1. Определение . Для этого необходимо зафиксировать шток рулевой рейки (чтобы избежать вращения ЭД, соотв. избежать генерирования противоЭДС), после чего подать фиксированное напряжение (скажем 5В). В таком случае, ток якоря будет равен току потребляемому с источника питания, а .

*Получилось при 1В-2,522А; 01,09В-3,069А; 1,64В-5,123А.*

*Тогда R1 = U/I = 0,396511 Ом; R2 = 0,355165 Ом; R3 = 0,320125 Ом.*

*Среднее R = 0,357267 Ом.*

*С RLC метра получилось 1.12 Ом*

*Взято за основу в работу значение R = 0,357267 Ом.*

1. Определение индуктивности. Тут всё несколько сложнее.

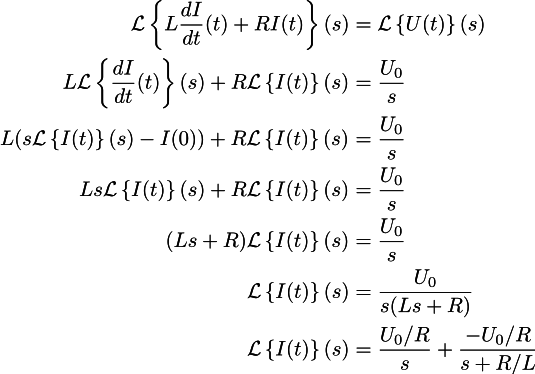
Во-первых, у ДПТ протекающий ток I(t) и напряжение на клеммах U(t) связаны следующим дифференциальным уравнением, где w(t) — это скорость вращения вала двигателя:

https://habrastorage.org/r/w1560/getpro/habr/post_images/5c4/9c3/4a0/5c49c34a00d10bd864362ff317ad4300.png

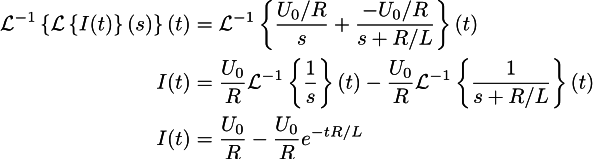
Вал двигателя также оставляем зафиксированным, поэтому w(t) = 0.

Начальные условия I(0) = 0, ток в самом начале не течёт. Приложим постоянное напряжение U0 к клеммам мотора, как себя должен будет вести протекающий ток?

Возьмём преобразование Лапласа от левой и правой части уравнения (1):



Теперь применим обратное преобразование Лапласа:



Данное уравнение говорит нам о том, что по истечении нескольких миллисекунд индуктивность уже не будет играть роли, и мы получим протекающий ток U0 / R (закон Ома). В самом же начале протекающий ток равен нулю и экспоненциально возрастает, причём скорость возрастания напрямую зависит от индуктивности.

Таким образом, для определения R и L необходимо подать ступеньку на вход двигателя и через осциллограф отслеживать значения тока. Оно будет плавно нарастать пока не примет какое-то устоявшееся значение (спустя несколько миллисекунд).

Проверить полученные значения можно задав синусоидальный входной сигнал и отследить, как модель себя поведёт и реальный ток в ЭД.

*Получилась пара 0.388274648131726 Ом и 0.0001419256439732361 Гн.*

*Сопротивлепние для дальнейших расчётов было взято из пункта 1, индуктивность берётся из данного пункта, как 0,000142 Гн.*

*Получено это было используя питон и метод curve\_fit.*

*Изображение выглядит как текст, График, диаграмма, снимок экрана

Автоматически созданное описание*

1. Определение момента.

Определим момент вращения ЭД экспериментальным путём. Для этого, прикрепим к валу мотора рычаг и замерим силу, с которой ЭД вращает этот рычаг (при этом, мы ограничиваем значения тока путём установления границы в лабораторном источнике питания):



Получили следующие данные:

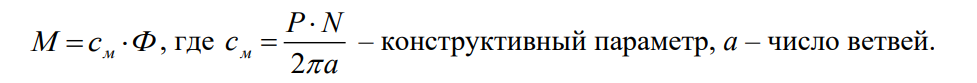
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Исследование момента вращения ЭД | | | | | | | |
| U, В | I, А | Замеренное усилие, кг | Усилие, Н | Длина рычага, м | Момент вращения ЭД, Н \* м | Линейное усилие рулевой рейки, Н | Конструктивный параметр Cм |
| 10 | 15 | 0,5 | 4,9 | 0,146 | 0,7154 | 1119,601 | 0,04769333 |
| 10 | 20 | 0,7 | 6,86 | 0,146 | 1,00156 | 1567,441 | 0,050078 |
| 10 | 25 | 0,9 | 8,82 | 0,146 | 1,28772 | 2015,282 | 0,0515088 |
| 15 | 30 | 1,1 | 10,78 | 0,146 | 1,57388 | 2463,122 | 0,05246267 |
| -10 | 15 | 0,5 | 4,9 | 0,146 | 0,7154 | 1119,601 | 0,04769333 |
| -10 | 20 | 0,7 | 6,86 | 0,146 | 1,00156 | 1567,441 | 0,050078 |
| -15 | 25 | 0,8 | 7,84 | 0,146 | 1,14464 | 1791,362 | 0,0457856 |
| -15 | 30 | 1 | 9,8 | 0,146 | 1,4308 | 2239,202 | 0,04769333 |
| -20 | 35 | 1,3 | 12,74 | 0,146 | 1,86004 | 2910,963 | 0,053144 |

Конструктивный параметр был рассчитан исходя из линеаризованного уравнения ДПТ:



Линейное усилие рулевой рейки было посчитано исходя из нижеприведенной информации:

Момент считается по следующей формуле:



У нас здесь две неизвестные переменные — момент и конструктивный параметр.

Проведем следующую манипуляцию: зададим ток якоря равным 1А и считаем значение момента.

Значение момента будем считывать следующим образом: есть датчик момента линейный рулевой рейки, надо посчитать передаточное отношение (число) от него к моменту вращения вала, в общем найти коэффициент передачи. Таким образом мы сможем получить конструктивный параметр.

*Получилось снять двигатель. Получили следующие данные:*

*Перемещение вала двигателя на 15 оборотов даёт 36-36.5мм перемещения штока рулевой рейки. Таким образом, один оборот двигатель даёт 2.4-2.5мм перемещения штока рулевой рейки.*

*48мм это 1000 меток рулевой рейки.*

*1 обороту вала датчика положения соответствует 20,5 оборотов ротора двигателя (замер происходил 2 раза, точное значение).*

*Сначала нас встречает червяк.*

*Передаточное число передачи представляет собой отношение числа зубьев червячного колеса z 2 к числу заходов червяка z 1: u= z 2 / z 1;* ***u1 = 36 / 2 = 18.***

*Таким образом, 18-*ти оборотам вала двигателя соответствует один оборот пластмассового червячного колеса.

*Данное колесо с коэффициентом передачи 1 передаёт вращение на косозубое зубчатое колесо с количеством зубов равным 7. Диаметр косозубчатого колеса 20,5 мм 13,3мм. Средний — 16,9мм.*

*Это косозубое зубчатое колесо участвует в реечной передаче. Количество зубов на рейке примерно равняется 29-30. (возможно 28?)*

*Тогда рейка за один оборот косозубчатого колеса перемещается на 53,066мм. S = pi \* d.*

*53,066/18 = 2,94811111111мм. На деле получилось 2,48мм, скорее всего расхождения связаны с неточными измерениями диаметра косозубчатого колеса.*

У нас есть датчик линейного усилия рулевой рейки, который связан с моментом вращения электропривода рулевой рейки через механические передачи.

Связь следующая  
Вал ротора передаёт вращение через червячную передачу на червячное колесо, которое на себе имеет косозубое зубчатое колесо, вступающее во взаимодействие с непосредственно рейкой. Параметры данной передачи отображены выше

Замерим насколько перемещается рулевая рейка при вращении вала электропривода. Было выяснено, что за 1 оборот рулевая рейка смещается на 2,48мм.

1 обороту вала датчика положения соответствует 20,5 оборотов ротора двигателя.

*Обозначим* ***Момент вала двигателя*** *как* , момент червячного колеса — , линейное усилие рулевой рейки . Тогда:

Отсюда .



Подставим цифры и найдём взаимосвязь между моментом вращения вала ЭД и линейным усилием рулевой рейки:



1. **Определение значения конструктивного параметра**  **ДПТ.**

Испытания проводятся в виде подачи определенного значения напряжения напрямую на двигатель, замер тока потребления и скорости вращения вала ротора двигателя:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| U, В | I, А | V (скорость), об/мин |
| 1 | 0,64 | 40 |
| 2 | 0,67 | 225 |
| 3 | 0,74 | 400 |
| 4 | 0,79 | 564 |
| 5 | 0,83 | 740-745 |
| 6 | 0,88 | 910 |
| 7 | 0,94 | 1085 |
| 8 | 0,98 | 1265 |
| 9 | 1,02 | 1450 |
| 10 | 1,08 | 1637 |
| 11 | 1,13 | 1828 |
| 12 | 1,19 | 2018 |
| 13 | 1,28 | 2207 |
| 14 | 1,28 | 2397 |
| 15 | 1,35 | 2575 |
| 16 | 1,42 | 2760 |
| 17 | 1,45 | 2944 |
| 18 | 1,59 | 3145 |

Вновь рассчитаем конструктивный параметр исходя из формулы стаического движения электропривода:

 (здесь нет магнитного момента, но он должен быть по формуле)

Тогда получим следующие данные:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| U, В | I, А | V (скорость), об/мин | w, рад/с | Ri (сопротивление обмотки якоря), Ом | См (конструкторский параемтр), В\*с/рад |
| 1 | 0,64 | 40 | 4,1887902 | 0,357267 | 0,18414604 |
| 2 | 0,67 | 225 | 23,5619449 | 0,357267 | 0,07472351 |
| 3 | 0,74 | 400 | 41,887902 | 0,357267 | 0,06530817 |
| 4 | 0,79 | 564 | 59,0619419 | 0,357267 | 0,06294678 |
| 5 | 0,83 | 745 | 78,0162176 | 0,357267 | 0,06028834 |
| 6 | 0,88 | 910 | 95,2949772 | 0,357267 | 0,05966322 |
| 7 | 0,94 | 1085 | 113,620934 | 0,357267 | 0,05865265 |
| 8 | 0,98 | 1265 | 132,47049 | 0,357267 | 0,05774779 |
| 9 | 1,02 | 1450 | 151,843645 | 0,357267 | 0,05687158 |
| 10 | 1,08 | 1637 | 171,426239 | 0,357267 | 0,05608331 |
| 11 | 1,13 | 1828 | 191,427712 | 0,357267 | 0,05535399 |
| 12 | 1,19 | 2018 | 211,324466 | 0,357267 | 0,05477289 |
| 13 | 1,28 | 2207 | 231,1165 | 0,357267 | 0,05427003 |
| 14 | 1,28 | 2397 | 251,013253 | 0,357267 | 0,05395212 |
| 15 | 1,35 | 2575 | 269,653369 | 0,357267 | 0,05383834 |
| 16 | 1,42 | 2760 | 289,026524 | 0,357267 | 0,05360297 |
| 17 | 1,45 | 2944 | 308,294959 | 0,357267 | 0,05346167 |
| 18 | 1,59 | 3145 | 329,34363 | 0,357267 | 0,05292935 |

В первых двух случаях конструкторский параметр получился слишком маленького значения. Связано это с тем, что на малых мощностях потери оказывают большое влияние.

Конструкторский параметр отличается на 14% от прошлого значения, что допустимо.

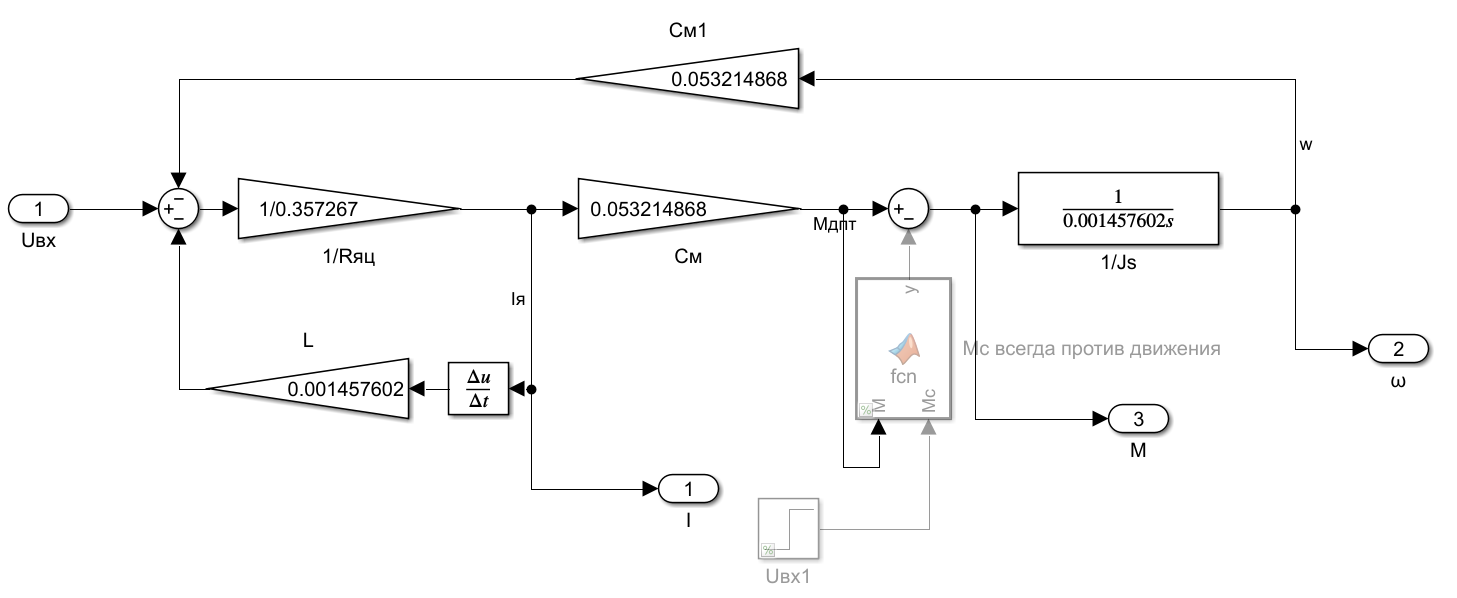
Итого значение конструкторского параметра для дальнейшей работы:

См = 0,053215.

1. Определение момента инерции J ДПТ.

Момент инерци

1. Используя найденные параметры была составлена модель ДПТ в Simulink



**Расчёт контура тока**

1. Структурная схема контура тока  
   Для настройки коэффициентов в регуляторах системы управления ЭП необходимо рассмотреть все компоненты ЭП с позиций объекта оптимального управления. Данная задача может быть решена только после создания подробной структурной схемы системы и проведения её детального анализа. Структурная схема представлена на рисунке.



На структурной схеме приняты следующие сокращения:

Kinv – коэффициент передачи инвертора по напряжению;

Tinv – постоянная времени инвертора;

Re – эквивалентное активное сопротивление фазы обмотки статора;

Te – постоянная времени фазы обмотки статора;

Kp – коэффициент пропорционального усиления регулятора тока;

Ki – коэффициент усиления интегральной составляющей регулятора тока;

ki1, ki2, ki3, ki4, ki5, ki6 – масштабные коэффициенты в контуре тока.

При проведении оптимизации рассматриваются следующие допущения:

* все фазы статорной обмотки одинаковы и симметричны, следовательно, можно рассмотреть цепь питания отдельно взятой фазы синхронного двигателя как объект оптимального управления;
* область изменения рабочих параметров не достигает максимально-допустимых ограничений и таким образом модель можно считать линеаризованной;
* время дискретизации, обусловленное несущей частотой ШИМ инвертора значительно меньше, чем постоянная времени объекта регулирования;
* при проведении оптимизации в контуре тока предполагаем полное отсутствие внешних возмущений, обусловленных вращением ротора и нагрузкой приложенной к валу синхронного двигателя.

1. Определим масштабные переменные для нормирования в контуре тока.

Kinv – определяется исходя из величины рабочего напряжения Udc на шине конденсаторе и коэффициенте ШИМ.

18В. при раскрытии на 0,7 выход должен быть таким, чтобы получилось 18 вольт => мы знаем, что коэффициент ШИМ равен , а значитKinv:



*Tinv* – можно определить зная несущую частоту ШИМ инвертора (Гц)

(сек)

*Re* – эквивалентное сопротивление определяется исходя из информации об активном сопротивлении отдельной фазы статорной обмотки двигателя . В частности, в данной работе эквивалентное сопротивление было получено экспериментальным путём

 (Ом)

*Te* – постоянная времени электромагнитной составляющей двигателя, определяется исходя из его индуктивности (которая была также определена экспериментально) (Гн) и активного сопротивления Ом.

(сек)