3}{(t_1 + t_3) \cdot \gamma + t_2 + \beta \cdot t_0}}$$

где $\gamma = 0,75$ - коэффициент, учитывающий ухудшение теплообмена при пуске и торможении; $\beta = 0,5$ - коэффициент, учитывающий ухудшение теплообмена при остановке.

5). Эквивалентная мощность:

$$P_3 = M_3 \omega.$$

6). Сопоставляется величина эквивалентной мощности с паспортным значением мощности выбранного двигателя:

$$P_3 \leq P_n.$$

7). Двигатель проверяется по допустимой перегрузке:

$$\frac{M_{\text{макс}}}{M_n} = \frac{M_1}{M_3} \leq \lambda,$$

где λ – коэффициент перегрузки по моменту ($\lambda = 2.2$).

8. При использовании двигателя с принудительной вентиляцией эквивалентный момент двигателя:

$$M_3 = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + \dots + M_N^2 t_N}{t_1 + t_2 \dots + t_N}} = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + M_3^2 t_3}{t_1 + t_3 + t_2 + t_0}}$$

9. Относительная продолжительность включения

$$\text{ПВ} = \frac{t_p}{t_p + t_0} \cdot 100.$$

Мощность на валу двигателя

$$P = M \omega.$$

В общем случае требуется привести реальное значение ПВ к стандартному $\text{ПВ}_{\text{ст}}$

$$P_{ст} = P \sqrt{\frac{ПВ}{ПВ_{ст}}}.$$

Выбранный двигатель должен иметь мощность P_n

$$P_n \geq P_{ст}.$$

10. При $t_p/T_n \geq 0,35$ определяется отношение мощности нагрузки двигателя в кратковременном режиме P_k к номинальной мощности P_n в продолжительном режиме (коэффициент механической перегрузки)

$$P_M = \frac{P_k}{P_n} = \sqrt{\frac{1 + \alpha}{1 - e^{-t_p/T_n}}} - \alpha,$$

где $\alpha = K/V_n$ – отношение постоянных потерь K к номинальным потерям в двигателе V_n .

При пренебрежении постоянными потерями зависимость между коэффициентами механической p_m и термической перегрузки p_T

$$p_m = \sqrt{p_T}.$$

11. Мощность и номинальное значение момента при работе привода с $ПВ_x = X\%$ при паспортном значении $ПВ_{ст}$

$$M_{нх} = M_{н60} \sqrt{\frac{ПВ_{ст}}{ПВ_x}},$$

$$P_{нх} = M_{нх} \omega_n.$$

12. По известной нагрузочной диаграмме рис.4 фактический коэффициент продолжительности включения

$$ПВ_x = \frac{t_p}{t_p + t_0} \cdot 100 = \frac{t_1 + t_{21}}{t_1 + t_2 + t_0} \cdot 100.$$

Эквивалентное значение момента при $ПВ_x$

$$M_{\text{ПВ}x} = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2}{t_1 + t_2}}.$$

Если фактическая ПВ_x соответствует стандартной, то двигатель выбирают из условия $M_n > M_{\text{ПВ}x}$.

Если фактическая ПВ_x не соответствует стандартной, эквивалентный момент приводят к стандартному

$$M_{\text{ст}} = M_{\text{ПВ}x} \sqrt{\frac{\text{ПВ}_x}{\text{ПВ}_{\text{ст}}}}.$$

3. ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА

13. Магнитный поток по паспортным данным двигателя

$$c\Phi_n = \frac{U_n - r_a I_n}{\omega_n},$$

где r_a – сопротивления якорной цепи для двигателей средней и большой мощности приближенно равно

$$r_a = 0,5 \left(1 - \frac{P_n}{U_n I_n}\right) \frac{U_n}{I_n} \quad \text{или} \quad r_a = \Delta v_n \frac{U_n}{I_n} = \Delta v_n R_n,$$

$\Delta v_n = \frac{\omega_0 - \omega_n}{\omega_0}$ – относительное номинальное падение скорости; $R_n =$

U_n / I_n – номинальное сопротивление двигателя.

Скорость холостого хода

$$\omega_0 = \frac{U_n}{c\Phi_n}$$

Относительное значение сопротивления якоря

$$\rho = \frac{r_a}{R_n}.$$

14. Магнитный поток двигателя постоянного тока

$$c\Phi_n = \frac{U_n}{\omega_0}.$$

Номинальная скорость двигателя

$$\omega_n = \omega_0 - \frac{r_a I_n}{c\Phi_n}.$$

Номинальный момент двигателя

$$M_n = c\Phi_n I_n.$$

15. Магнитный поток двигателя по паспортным данным

$$c\Phi_n = \frac{U_n - I_n r_{ад}}{\omega_n}.$$

Падение скорости двигателя в системе Г-Д при номинальной нагрузке двигателя

$$\Delta \omega_{ГДн} = \frac{I_n r_a}{c\Phi_n},$$

где $r_a = -r_{ад} + r_{ат}$ сопротивление якорной цепи Г-Д.

Скорость холостого хода системы Г-Д при U_n

$$\omega_{0ГД} = \Delta \omega_{ГДн} + \omega_n.$$

ЭДС генератора для получения в системе Г-Д номинальной скорости

$$E_{zn} = \omega_{0ГД} c\Phi_n.$$

ЭДС генератора для получения скорости привода $\omega_{ГДх} = 0,5\omega_n$ при $M_{сх} = 0,5M_n$.

$$E_{с0,5n} = \omega_{с0,5n} c\Phi_n = 0,5\omega_n + 0,5\Delta\omega_{нзд}$$

16. Система относительных параметров

$$\rho = \frac{r_a}{R_n}; \rho' = \frac{R_a}{R_n}, u = \frac{U}{U_n} \quad v = \frac{\omega}{\omega_0}, \mu = \frac{M}{M_n}, \varphi = \frac{\Phi}{\Phi_n};$$

($R_a = r_a + R_n$); при $U = U_n$ $u = 1$; $R_a = r_a$ при $R_n = 0$.

Уравнение механической характеристики в абсолютных единицах

$$\omega = \frac{U_n}{c\Phi} - \frac{M r_a}{c^2 \Phi^2}$$

В относительных единицах при $U = U_n$

$$v = \frac{1}{\Phi_x} - \frac{\rho\mu}{\Phi_x^2} \quad (v_x = 1,4; \mu = 0,5), \quad \text{откуда} \quad \text{уменьшение}$$

магнитного потока

$$\Phi_x = \frac{\Phi_n}{\Phi_n} = \frac{1 \pm \sqrt{1 - 4\rho v \mu}}{2v},$$

$$\text{где, } R_n = \frac{E_{гн}}{I_n}, \quad E_{гн} = 260B$$

17. Номинальное сопротивление двигателя

$$R_n = \frac{U_n}{I_n}.$$

Сопротивление якоря двигателя

$$r_a = 0,5(1 - \eta)R_n.$$

Скорость холостого хода

$$\omega_0 = \frac{U_n}{U_n - I_n r_a} \omega_n.$$

Номинальный магнитный поток

$$c\Phi_n = \frac{U_n - I_n r_a}{\omega_n}.$$

Коэффициент отношения моментов переключения μ_1/μ_2

определяется выражением $\lambda = m \sqrt{\frac{1}{\mu_1 \rho}}, \quad \lambda^m = \frac{1}{\mu_1 \rho};$ откуда при

заданном значении $\rho = \frac{r_a}{R_n}$ находят приближенно число ступеней

реостата m . Если m получается дробным, можно подкорректировать μ_1, μ_2 при соблюдении условий; $\mu_1 = 2 - 2,5; \mu_c = (0,8 - 0,9)\mu_2$, т.е.

$$\mu_2 = (1,1 - 1,2)\mu_c.$$

Сопротивления ступеней реостата

$$r_4 = r_a(\lambda - 1); \quad r_3 = r_4 \lambda; \quad r_2 = r_3 \lambda; \quad r_1 = r_2 \lambda.$$

Полное сопротивление реостата

$$r_{\text{полн}} = r_1 + r_2 + r_3 + r_4.$$

Сопротивление якорной цепи

$$r_{\text{общ}} = r_a + r_1 + r_2 + r_3 + r_4.$$

Проверка

$$\frac{r_{\text{полн}} \cdot 2I_n}{c\Phi_n} = \omega_0$$

18. Номинальное сопротивление двигателя

$$R_n = \frac{U_n}{I_n}.$$

Относительное сопротивление цепи якоря

$$\rho = \frac{r_a}{R_n}.$$

Полное сопротивление $\rho_{(1-m)}$.

$$r_{(m-1)} = \frac{c\Phi_n \omega_0}{\mu_1 I_n}$$

Величина добавочного сопротивления ступени динамического торможения

$$R_n = \frac{U_{\text{нач}}}{I_{\text{доп}}} - r_a,$$

где $U_{\text{нач}}$ – напряжение двигателя в начальный момент торможения ($U_{\text{нач}} \approx U_n$); $I_{\text{доп}}$ – максимально допустимый ток ($I_{\text{доп}} \approx I_n$).

Величина добавочного сопротивления ступени торможения противовключением

$$R_n = \frac{U_n + U_{\text{нач}}}{I_{\text{доп}}} - r_a.$$

4. ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

19. Пусковой ток асинхронного двигателя

$$I_n = k_i I_n$$

Полное сопротивление короткозамкнутого асинхронного двигателя z_k и его активная и реактивная составляющие $z_k = r_k + jx_k$.

$$z_k = \frac{U_H}{\sqrt{3}I_{II}}; r_k = z_k \cos \varphi_k; x_k = \sqrt{z_k^2 - r_k^2}$$

Допустимое снижение пускового тока a по заданному снижению пускового момента $\mu_{пх} = 0,5\mu_{пе}$

$$a = \sqrt{\frac{\mu_{пх}}{\mu_{пе}}}$$

Снижение пускового тока

$$I_{пх} = aI_{II}$$

Допустимое полное сопротивление статора короткозамкнутого двигателя при реакторном пуске x_p

$$z_{кзх} = \frac{U_H}{\sqrt{3}I_{пх}}$$

Увеличение x_k за счет добавочного реактора x_p при неизменном значении r_k

$$x_p = \sqrt{z_{кзх}^2 - r_k^2} - x_k$$

20. Номинальный момент двигателя

$$M_H = P_H / \omega_H$$

Критический момент $M_K = 2,2M_H$

Критическое скольжение s_K

$$s_K = s_H \left(k_{МК} + \sqrt{k_{МК}^2 - 1} \right)$$

Номинальное сопротивление асинхронного двигателя с фазным ротором R_{2H}

$$R_{2H} = \frac{E_{2H}}{\sqrt{3}I_{2H}}$$

Коэффициент трансформации от статора к ротору

$$k_T = \frac{E_{1H}}{E_{2H}} = \frac{0,95U_{1H}}{E_{2H}}$$

Приведенное сопротивление ротора

$$r_2' = r_2 k_T^2.$$

Пусковой момент без сопротивления в цепи ротора

$$M_{п} = 2 \cdot M_k / \left(s_k + \frac{1}{s_k} \right).$$

21. Расчет пусковых сопротивлений приближенным методом основан на прямолинейности механических характеристик и аналогичен расчету для двигателя постоянного тока при $\rho = s_H$.

Номинальное сопротивление асинхронного двигателя с фазным ротором R_{2H}

$$R_{2H} = \frac{E_{2H}}{\sqrt{3} I_{2H}}.$$

Активное сопротивление ротора

$$r_{2p} = \frac{E_{2H} s_H}{\sqrt{3} I_{2H}}.$$

Относительное значение сопротивления ротора

$$\rho = \frac{r_{2p}}{R_{2H}}.$$

При заданном числе ступеней m проверяем отношение моментов переключения $\lambda = \mu_1 / \mu_2$

$$\lambda = \sqrt[m]{\frac{1}{\mu_1 \rho}}.$$

Сопротивление пускового реостата

$$r_{np} = \frac{E_{2H} (1 - 2s_H)}{\sqrt{3} I_{2H} \mu_1}.$$

Сопротивления ступеней реостата

$$r_3 = r_{2p}(\lambda - 1); r_2 = r_3\lambda; r_1 = r_2\lambda.$$

Полное сопротивление реостата

$$r_{\text{полн}} = r_1 + r_2 + r_3 + r_4.$$

Значения относительных сопротивлений ступеней пускового реостата ρ_1, ρ_2, ρ_3

Относительные значения сопротивлений ступеней

$$\rho_i = \frac{r_i}{R_{2н}}.$$

Полное сопротивление роторной цепи

$$r_{\text{общ}} = r_{2p} + r_1 + r_2 + r_3 + r_4$$

22. Принимая условия задачи 21, при построении определяем сопротивление ступени противовключения ($\rho_{\text{пв}} = 1 - \rho_{\text{общ}}$)

$$r_{\text{пв}} = R_{2н} \rho_{\text{пв}}$$

Полное добавочное сопротивление в цепи ротора асинхронного двигателя ($r_{1+m} = r_{\text{полн}}$)

$$r_{\Sigma\text{пв}} = r_{1+m} + r_{\text{пв}}.$$

23. Учитывая условия задачи 22 (рис.13), принимаем, что для получения $\Phi = \text{const}$ ток двигателя равняется $I_{в\approx} = 0,5I_{н} = 25 \text{ A}$, $\rho_{\text{дт}} = \rho_{\text{пв}}$.

$$r_{\text{дт1}} = R_{2н} \rho_{\text{дт}}.$$

При соединении в звезду сопротивление цепи возбуждения

$$r_{\text{рдт}} = 2r_{1\phi}$$

Постоянный ток, обеспечивающий то же значение МДС, что и переменный

$$I_{\text{вY}} = 1,23 I_{\text{в}\approx}$$

Величина напряжения постоянного тока, подаваемого взамен переменного в статор двигателя

$$I_{вУ} = 1,23 I_{в\approx} 2r_{1ф}.$$

24. Номинальный момент двигателя

$$M_H = P_H / \omega_H.$$

Критический момент с добавочным индуктивным сопротивлением в цепи статора

$$M_K = \frac{m_1 \cdot U_1^2}{2 \cdot \omega_1 \cdot [(r_1 + \sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_{1д} + x'_2)^2}]}$$

Критическое скольжение с добавочными сопротивлениями в цепи статора и ротора

$$s_K = +(r'_2 + r'_{2д}) / \sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_{1д} + x'_2)^2}.$$

Скольжение s_H при номинальной нагрузке с дополнительными сопротивлениями из формулы Клосса

$$M = 2 \cdot M_K \left/ \left(\frac{s_K}{s_H} + \frac{s_H}{s_K} \right) \right.,$$

$$s_H^2 - \frac{2M_K s_K}{M_H} s_H + s_K^2 = 0.$$

Скорость при включенных сопротивлениях

$$\omega_{нх} = \omega_1 (1 - s_H).$$

5. СТАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕГУЛИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

25. Статическая точность разомкнутой системы при увеличении тока до номинального значения 220 А определяется падением скорости из уравнения электромеханической

характеристики:

$$\Delta\omega_p = \frac{I_n r_{яц}}{k\Phi}.$$

Скорость холостого хода $\omega_0 = \omega_n + \Delta\omega_p$

Для выполнения расчета необходимо определить коэффициенты передачи системы:

Коэффициент передачи ТП при линейной регулировочной характеристике и номинальном напряжении $U_{yn} = 10$ В:

$$K_{ТП} = \frac{\Delta U_{ТП}}{\Delta U_Y} \approx \frac{U_{ТП.H}}{U_{Y.H}};$$

Коэффициент передачи устройства изменения скорости:

$$K_{yuc} = \gamma = \frac{\Delta U_{GT}}{\Delta\omega} \approx \frac{U_{GT}}{\omega_n};$$

Передаточный коэффициент двигателя:

$$K_{ДВ} = \frac{\Delta\omega}{\Delta U_{ТП}} = \frac{1}{k\Phi}.$$

Требуемый коэффициент усиления разомкнутой системы регулирования напряжения ТП K_{mp} :

$$K_{mp} = K_Y \cdot K_{yuc} \cdot K_{ТП} \cdot K_{ДВ} = \frac{\delta\omega_p \cdot D}{\Delta\omega} - 1,$$

где $\delta\omega_p$ – статическая ошибка разомкнутой системы регулирования тиристорного привода в % к номинальной скорости при изменении тока нагрузки двигателя $\delta\omega_p = 100 \Delta\omega_p / \omega_n$; $\delta\omega$ – статическая точность, выраженная в %, требуемая при регулировании скорости в диапазоне D .

При данных значениях параметров коэффициент усиления из условия заданной статической точности равен:

$$K_Y = K_{TP} / (K_{BR} K_{TP} K_{\delta\omega}).$$

26. Значения номинальных скольжений для ступеней реостатного пуска

$$s_{n1} = \frac{r_1}{R_{2H}}, \dots, s_i = \frac{r_i}{R_{2H}}, s_{ne} = \frac{r_{2p}}{R_{2H}}.$$

Электромеханические постоянные времени

$$T_{M1} = J_{\Sigma} \frac{\omega_0 s_{H1}}{M_H}, \dots, T_{Mi} = J_{\Sigma} \frac{\omega_0 s_{Hi}}{M_H}, T_{Me} = J_{\Sigma} \frac{\omega_0 s_{He}}{M_H}$$

Время пуска на реостатных ступенях

$$t_{n1} = T_{M1} \ln \left(\frac{\mu_1 - \mu_c}{\mu_2 - \mu_c} \right), \dots, t_{ni} = T_{Mi} \ln \left(\frac{\mu_1 - \mu_c}{\mu_2 - \mu_c} \right), t_e = 3T_{Me}.$$

Время пуска

$$t_n = t_{n1} + t_{n2} + \dots + t_{ni} + t_e.$$

27. Номинальный момент двигателя

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H}.$$

Машинная постоянная

$$c\Phi_H = \frac{M_H}{I_H}.$$

Скорость холостого хода

$$\omega_0 = \frac{U_H}{c\Phi_H}.$$

Добавочное сопротивление, вводимое в цепь якоря

$$R_{доб} = \frac{U_H}{I_n} - r_a$$

Максимальный момент при пуске

$$M_k = 2,5M_H$$

Жесткость естественной механической характеристики

$$\gamma_e = \frac{(c\Phi_n)^2}{r_a}$$

Жесткость пусковой механической характеристики

$$\gamma_n = \frac{(c\Phi_n)^2}{r_a + R_n}$$

Электромеханическая постоянная времени при работе на естественной характеристике

$$T_M = \frac{J_\Sigma}{\gamma_e}$$

Электромеханическая постоянная времени при работе на пусковой характеристике

$$T_{мп} = \frac{J_\Sigma}{\gamma_n}$$

Электромагнитная постоянная времени при работе на естественной характеристике

$$T_a = \frac{L_a}{R_a}$$

При $T_a \ll T_M$, первой можно пренебречь.

Для построения характеристики переходного процесса при пуске холостую используется известная формула

$$\omega = \omega_0 (1 - e^{-t/T_{мп}})$$

После разгона на холостом ходу при установлении $R_n=0$, к валу двигателя будет приложен момент $M_c=M_n$. Установившееся значение скорости после приложения нагрузки

$$\omega_{уст} = \omega_0 - \frac{M_c}{\gamma_e}$$

Для построения переходного процесса изменения скорости, связанного с приложением нагрузки, используется формула

$$\omega = \omega_{уст} - (\omega_{уст} - \omega_0) e^{-t/T_M}$$

28. Электромагнитная постоянная времени якорной цепи

$$T_a = \frac{L_a}{R_a}$$

Электрохимическая постоянная времени

$$T_M = \frac{J_\Sigma R_a}{(c\Phi)^2}$$

Коэффициент усиления усилителя $K_{ур}$ в разомкнутой системе

$$k_{ур} = \frac{U_n U_{y.тп}}{U_{тп} U_y}$$

где U_y - напряжение управления ТП, соответствующее $U_n = 220$ В: $U_{y.тп} = U_y k_{ур}$.

Коэффициент усиления ТП

$$k_{п} = \frac{U_n}{U_{y.тп}}$$

Коэффициент усиления усилителя $k_{y.з}$ в замкнутой системе регулирования определяется из соотношения $U_{y.тп} = k_{y.з} (U_y - U_{оос})$, где $U_{оос}$ – напряжение обратной связи по скорости

$$k_{y.з} = \frac{U_{y.тп}}{U_y - k_c \omega_n}$$

Коэффициент усиления разомкнутой системы

$$K = \frac{k_{y.з} k_c k_{п}}{c\Phi}$$

Эквивалентная электрохимическая постоянная времени

$T_{м.экв}$ в замкнутой по скорости системе

$$T_{м.экв} = \frac{T_m}{K-1}$$

В разомкнутой (замкнутой) системе регулирования при $T_m > 4 T_a$ ($T_{м.экв} > 4 T_a$) переходный процесс будет монотонным, носить аperiodический характер, а при $T_m < 4 T_a$ ($T_{м.экв} < 4 T_a$) - процесс носит колебательный характер с затуханием.

Назначение электропривода - создавать движение рабочих машин и управлять этим движением. Переменными величинами, характеризующими движение, являются:

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. *Онищенко Г.Б.* Электрический привод. М.: Издательский центр «Академия», 2006.
2. *Чиликин М.Г., Сандлер А.С.* Общий курс электропривода. М.: Энергоиздат, 1985.
3. Электрические машины. Моделирование электрических машин приводов горного оборудования. Учебное пособие/ *В.В. Алексеев, А.Е. Козярук; Э.А. Загривный*; СПГГИ. СПб, 2006,
4. *Башарин А.В., Постников Ю.В.* Примеры расчета автоматизированного электропривода на ЭВМ. Л.: Энергоатомиздат. 1990.
5. Автоматизированный электропривод: Задачи для самоконтроля студентов Санкт-Петербургский горный ин-т. *В.В. Рудаков*, Л, 1990. 50 с.

Приложение. Величины, характеризующие движение рабочей машины

Поступательное движение			Вращательное движение		
Величина	Обозначение	Размерность	Величина	Обозначение	Размерность
Путь	S	м	Угол поворота	φ	радиан
Скорость	$V = \frac{dS}{dt}$	м/с	Угловая скорость (частота вращения)	$\omega = \frac{d\varphi}{dt}$	рад/с; 1/с
Ускорение	$a = \frac{dV}{dt} = \frac{d^2S}{dt^2}$	м/с ²	Угловое ускорение	$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\varphi}{dt^2}$	рад/с ² ; 1/с ²
Сила	F	Н	Момент	M	Н.м
Масса	m	кг	Момент инерции	J	кг м ²