

## ЛИНЕЙНЫЙ ПРИВОД ДЛЯ АНТРОПОМОРФНОГО РОБОТА ROTTO

Область управления двуногими шагающими машинами (роботами) требует решения ряда инженерных задач, таких как стабилизация центра масс, стабилизирование ходьбы, взаимодействие с окружающим миром и т.д. Особый интерес представляет ходьба робота с минимальными затратами энергии или баллистическое управление. Для его реализации робот должен быть построен на приводах, обладающих высокой динамикой и высоким КПД при передаче энергии от электродвигателя в механизм и обратно. Стандартным решением является непосредственная установка редуктора в сустав для увеличения вращающего момента. Такой редуктор должен быть без зазора и обладать повышенной прочностью в силу высоких нагрузок. Выполнение второго требования приводит к увеличению массы редуктора и массы всего робота. Трудности выполнения механической конструкции редуктора без зазора увеличивают его стоимость.

Свойственные человеку линейные актуаторы (мышцы) были собраны в альтернативном варианте реализации привода с использованием передачи винт-гайка. На рис. 1 показан робот ROTTO (без рук и головы), собранный из унифицированных модулей приводов. В конструкции робота все узлы изготовлены из алюминия и углеволокна, что позволяет добиться высокой прочности при небольшой массе. Модульная структура робота позволила выполнить производство деталей в короткое время, упростить сборку конструкции и обеспечивать взаимозаменяемость приводов. На рис.2 показан разработанный модуль привода. Синхронный трехфазный двигатель 2 (возбуждение постоянными магнитами) с импульсным датчиком 1 закреплены на раме 3, которая может двигаться в двух степенях свободы относительно внешнего крепления 6 за счет кардана 5. С помощью ремня 4 вращающий момент с двигателя передается на винт 7, по которому ходит закрепленная в подвижной раме 9 шариковая гайка 10. Между подвижной рамой и шариковой гайкой предусмотрена возможность встраивания эластичного элемента с целью введения упругости в систему. Линейное перемещение гайки передается за счет подвижных направляющих 12 к шариковому креплению 13. На неподвижных рамах 3, 4 закреплен модуль управляющей электроники 8.

Для управления трехфазным синхронным двигателем разработан блок электроники, который содержит трехфазный силовой мост, драйвер силовых ключей, датчики тока, работающие на эффекте Холла, дифференциальный SPI-интерфейс связи с внешними датчиками. Основой выступает сетевой коммуникационный контроллер NetX 500 фирмы Nilscher [1], который выполняет следующие задачи:

- сбор информации с импульсного датчика на валу двигателя, тензодатчиков в стопах робота (измерение сил), магнитного датчика поворота выходной оси, датчиков линейного усилия и гироскопа;
- управление трехфазным силовым мостом;
- векторное управление синхронным двигателем с регулированием тока (скорости, положения - опционально);
- обмен данными с центральной вычислительной машиной (ЦВМ) по сети Ethernet с помощью промышленного протокола передачи данных в реальном времени EtherCat.

На рис. 3 представлена структурная схема регулирования токов статора синхронного двигателя, которая реализована в контроллере NetX 500. Регулирование токов происходит в координатных осях  $dq$ , позволяющих регулировать потокообразующую и моментобразующую части токов статора независимо друг от друга.

Измеренные АЦП токи статора ( $i_a, i_b$ ) и рассчитанный  $i_c$  преобразуются с помощью тригонометрических преобразований (Clarke-Park) во вращающуюся систему координат ( $i_d, i_q$ ). Далее ПИ-регулятор тока



Рис 1. Антропоморфный робот ROTTO

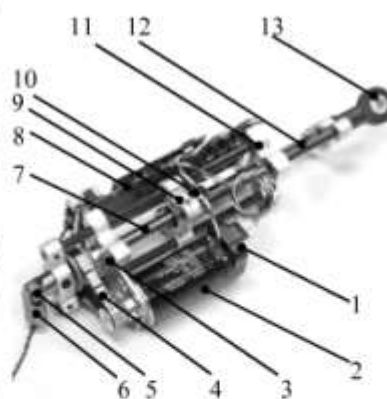


Рис 2. Модуль линейного привода

рассчитывает задание напряжения статора по ошибке регулирования ( $e_{\alpha}, e_{\beta}$ ). Из-за наличия в сигнале тока шума перед регулятором предусмотрена фильтрация. После ограничения напряжения статора происходит обратное преобразование напряжений в неподвижную систему координат abc и расчет пространственно-векторной модуляции для управления 3х-фазным инвертором.

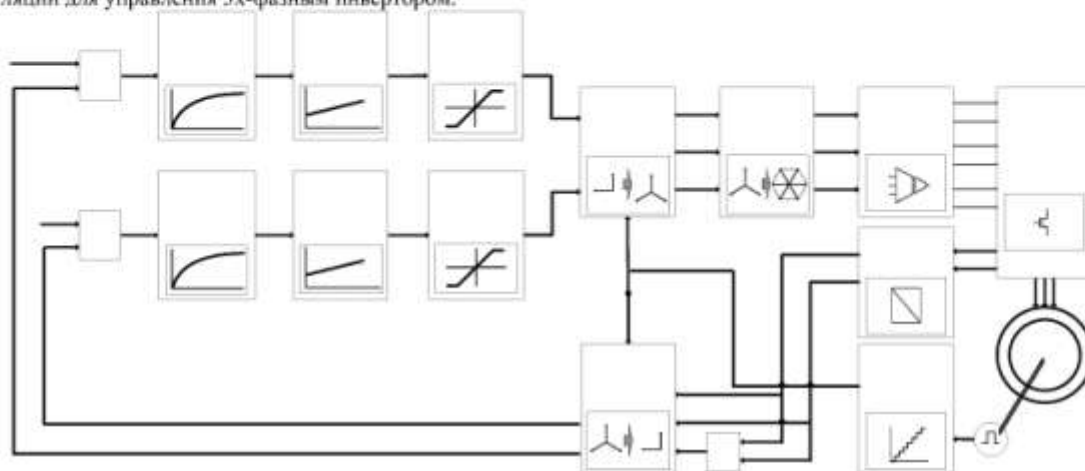


Рис. 3. Структурная схема системы регулирования токов синхронного двигателя

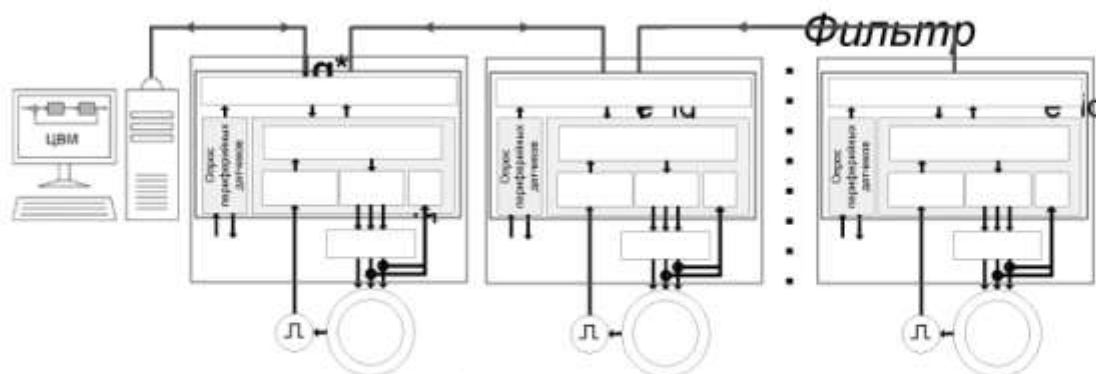


Рис. 4. Схема обмена данными приводами и ЦВМ

Рассмотренная система регулирования работает с периодом 36мкс в четкой синхронизации с аппаратным блоком генерации широтно-импульсной модуляции контроллера. Параллельно с задачей регулирования происходит циклический обмен данными с ЦВМ и опрос периферийных датчиков. На рис. 4 показана полная сетевая структура для обмена данными между приводами и ЦВМ.

Обмен данными с ЦВМ ведется по промышленному протоколу EtherCat с четким периодом коммуникации (1мс). Это даёт возможность строго выдерживать период расчета внешних контуров регулирования скорости, положения, силы и т.д. на ЦВМ, которые синхронизованы с периодом коммуникации. На каждом периоде регулирования ЦВМ отсылает в сеть задания на токи приводам, а в ответ принимаются текущие положения и скорости двигателей, и информация с периферийных датчиков. Полная модель управления двигателями и роботом в целом строится в системе математического моделирования MATLAB/Simulink. Входящий в пакет Simulink блок функций xPC-Target [2] позволяет проинсталлировать на ЦВМ операционную систему реального времени и запустить расчет модели управления (собранную в Simulink) в реальном времени.

Разработанный модуль линейного привода удовлетворяет высоким требованиям построения шагающих машин. Простота встраивания модуля в механическую конструкцию робота позволяет использовать его не только в высоконагруженных суставах, но и в суставах с малыми нагрузками при использовании двигателя меньшей мощности. Широкие коммуникационные, периферийные и вычислительные способности контроллера NetX 500, использованного в регулировании тока, сборе информации с внешних датчиков и коммуникации с ЦВМ, позволили не только централизованно управлять приводами, но и иметь полную информацию о состоянии робота.

1. <http://hilscher.com> ; 2. <http://www.mathworks.com/products/xpctarget/>