

НИУ «МЭИ» **представляет учебный курс:**

Проектирование цифровых систем управления на базе
отечественного микроконтроллера **НИИЭТ К1921ВК01Т**

Москва 2019

Практические задания день 5

Задание 1

Каждый раз после старта микроконтроллера для запуска векторной СУ нужно настраивать энкодер ручными действиями. Это неудобно. Нужно реализовать автоматическую настройку датчика, если он не настроен. Для этого:

- В TrosspeedEqer добавить переменную «датчик настроен», которая по умолчанию после запуска равна 0.
- В состоянии CTRL_RUN sm_ctrl.c найти переход в состояние векторной СУ CTRL_RUN_VECTOR_SM. Заменить переход на состояние настройки ДПР, CTRL_AUTO_SENSOR_TUNING, если флаг «датчик настроен» равен нулю.
- В состоянии CTRL_AUTO_SENSOR_TUNING задать фиксированную скорость вращения 10 об/мин, независимо от задания скорости refs.speed_ref. Отмерить время работы 2 секунды, выставить флаг «датчик настроен» в единицу и перейти в состояние CTRL_RUN_VECTOR_SM.

Задание 2

Формулы синхронной машины в осях d, q:

$$T_{el} = p i_q (\Psi - (L_q - L_d) i_d)$$

$$\begin{cases} u_d = R i_d - \omega L_q i_q + L_d \frac{di_d}{dt} \\ u_q = R i_q + \omega L_d i_d + \omega \Psi + L_q \frac{di_q}{dt} \end{cases}$$

Из формул видно, что напряжение, приложенное по оси q, тем больше, чем больше ЭДС машины $\omega \Psi$. Однако напряжение можно уменьшить, приложив отрицательный ток по оси d, за счет компонента перекрестной связи $\omega L_d i_d$. Этот метод называется ослаблением поля синхронной машины с постоянными магнитами. Предлагается провести лабораторную работу по измерению влияния тока по оси d на напряжение по оси q.

1. Поменять программу так, чтобы в векторной СУ можно было задавать ток по оси d через DebugW1.
2. Вывести на осциллограф токи осей d, q, напряжения осей d, q.
3. Для разных частот вращения, 100 и 2000 об/мин провести пошаговое увеличение задания тока $I_d=0, -1, -2, -3$ А в векторной СУ. Записывать напряжения и токи по осям d, q в таблицу для каждой из скоростей. Увидеть, как напряжение по оси q падает с ростом отрицательного тока по оси d при большой частоте вращения.

Задание 3

Формулы синхронной машины в осях d, q:

$$T_{el} = p i_q (\Psi - (L_q - L_d) i_d)$$

$$\begin{cases} u_d = R i_d - \omega L_q i_q + L_d \frac{di_d}{dt} \\ u_q = R i_q + \omega L_d i_d + \omega \Psi + L_q \frac{di_q}{dt} \end{cases}$$

Из формул видно, что при изменении тока в одной оси должно поменяться напряжение по другой оси за счет компонент перекрестной связи. Чем больше частота вращения, тем сильнее это влияние. Компоненты перекрестных связей выглядят как возмущающий фактор для регуляторов тока. При изменении тока в одной оси ток в другой оси тоже начнет меняться, пока регулятор не компенсирует возмущение (интегральная часть не изменит напряжение до необходимого). Лабораторная работа посвящена визуализации этого влияния. Необходимо:

- В структуру векторной СУ к выходу регулятора скорости добавить меандр задания тока частотой 10Гц и настраиваемой амплитудой через Debug. Это позволит, с одной стороны, работать двигателю около заданной частоты вращения, а с другой стороны видеть осциллограмму реакции регуляторов тока на скачок задания «на скорости»
- Вывести на осциллограф токи и напряжения осей d,q. Наблюдать влияние перекрестных связей.

Задание 3'

Формулы синхронной машины в осях d, q:

$$T_{el} = p i_q (\Psi - (L_q - L_d) i_d)$$

$$\begin{cases} u_d = R i_d - \omega L_q i_q + L_d \frac{di_d}{dt} \\ u_q = R i_q + \omega L_d i_d + \omega \Psi + L_q \frac{di_q}{dt} \end{cases}$$

Из формул видно, что возмущающий фактор перекрестных связей можно компенсировать, тем самым исключив влияние изменения тока в одной оси на ток в другой оси. Но для этого нужно знать индуктивность двигателя. Сначала предлагается компенсировать влияние изменения тока оси q на ось d. Для этого:

- К выходу регулятора оси d прибавить составляющую $\omega L_q i_q$, где вместо L_q использовать Debug, который подобрать опытным путем.
- При подборе L_q ориентироваться на осциллограммы переходного процесса отработки скачка задания оси q на 2000 об/мин. Чем меньше будет возмущение в оси d, тем точнее подобрана индуктивность L_q .

Далее можно повторить аналогичный процесс для противоположной оси:

- Внести меандр задания тока в ось d
- Наблюдать возмущение в оси q в ответ на скачок задания оси d
- Добавить компенсацию перекрестной связи $-\omega L_d i_d$ в ПО
- Настроить индуктивность L_d

Задание 4

Формулы синхронной машины в осях d, q:

$$T_{el} = p i_q (\Psi - (L_q - L_d) i_d)$$

$$\begin{cases} u_d = R i_d - \omega L_q i_q + L_d \frac{di_d}{dt} \\ u_q = R i_q + \omega L_d i_d + \omega \Psi + L_q \frac{di_q}{dt} \end{cases}$$

Из формул видно, что при включении векторной СУ при вращающемся роторе напряжение, приложенное по осям не должно быть равно нулю. В идеальном случае для «мягкого» подхвата напряжение по оси d должно быть равно нулю, а напряжение по оси q должно быть равно ЭДС машины. Если это не так, то будет «ударное» включение с нежелательным переходным процессом. Кроме того, задатчик интенсивности также нужно проинициализировать текущей частотой вращения, чтобы не происходило сначала торможения двигателя, а затем разгона. Работа:

- Сконфигурировать осциллограф на запуск по переходу в векторную СУ.
- Добавить в осциллограф токи d,q, частоту вращения двигателя.
- Установить ЗИ равным 1 сек.
- Разогнать двигатель на 4000 об/мин, нажать стоп, а потом тут же старт (пока не остановился ротор).
- Увидеть нежелательный ударный преходной процесс включения.

Задание 5

Формулы синхронной машины в осях d, q:

$$T_{el} = p i_q (\Psi - (L_q - L_d) i_d)$$

$$\begin{cases} u_d = R i_d - \omega L_q i_q + L_d \frac{di_d}{dt} \\ u_q = R i_q + \omega L_d i_d + \omega \Psi + L_q \frac{di_q}{dt} \end{cases}$$

Задание: устранить ударное включение.

- Проинициализировать выход задатчика интенсивности текущей частотой вращения с ДПР
- Проинициализировать интегральную часть регулятора оси q текущим значением ЭДС (умножением Debug на частоту вращения)
- Повторить ряд опытов «подхвата», настроить Debug для мягкого включения.
- На осциллограммах смотреть токи, напряжения регуляторов, также полезным будет смотреть скорость.

Задание 6

Если разрешить рекуперацию (Настройки СУ.Рекуперация), то при $3И == 0$ попытка резко затормозиться приводит к срабатыванию защиты по превышению U_{dc} . Можно предотвратить эту аварию, вовремя снизив момент, если напряжение U_{dc} начало расти.

- Сделать «релейный» ограничитель момента: если напряжение на U_{dc} (adc . U_{dc_meas}) выше 37В, то задавать 0 на регулятор оси q , иначе задавать выход регулятора скорости.
- Сделать пропорциональный ограничитель момента: начиная с 37В линейно снижать задание момента с дальнейшим ростом напряжение на U_{dc} . Это удобно сделать в виде двух уставок, напряжения начала работы регулятора (37В) и напряжения, где выход момента должен быть нулевой (39В). Между этими напряжениями производится линейная интерполяция, вырабатывая «коэффициент ослабления момента» от 1 до 0. Т.е. коэффициент должен быть равен 1 при напряжении 37В и ниже, изменяться от 1 до 0 линейно от 37В до 39В, и быть 0 при напряжении выше. Коэффициент ослабления момента умножается на выход регулятора скорости и передается в задание регулятора I_q .
- * чтобы синхронизировать осциллограф по событию рекуперации – можно использовать Debug. Можно написать, что если дебаг равен 1, то запустить осциллограф и присвоить задание скорости равным нулю и присвоить дебаг равным 0.