

**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 самокоммутиацией, 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.

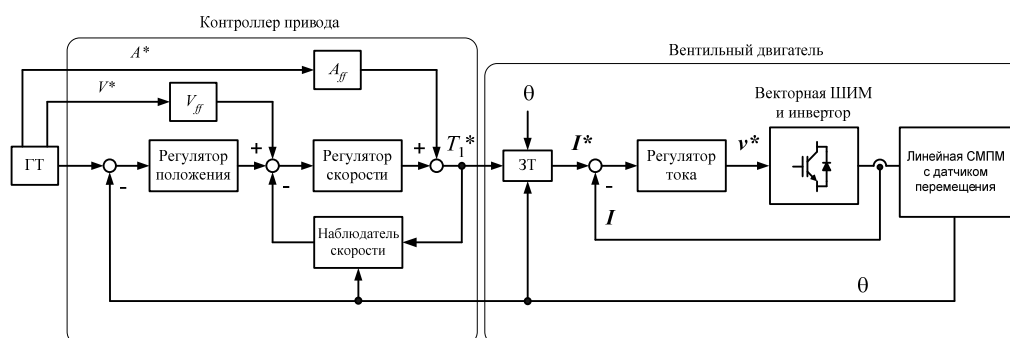


Рис. 1. Структура управления линейного сервопривода.

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.