

3. Распопов Е.В. Электрические системы и сети. Качество электроэнергии и его обеспечение: конспект лекций. – Л.: СЗПИ, 1990. – 48 с.
4. Гитгарц Д.А., Мнухин Л.А. Симметрирующие устройства для однофазных электротермических установок. – М.: Издательский центр «Энергия», 1974. – 120 с.
5. Сидоров С.А., Рогинская Л.Э. Симметрирование трехфазных сетей при несимметричной нагрузке: сб. науч. тр. / Интеграция образования, науки и производства в условиях многоуровневого профессионального образования. – Кумертау: филиал Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т, 2014. – С. 167–169.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЧАСТОТЫ ДИСКРЕТИЗАЦИИ КОНТУРА ТОКА СИСТЕМЫ ИРН-ДПТ В СРЕДЕ MEXBIOS

Быковских П.В.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Цель данной статьи – показать возможность и адекватность работы высокопроизводительного микропроцессора в режиме работы с минимальной частотой квантования, достаточной для устойчивого функционирования системы в целом, рассмотренной на примере системы управления ДПТ в контуре тока.

Актуальность данной тематики очень важна в современных электроприводах, эксплуатируемых в нашей стране. В настоящее время Российская оборонная промышленность и различные гос. корпорации переходят на системы управления электроприводами с использованием отечественных микропроцессоров, которые, к сожалению, отстают от западных в технологическом развитии примерно на 10 лет. В работе представлены результаты исследований, которые доказывают, что возможно получить регулирование координаты электропривода высокого качества (в данном случае тока якоря ДПТ) при невысокой производительности микропроцессора. Благодаря этому возможно составить конкуренцию ведущим западным производителям микропроцессорной техники, таким как Китай и США, в области программно-аппаратной реализации подобных систем управления.

Исследования проведены на лабораторном стенде МСВ-02 с источником питания 24 В постоянного тока и двигателем марки SVF5539 [1].

Система управления ДПТ реализуется на сигнальном микроконтроллере производства фирмы *Texas Instruments* и обеспечивает формирование ШИМ-сигналов управления четырьмя ключами по цепи якоря на базе многоканального ШИМ-генератора менеджера событий. Обратные связи по току якоря реализуются с помощью гальванически развязанных датчиков тока, выходные сигналы которых вводятся в контроллер через АЦП. Регуляторы тока реализованы программным способом. Система управления ДПТ реализована по принципу подчинённого регулирования и включает в себя три контура регулирования: тока, скорости и положения.

Синтез трёхконтурной системы управления ДПТ реализован методом визуального программирования в программной среде *MexBIOS™ Development Studio*, разработанной в лаборатории Микропроцессорных систем управления электроприводами кафедры ЭПЭО ЭНИН ТПУ [2].

Настройка контура тока. Структурная схема представлена на рис. 1а. Данный контур теоретически можно настроить по методике Кесслера на модульный оптимум, обеспечивая предельное быстродействие при перерегулировании на уровне 4,3 %, приняв за малую некомпенсируемую постоянную времени величину

$T_{\text{шт}}=T_{\text{шт}}=1/2 \cdot f_{\text{ш}}=1/2 \cdot 5000=10^{-4}$ с. Полоса пропускания контура по управлению тогда будет равна $\omega_{\text{шт}}=0,707/ T_{\text{шт}}=0.707/10^{-4}=7070 \text{ с}^{-1}$ или $f_{\text{шт}}=1126 \text{ Гц}$.

Практически же на настройку будет существенно влиять дискретность системы, т.к. шаг расчета практически равен величине постоянной времени $T_{\text{шт}}=10^{-4}$ с. Соотношение между частотой квантования и полосой пропускания должно быть более $f_{\text{кв}}/f_{\text{шт}} > 10 \dots 20$. Кроме того, обеспечивать полосу пропускания в контуре тока более 200...500 Гц, как правило, не нужно.

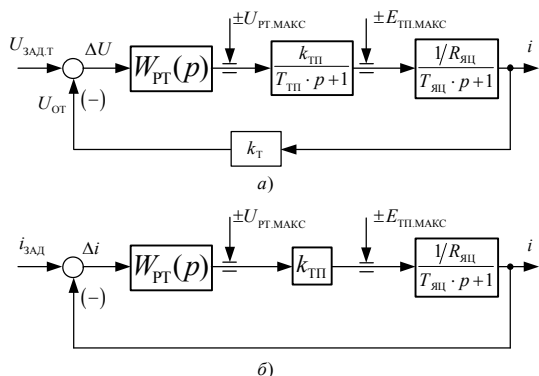


Рис. 1. Структурная схема контура тока

Тогда при настройке сделаем следующие допущения:

с учетом максимальной частоты расчета в ядре микроконтроллера 10 кГц аperiodическим звеном пренебрегаем;

обратную связь считаем безынерционной и настроенной на коэффициент $k_{\text{д}}=1$;

требуемая полоса пропускания в контуре тока $f_{\text{од}}=200 \text{ Гц}$.

Тогда схему можно преобразовать к виду рис. 1б. После теоретической настройки контура необходимо обратиться к среде **MexBIOS**, в которой составляется алгоритм управления (рис. 2) с заданием всех необходимых условий и расчетных параметров: частоты дискретизации, постоянных времени, пропорционального и интегрального коэффициентов ПИ-регулятора.

При уменьшении частоты дискретизации в контуре вниз 10 кГц мы установили нижний предел частоты, при которой контур тока сохраняет свою устойчивость. Переходные процессы отслеживались на виртуальном осциллографе при задании входных воздействий на ПИ-регулятор тока.

Эксперимент производили при следующих частотах дискретизации: 10 кГц; 5 кГц; 1 кГц и 800 Гц. На рисунках 3...7 приведены временные диаграммы полученные в контуре тока при использовании генератора прямоугольных импульсов при малом задании $I=0,25 \text{ А}$ (ПИ-регулятор не входит в насыщение, т.е. переменная задания не достигает сигнала ограничения). Для более наглядной оценки и анализа полученных диаграмм, отработанный сигнал задания сглаживается через аperiodическое звено третьего порядка.

На рис.4 получен переходный процесс без использования фильтра, по нему видно, что отработанный сигнал имеет большое количество пульсаций тока. Это характерная особенность появляется в ШИМ при коммутации силовых ключей, в данном случае IGBT транзисторов.

При частоте $f=800 \text{ Гц}$ отработка задающего прямоугольного сигнала происходит с недорегулированием (рис.7). Если величина недорегулирования составляет менее 30% от заданного воздействия, то считается что, контур работает с максимальными отклонениями от заданных значений.

Недорегулирование определяется как разность между заданным и отработанным сигналами: $\Delta=(I-I_{\text{ф}})/I \cdot 100=(0,25-0,18)/0,25 \cdot 100=28\%$. Во время исследования установлено, что в интервале частот дискретизации 2...5 кГц наблюдается существенная вибрация якоря ДПТ, а в диапазоне от 1 кГц и ниже – характерное подергивание якоря ДПТ.

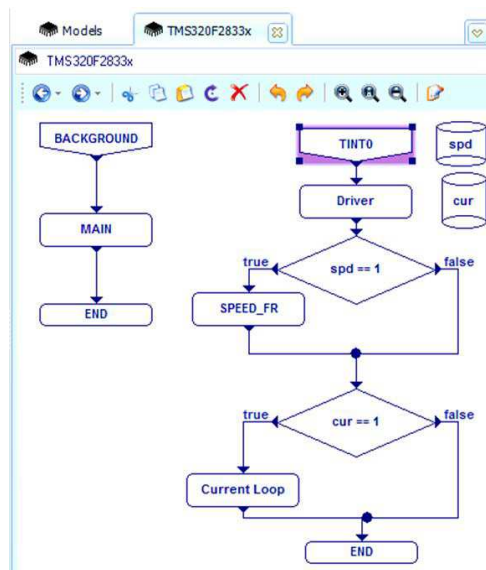


Рис. 2. Алгоритм управления

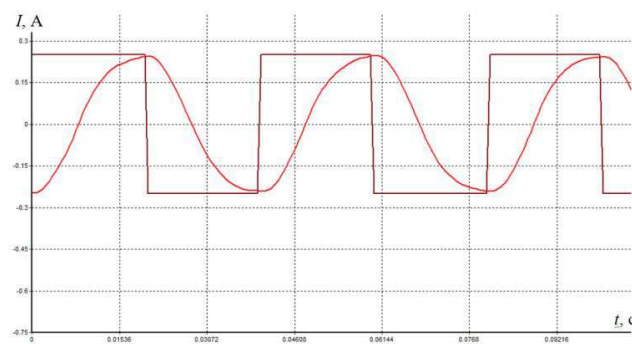


Рис. 3. Отработка задающего воздействия при частоте дискретизации $f = 10 \text{ кГц}$, $I = 0.25 \text{ А}$.

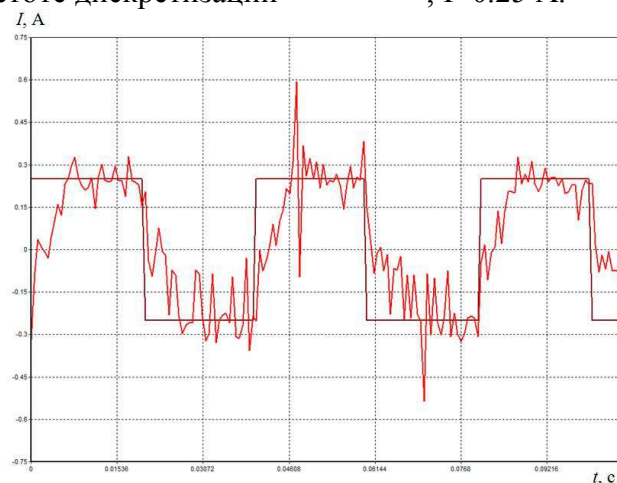


Рис. 4. Отработка задающего воздействия при частоте дискретизации $f = 10 \text{ кГц}$, $I = 0.25 \text{ А}$ без использования апериодического фильтра третьего порядка

При уменьшении частоты дискретизации от $f = 10 \text{ кГц}$ и ниже происходит расширение спектра входного сигнала, что приводит к изменению масштаба некоторой части исходного спектра и к заполнению сигнала спектральными составляющими. Опасность этой операции состоит в том, что «крупный план» спектра может превысить границу – частоту Найквиста [3].

Превышение приведет к совмещению участков спектра, и тогда будет невозможно вернуть необходимую часть сигнала. Совмещение сигналов не будет, пока исходная полоса, занимаемая сигналом, меньше чем $1/2$ от половины частоты дискретизации.

При $f = 5 \text{ кГц}$ (рис.5) коэффициент уменьшения частоты дискретизации сигнала был равен 2, и следовательно, полоса, занимаемая сигналом удвоилась.

Согласно теории, частоту дискретизации не следует уменьшать ниже частоты Найквиста, однако в ходе проведенных экспериментов выяснилось, что контур тока обрабатывает заданный сигнал при частоте дискретизации не ниже $f = 1 \text{ кГц}$ (рис.6) [4].

Преимущества уменьшения частоты дискретизации:

- снижает требуемую вычислительную мощность ядра микроконтроллера;
- снижает количество отсчетов во временной области, которое необходимо обработать, это позволяет

ускорить вычисления и обрабатывать более широкополосные сигналы;
– уменьшает потребляемую мощность (что особо важно при батарейном питании);
позволяет увеличить отношение сигнал/шум за счёт предварительной фильтрации, за которой следует собственно уменьшение частоты дискретизации.

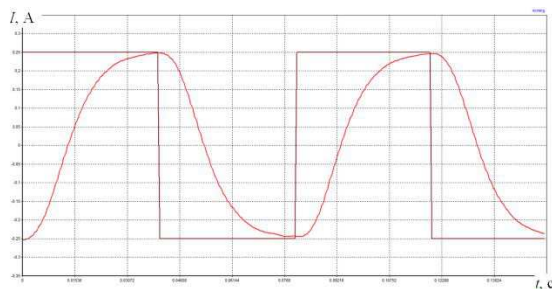


Рис. 5. Обработка задающего воздействия при частоте дискретизации $f = 5 \text{ кГц}$, $I = 0.25 \text{ А}$.

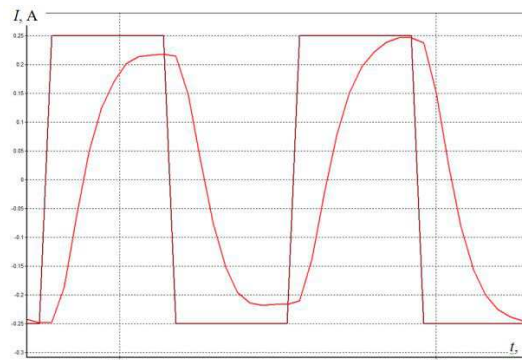


Рис. 6. Обработка задающего воздействия при частоте дискретизации $f = 1 \text{ кГц}$, $I = 0.25 \text{ А}$.

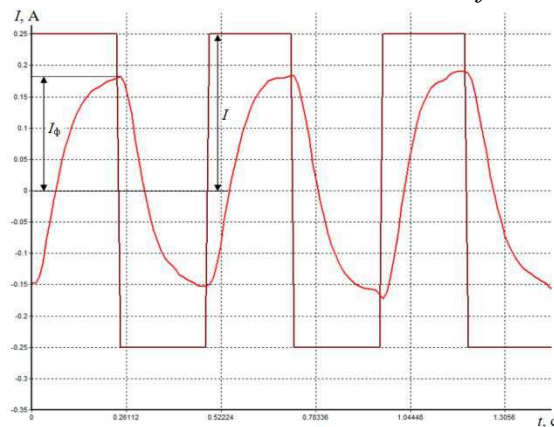


Рис. 7. Обработка задающего воздействия при частоте дискретизации $f = 800 \text{ Гц}$, $I = 0.25 \text{ А}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. ООО «НПФ Мехатроника-Про». [Электронный ресурс] – электрон. текст. Методика создания системы управления двигателем постоянного тока – Томск: 2011_2014 Режим доступа: <http://www.mechatronica-pro.com/upload/products/positions/pdf>.
2. ООО «НПФ Мехатроника-Про». [Электронный ресурс] – электрон. текст. Дан. Начало работы – руководство для новых пользователей. – Томск: [б.и.], 2011-2014 – Режим доступа: <http://www.mechatronica-pro.com/ru/blog/>
3. Встраиваемые высокопроизводительные цифровые системы управления.: учеб. пособие / А.С. Анучин, Д.И. Алямкин, А.В. Дроздов и др.; под общ. ред. В.Ф. Козаченко. – М.: Издательский дом МЭИ, 2010. – 270 с.
4. Федосов В. П., Нестеренко А. К. Цифровая обработка сигналов в LabVIEW: учеб. пособие / под ред. В. П. Федосова. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 456 с.