

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 обеспечивает 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 Hilscher [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.

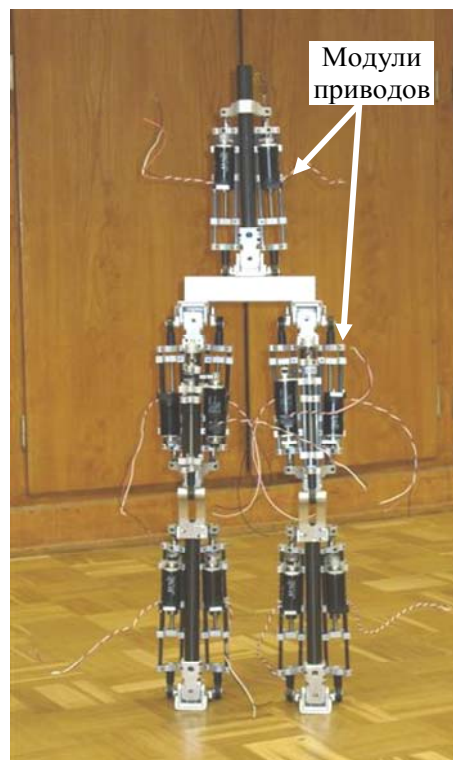


Рис 1. Антропоморфный робот ROTTO

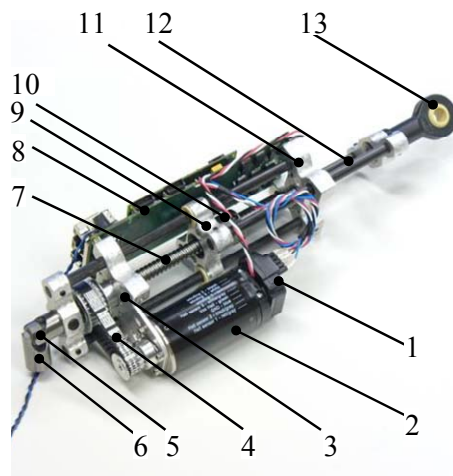


Рис 2. Модуль линейного привода

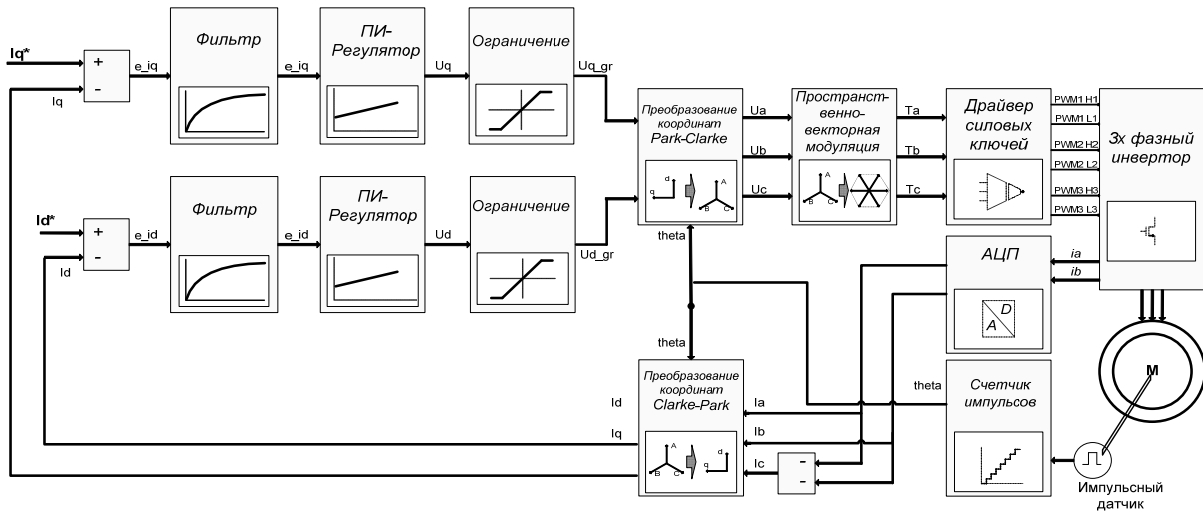


Рис 3. Структурная схема системы регулирования токов синхронного двигателя

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 рассчитывает задание напряжения статора по ошибке регулирования (e_{id}, e_{iq}). 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.

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.

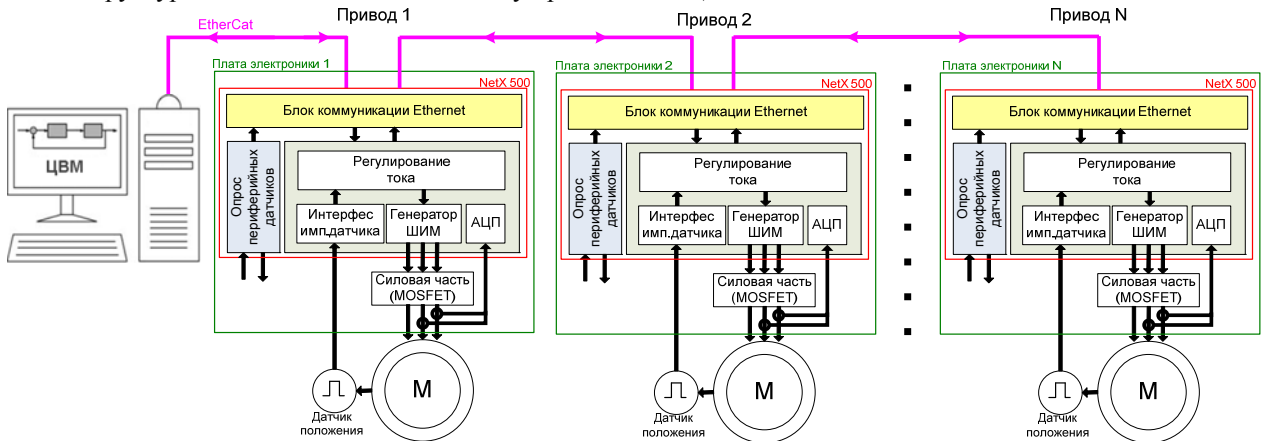


Рис. 4 Схема обмена данными приводами и ЦВМ

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 синхронизированы с периодом коммуникации. На каждом периоде регулирования ЦВМ отправляет 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 (собранный 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/>