

**НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ ЛИНЕЙНОГО СЕРВОПРИВОДА НА КАФЕДРЕ
 АЭП НИУ МЭИ**

В современном машиностроении процесс внедрения безредукторных («прямых») электроприводов, построенных на базе цифровых управляющих устройств (или цифровых сервоусилителей ЦСУ) и синхронных машин с постоянными магнитами (СМПМ) с самокоммутацией, работающих в режиме вентильного двигателя (ВД), носит повсеместный характер. Преимущество «прямого» электропривода очевидно: отсутствие промежуточного механического преобразователя обеспечивает жесткую связь электрической машины с рабочим органом и, как следствие, повышение динамики и качества движения и позиционирования электропривода, а использование в электроприводе СМПМ (вращающихся или линейных) позволяет реализовывать относительно несложные структуры управления, за счет простоты математического описания [1].

Разработки «прямого» линейного электропривода на базе линейных ВД ведутся на кафедре АЭП НИУ МЭИ с 2011 года. В настоящее время изготовлены и испытаны опытные образцы электроприводов (линейных осей) на базе линейных синхронных машин с пазовым якорем серии МСЛ мощностью 1 кВт, 4 кВт и 8 кВт. «Серво» режим в электроприводах реализуется за счет использования высокоточных оптических датчиков линейных перемещений и соответствующей схемы управления, реализующей режимы позиционирования и траекторного движения. Некоторые параметры сервоприводов на базе машин серии МСЛ приведены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры сервоприводов на базе линейных машин серии МСЛ.

Линейная машина	МСЛ-0,6-2,2-К	МСЛ-1,5-3-В	МСЛ-2-4,6-В
Продолжительная сила, Н	600	1500	2000
Пиковая сила, Н	1200	3000	4000
Продолжительный ток фазы (действ.), А	4	10	20
Пиковый ток фазы, (действ.), А	8	20	40
Коэффициент силы, Н/А (ампл.)	106,4	106,4	70,9
Напряжение питания UDC, В	300	528	528
Номинальная скорость, м/с	2,2	3	4,6
Механическая мощность, кВт	1	4	8
Рекомендуемый ЦСУ	ЦСУ-380-12	ЦСУ-380-24	ЦСУ-380-24
Ход линейной оси, м	1	1	0,8

Существенная часть разработки посвящена реализации структуры управления линейного сервопривода. За основу взята комбинированная разомкнуто-замкнутая система управления с каскадным (или подчиненным) включением регуляторов тока, скорости и положения (рис. 1), настройка которых проводится методом последовательной коррекции. Генерация траектории движения производится в блоке ГТ (генератор траектории). Регулятор тока вместе с инвертором напряжения, линейной СМПМ с датчиками тока и перемещения и задатчиком тока (ЗТ) включены в состав вентильного двигателя.

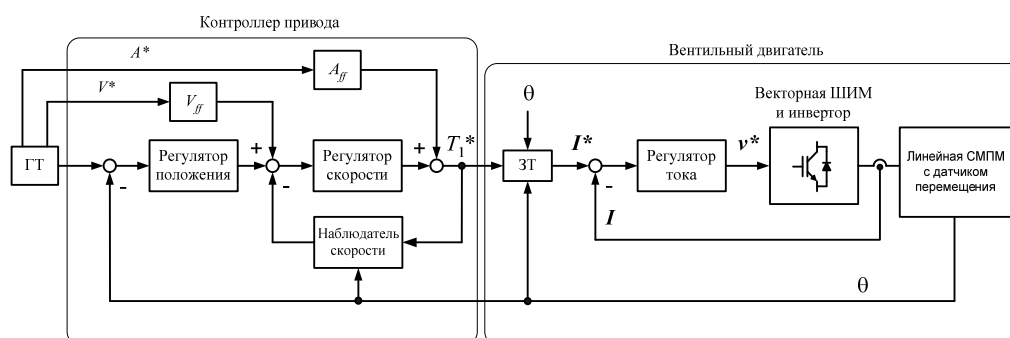


Рис. 1. Структура управления линейного сервопривода.

Системы с подчиненным регулированием достаточно распространены и часто используются при синтезе цифрового электропривода. Их преимущества очевидны – простота реализации, известные методы выбора параметров используемых регуляторов. Базовая структура управления сервопривода дополнена рядом функций и решений, наличие которых стало стандартом при разработке программного обеспечения современного конкурентоспособного сервопривода. Короткое описание некоторых основных функций и методик повышения качества сервопривода приведено ниже.

Коррекция сигналов датчика перемещения.

Оптические датчики линейных перемещений требуют достаточно высокой точности их механической установки и юстировки. Наклон, разворот или неравномерность зазора измерительной головки относительно измерительной шкалы оптического датчика, например, с выходными синусно-косинусными сигналами с размахом 1В вызывает неравенство амплитуд и смещение фаз его выходных сигналов. В программном обеспечении сервоусилителей серии ЦСУ предусмотрен блок автоматической коррекции фигуры Лиссажу датчиков перемещений. Результаты авто-коррекции - увеличение реального разрешения сигнала обратной связи, уменьшение шумов обратной связи по положению и пульсаций скорости.

Автофазирование.

Процесс совмещения положительного направления счета датчика перемещения и условно положительного направления движения машины, а также совмещение начала отсчета угла датчика перемещения с продольной осью d вентильного двигателя (при управлении в подвижной системе координат dq) предлагается объединить термином «Автофазирование». Первая процедура необходима для корректной организации путевой обратной связи, вторая – для определения оптимального угла коммутации синхронной машины. Обе процедуры являются стандартными функциями программного обеспечения всех современных блоков управления и необходимыми при переходе электропривода в «серво» режим.

Компенсация зубцового усилия.

Недостаток пазовых линейных СМППМ - значительное зубцовое усилие, которое в машине МСЛ-1,5-3-В (мощностью 4 кВт) может достигать 5% от продолжительной силы, и, таким образом, является существенным внутренним возмущением, отрицательно влияющим на плавность хода электропривода и точность отработки траектории движения. Для компенсации этого возмущения разработан метод коррекции управляющего воздействия вентильного двигателя (задания силы), использующий табличные значения заранее идентифицированного зубцового усилия в функции перемещения. В результате применения методики компенсации существенно удалось снизить пульсации скорости, связанные с действием зубцового усилия и увеличить точность траекторного движения на низких и средних скоростях.

Наблюдатель скорости.

Для реализации замкнутого контура скорости может использоваться или прямое дифференцирование путевой обратной связи или наблюдатель скорости. Первый метод не всегда является лучшим решением для цифрового электропривода, из-за появления дополнительных шумов связанных с дифференцированием квантованного по уровню и по времени сигнала обратной связи по положению. Применение наблюдателя при расчете обратной связи по скорости позволило существенно снизить ошибку квантования и расширить полосу пропускания электропривода.

Программное управление положением, скоростью и моментом.

Устранение действия насыщения и увеличение точности позиционирования сервопривода достигаются совместным использованием «прямой» связи (программное управление положением, скоростью и моментом) и обратной связи (регулирование по отклонению координат электропривода). В структурах с таким комбинированным управлением удается существенно снизить ошибку отработки задания положения и скорости.

Генератор траектории с кусочно-постоянным рывком.

Реализация комбинированной системы управления с программным управлением скоростью и моментом возможна только при наличии сигналов задания положения, скорости и ускорения, или программного вектора механических переменных $[\theta^*, V^*, A^*]$, который синтезируется генератором траектории ГТ (рис. 1). Генератор траектории содержит, по сути, упрощенную модель идеального вентильного двигателя, на основании которой рассчитывается программа положения, скорости и усилия путем последовательного интегрирования задания рывка.

Список литературы:

- [1] Балковой А.П., Цаценкин В.К. Прецизионный электропривод с вентильным двигателем.: МЭИ, 2010.