Пример

расчета характеристик, пусковых и тормозных резисторов электропривода с электродвигателем постоянного тока

Задание

1. Используя паспортные (технические) данные заданной электрической машины, рассчитать и построить естественную и искусственные механические характеристики для двигательного и тормозного режимов

2. Рассчитать сопротивления пусковых и тормозных резисторов.

3. Рассчитать и построить зависимости *ω* =f(t), *М*=f(t)

.механического переходного процесса при пуске и торможении электропривода с заданной механической характеристикой рабочей машины.

4. Спроектировать принципиальную электрическую схему электропривода, предусматривающую автоматизацию периода пуска.

Технические данные двигателя даны в табл1

Таблица 1

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип дв. | Рн, кВт | пн об/мин | Uн В | Iн, А | Rя. н., Ом | Jдв, кг∙м2 | Jрм,  кг∙м2 |
| П111 | 55 | 600 | 220 | 287 | 0,0382 | 20,4 | 35 |

Мст = 0.95Мн

**1.1. Расчет естественной механической характеристики.**

Расчет естественной механической характеристики машины постоянного тока МПТ в двигательном режиме ведётся по формуле

ω = -;

Номинальная скорость вращения электродвигателя:

ωн = = = 62,83с=1

Скорость вращения идеального холостого хода электродвигателя:

ω0 =ωн∙ = 62,83 ∙ =66,13с-1

Номинальный момент двигателя:

Мн =Рн/ ωн = 55000/62,83 = 875,4н∙м

Статический момент двигателя: МС = 0,95∙ Мн = 875,4 ∙0,95=831,6Н ∙м

Естественная механическая характеристика строится по двум точкам

1 точка: ω = ω0 = 66,13с-1; М = 0;

2 точка: ω = ωн = 62,83с-1; М = Мн = 875,4Н·м

Естественная механическая характеристика построенная в координатах ω(М), приведена на рис. 1

* 1. **Расчет и построение искусственных механических характеристик**

Для построения первой искусственной характеристики задаёмся пусковым моментом М1 = (2÷2,5)Мном

М1 = (2÷2,5) ∙875,4 =(1750,8÷ 2188,5)н∙м принимаю

М1 = 2000н∙м

Проведя прямую соединяющую две точки с координатами (ω = 0, М = М1 = 2000н·м) и (ω = ω0 = 66,13с-1; М = 0) получаю первую искусственную механическую характеристику, соответствующую максимальной величине пускового резистора, рис. 1



Рис. 1. Естественная и искусственные механические характеристики МПТ

Построение новых искусственных характеристик веду в следующей последовательности. Задаюсь моментом переключения , который берётся в пределах М2 = (1,1÷1,3)Мном

М2 = (1,1÷1,3)831,6 = (915÷1081)н∙м принимаю

М2 = 963н∙м

Далее на оси абсцисс откладываем момент М2 и из этой точки

восстанавливаем перпендикуляр до пересечения с естественной характеристикой. Из точки «а», соответствующей моменту М1

восстанавливаю перпендикуляр до пересечения также с естественной характеристикой. Получают точку «ж». Из точки «б», являющейся точкой пересечения первой искусственной характеристики с перпендикуляром, соответствующим моменту М2, проводят прямую, параллельную оси абсцисс, до пересечения с перпендикуляром, восстановленным из точки «а» и соответствующим моменту М1. Находят точку «в». Далее точку «в» соединяют

прямой с точкой, координаты которой (ω= ω0, М = 0). Получаю новую искусственную характеристику и так далее до точки «ж», когда МПТ выходит на естественную характеристику.

Стрелками показано изменение момента машины постоянного тока независимого возбуждения по мере увеличения скорости с постоянным моментом сопротивления.

Необходимая величина сопротивления резистора первой пусковой ступени определяю по формуле (в которой ω - 0, а момент М = М1)

Rд1 + Rд2 + Rд3 = - Rя

где с = кФн =

с = = 3,33

Rд1 + Rд2 + Rд3 = - 0,0382 = 0,328Ом

Величина сопротивления резистора второй пусковой ступени

Rд2 + Rд3 = - Rя

ω1 = 34,4с-1 – берётся из графика

Rд2 + Rд3 = - 0,0382 =0,138Ом

Величина сопротивления резистора третьей пусковой ступени

Rд3 = - Rя

Rд3 = - 0,0382 =0,0457Ом.

Rд1 = (Rд1 + Rд2 + Rд3)- (Rд2 + Rд3) = 0,328 – 0,138 = 0,19Ом

Rд2 = (Rд2 + Rд3 )- Rд3 = 0,138– 0,0457 =0,0923Ом

**2. 2. Расчёт и построение механических характеристик в тормозном режиме динамического торможения**

Режим динамического торможения может начинаться с разных скоростей. Если торможение начинается с максимальной скорости,

то начальными условиями будет точка «а» с координатами (ω= ωнач М= -М1), которая находится во втором квадранте и приведена на рис.2 Причём начальный тормозной момент – М1 машин постоянного тока (МПТ) независимого возбуждения не должен превышать допустимого значения.

За ωнач принимаем номинальную скорость двигателя - ωнач = ωн, а **(–** М1 = 2000 н∙м)

Величина сопротивления добавочного резистора, включаемого в цепь якоря МПТ для получения момента – М1, определяется по формуле

Rдт1 + Rдт2 + Rдт3 = - Rя

Rдт1 + Rдт2 + Rдт3 = - 0,0382 =0,310Ом

Соединяя точку «а» с началом координат, получают первую искусственную механическую характеристику режима динамического торможения, которая соответствует сопротивлению резистора Rдт1 + Rдт2 + Rдт3. Для уменьшения времени торможения переходят на следующую ступень с добавочным резистором сопротивление Rдт1 + Rдт2 Для этого на оси абсцисс откладываю тормозной момент – М2 =– Мн = -875,4 н∙м и из этой точки восстанавливают перпендикуляр. Нахожу



Рис. 2 Естественная и искусственные механические характеристики машины постоянного тока в режиме динамического торможения

точку пересечения этого перпендикуляра с первой искусственной характеристикой. Из полученной точки «б» проводят прямую линию до пересечения с перпендикуляром, соответствующим моменту М1 Новую точку «в» соединяю с началом координат и получаю вторую искусственную характеристику.

Величина сопротивления добавочного резистора второй ступени

Rдт1 + Rдт2 формуле

Rдт1 + Rдт2 = - Rя

Rдт1 + Rдт2 = - 0,0382 =0,1143Ом

Величина сопротивления добавочного резистора третьей ступени

Rдт3 формуле:

Rдт1 = - Rя

Rдт1 = - 0,0382 =0,0283Ом

**3. Расчёт и построение механического переходного процесса**

**3.1. Расчёт и построение переходного процесса в двигательном режиме**

Расчёт переходного процесса с линейными механическими харак-теристиками электродвигателя и рабочей машины ведётся по формулам:

- для угловой скорости

ω = ωкон(1-) + ωнач∙ (3.1)

- для момента

М = Мкон(1-) + Мнач∙ (3.2)

где ωнач, ωкон -соответственно начальная и конечная угловые скорости электродвигателя;

Мнач, Мкон- соответственно начальный и конечный момент электродвигателя;

• ТМ, - механическая постоянная времени электропривода.

Произведём расчёт механического переходного процесса при пуске привода с линейной механической характеристикой электродвигателя и с постоянным моментом сопротивления рабочей машины. Статические механические характеристики электродвигателя приведены на рис. 1. Рассмотрим пуск электродвигателя в три ступени пускового резистора.

Работа электродвигателя на первой ступени пускового резистора описывается выражением, полученным из уравнения (3.1), в котором принимаю ωнач = 0. Тогда

ω = ωкон(1-)

где ωкон - конечная угловая скорость электродвигателя, работающего на первой ступени пускового резистора;

ТМ1механическая постоянная времени, соответствующая работе привода на первой ступени пускового резистора:

* для машины постоянного тока независимого возбуждения

Тм1 = Jпр∙

где Jпр - момент инерции электропривода, приведенный к валу электрической машины;

Jпр = Jдв +Jрм = 20,4 + 35 = 55,4кг ∙м2

Механическая постоянная времени для машины постоянного тока независимого возбуждения, работающего на естественной механической характеристике,

ТМ = Jпр∙ отсюда

Тм1 = ТМ∙

ТМ = 55,4∙ = 0,191с

ТМ1 = 0,191∙ =1,83с

Конечная угловая скорость на первой пусковой ступени ωкон =ω1 =36с-1.

ω = 34,5(1-)

М = 963(1-)+2000

Работа электропривода на первой пусковой ступени длится (3+4) Т Задаваясь временем от t = 0 до t =4TМ1 определяют угловую скорость электропривода, а результаты расчётов свожу в табл. 1.

По данным табл. 1 строится кривая зависимости угловой скорости от времени, которая приведена на рис. 1. Однако при

Таблица 2

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| t | 0 | 0,674 | 1,348 | 2,022 | 2,696 |
| ω,с-1 | 0 | **21,81** | **29,74** | **32,78** | **33,86** |
| М, н ∙м | 2000 | 1343 | 1103 | 1015 | 982 |

реализации автоматического управления пуском электрическая машина разгоняется лишь до скорости ω1, так как при этой скорости происходит переход электрической машины на новую механическую характеристику (рис. 1.). Поэтому для определения работы привода на первой пусковой ступени на оси ординат отк­ладывают значение скорости ω1 и из этой точки проводят прямую, параллельную оси абсцисс, до пересечения с кривой ω = f(t) Из полученной точки «а» (рис.3.) опускают перпендикуляр на ось абсцисс и находят время t1 работы электропривода на первой ступени пускового резистора. Далее расчёт зависимости ω = f(t) ведётся по формуле (3.1), в которой начальными и конечными условиями будут: ωнач = ω1 = 34,5, ωкон = ω2. Механическая постоянная времени электропривода для второй ступени пускового резистора

Тм2 = ТМ∙ ;

ТМ2 = 0,191∙ =0,888с

ω = 51(1-) +34,5

М =963(1-) +2000

Аналогично предыдущему расчёту задаются временем t и рассчитывают ω, а результаты расчётов заносят в табл.2

Таблица 3

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| t | 0 | T**=**ТМ2 | T=2ТМ2 | T=3ТМ2 | T=4ТМ2 |
| ω,с-1 | 34,5 | 44,93 | 48,77 | 50,18 | 50,69 |
| М, н ∙м | 2000 | 1343 | 1103 | 1015 | 982 |

По данным табл.3 построена кривая ω =f(t) для второй ступени пускового резистора, которая приведена на рис.3. Электропривод, работая на второй пусковой ступени резистора Rдт2+ Rдт3 разгоняется только до скорости ω2.Поэтому откладывают эту скорость на ось ординат (рис.3) и проводят изэтой точки прямую, параллельную оси абсцисс, до пересечения с кривой ω =f(t).Точку пересечения сносят на ось электропривода на второй ступени пускового резистора. И так далее до перехода на естественную механическую характеристику, работа на которой подчиняется выражению (3.1). Начальными и конечными условиями будут: ωнач = ω2 = 52,4, ωкон = ω3 = 59,8с-1. Механическая постоянная времени электропривода для третьей ступени пускового резистора

Тм3 = ТМ∙ ;

ТМ3 = 0,191∙ =0,42с

ω = 58,8(1-) +51

М = 963(1-) +2000

Таблица 4

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| t | 0 | T**=**ТМ3 | T=2ТМ3 | T=3ТМ3 | T=4ТМ3 |
| ω,с-1 | 51 | 55,93 | 57,74 | 58,41 | 58,66 |
| М, н ∙м | 2000 | 1343 | 1103 | 1015 | 982 |

Механическая постоянная времени электропривода работающего на естественной характеристике ТМ= 0,191с-1

Начальными и конечными условиями на естественной характеристике будут: ωнач = ω3 = 58,8, ωкон = ωс = 63с-1.

∆ωн = ω0 - ωн =66,13 - 62,83 = 3,3

∆ωс = ∆ωн∙0,95 =3,3∙0,95 = 3,135, тогда

ωс = ω0 - ∆ωс = 66,13 – 3,135 = 63с-1

Мнач = Мс = 831,6Н ∙м, Мкон = М1 = 2000Н∙м

ω = 63(1-) + 58,8

М= 831,6(1-) + 2000

Таблица 5

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| t | 0 | T**=**ТМ2 | T=2ТМ2 | T=3ТМ2 | T=4ТМ2 |
| ω,с-1 | 58,8 | 61,45 | 62,431 | 62,79 | 62,92 |
| М, н ∙м | 2000 | 1261 | 990 | 890 | 853 |

По данным таблиц 2- 5 строим кривые ω =f(t), М =f(t).

Рис. 3 Кривые переходного процесса при пуске электрической машины.

Масштаб времени тt =0,0915с/мм

**3.2. Расчет и построение переходных процессов электрической машины, работающей в режиме динамического торможения**

Расчет механического процесса при торможении машины постоян-ного тока в режиме динамического торможения по формулам.

ω = -∆ωс + (ωнач+∆ωс) ∙ 3.3.

М = Мкон(1-) + Мнач∙

в которой ∆ωс - перепад скорости при моменте нагрузки Мс, а также начальная скорость ωнач. Величины ωнач = ωс =63с-1 и ∆ωс1 =26с-1 берутся из графика рис.4

Расчет переходного процесса ведётся по формуле (3.3) до скорости ω = -ωс

Задаваясь временем t от t= 0 до t = 4ТМ1, где

Тм1 = ТМ∙

ТМ1 = 0,191∙ =1,741 тогда

ω = 26 + (63-26) ∙= 26+37 ∙

М = -831,6(1-) - 2000∙

Таблица 6

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| t | 0 | T**=**ТМ1 | T=2ТМ1 | T=3ТМ1 | T=4ТМ1 |
| ω,с-1 | 63 | 40 | 31 | 28 | 26,7 |
| М, н ∙м | -2000 | -1261 | -990 | -890 | -853 |

Расчет переходного процесса до скорости на второй ступени тормозного резистора. Начальные условия

- Для угловой скорости

ωнач =∆ωс1 =26с-1; ωкон=-∆ωс2 = -11,5

- для момента

Мнач = -М1 = -2000Н∙м Мкон = Мс = 831,6Н ∙м,

Задаваясь временем t от t= 0 до t = 4ТМ2, где

Тм2 = ТМ∙

ТМ2 = 0,191∙ =0,763 тогда

ω = 11,5 + (26-11,5) ∙= 11,5+14,5 ∙

М = 831,6(1-)-2000∙

Таблица 7

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| t | 0 | T**=**ТМ2 | T=2ТМ2 | T=3ТМ2 | T=4ТМ2 |
| ω,с-1 | 26 | 16,83 | 14,46 | 12,22 | 11,8 |
| М, н ∙м | -2000 | -1261 | -990 | -890 | -853 |

Расчет переходного процесса до скорости на третьей ступени тормозного резистора. Начальные условия

- Для угловой скорости

ωнач =∆ωс3 =11,5с-1; ωкон= -∆ωс3 = -5

- для момента

Мнач = -М1 = -2000Н∙м Мкон = Мс = 831,6Н ∙м,

Задаваясь временем t от t= 0 до t = 4ТМ2, где

Тм2 = ТМ∙

ТМ3 = 0,191∙ =0,3325 тогда

ω = 5 + (11,5-5) ∙= 5+6,5 ∙

М = -831,6(1-) - 2000∙

Таблица 8

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| t | 0 | T**=**ТМ3 | T=2ТМ3 | T=3ТМ3 | T=4ТМ3 |
| ω,с-1 | 11,5 | 7,39 | 5,88 | 5,3 | 5,1 |
| М, н ∙м | -2000 | -1261 | -990 | -890 | -853 |

Расчет переходного процесса до скорости на естественной характеристике Начальные условия

- Для угловой скорости

ωнач =∆ωс3 =5с-1; ωкон= -∆ωс3 = -2,5

- для момента

Мнач = -М1 = -2000Н∙м Мкон = Мс = 831,6Н ∙м,

Задаваясь временем t от t= 0 до t = 4ТМ,

ω = 2,5 + (5-2,55) ∙= 2,5+2,5 ∙

М = -831,6(1-) - 2000∙

Таблица 9

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| t | 0 | T**=**ТМ3 | T=2ТМ3 | T=3ТМ3 | T=4ТМ3 |
| ω,с-1 | 5 | 3,25 | 2,84 | 2,62 | 2,55 |
| М, н ∙м | -2000 | -1261 | -990 | -890 | -853 |

По данным таблиц 6-9 строим зависимости ω =f(t), М =f(t), (рис5).



Рис. 5. Кривые *ω* =f(t), *М* =f(t) при остановке в режиме динамического торможения

4. Составляем принципиальную электрическую схему управления электроприводом (Рис. 6)

*Описание схемы*

В схеме предусмотрены следующие виды защит и блокировок:

* от токов короткого замыкания в якорной цепи и цепи управления, реле максимального тока КА1 и автоматический выключатель QF;
* от пробоя изоляции обмотки возбуждения с помощью разрядного сопротив­ления;
* от перегрузки с помощью теплового, реле КК;
* от снижения или исчезновения напряжения в питающей цепи КА;
* контроль за наличием тока в обмотке возбуждения, реле КА2;
* электрическая блокировка, предусматривающая исключение одновременного включения реверсирующих контакторов.

Схема управления обеспечивает как ручное, с помощью командоконтрол-лера SA, так и автоматическое управление периодом пуска.

Автоматическое управление периодом пуска.

Включаем разъединитель Q и автоматический выключатель QF, Получает питание обмотка возбуждения LM, кроме того срабатывают реле времени КТ1 – КТ3, которые размыкают свои контакты в цепи контакторов ускорения КМ3-КМ5. Для пуска двигателя нажимаем на кнопку SB1 (SB2), срабатывает реле KL1 (KL2). Реле KL1 (KL2) своими контактами KL1.2 (KL2.2) подключает реле KL3, а контактами KL1.3 (KL2.3) контактор КМ1 (КМ2)

Реле KL3 подключает цепи управления контакторами ускорения КМ3- КМ5.

Контактор КМ1 (КМ2) контактами КМ1.1 (КМ2.1) подключает якорь двигателя к сети и контактом КМ1.5 (КМ2.5) обестачивает реле времени КТ1. Двигатель начинает свой разбег при этом ток проходит через все пусковые резисторы R1 – R3. Реле времени КТ1 через 8,6с замыкает свой контакт в цепи контактора ускорения КМ3. КМ3, срабатывая, шунтирует первую ступень пускового резис-тора R1, одновременно размыкает свой контакт КМ3.3 в цепи реле КТ2.

Происходит скачок тока и момента (см Рис. 1, 3) двигатель продолжает разбег по второй искусственной характеристике. Через 3,66с реле КТ2 замкнёт свой контакт в цепи контактора ускорения КМ4. КМ4, срабатывая, шунтирует вторую ступень пускового резистора R2, одновременно размыкает свой контакт КМ4.3 в цепи реле КТ3.

Происходит скачок тока и момента (см Рис. 1, 3) двигатель продолжает разбег по третьей искусственной характеристике. Через 1,755с реле КТ3 замкнёт свой контакт в цепи контактора ускорения КМ5. КМ5, срабатывая, шунтирует вторую ступень пускового резистора R3 и двигатель продолжит свой разбег по естественной характеристике до *ωс.*

Контроллерное управление периодом пуска.

Перед пуском командоконтроллер устанавливается в нулевое, затем включаются автоматические выключатели QF1 и разъединительQ и схема подключается к источнику питания. По обмотке возбуждения начинает протекать ток возбуждения и, кроме того,

срабатывает реле времени КТ1 – КТ3, которые размыкают свои контакты в цепи контакторов ускорения КМ3-КМ5.

Для обеспечения разбега двигателя до максимальной скорости рукоятку командоконтроллера SA необходимо переместить в крайнее четвёртое положение и дальше пуск будет осуществляться как при автоматическом пуске.

**

**