

## Тезисы доклада «Привод прямого действия – базовый элемент координатных систем с нанометровым разрешением»

Автор: Жарский Владимир Владимирович

Фирма: ООО «Рухсервомотор»

Современный уровень автоматизации в большинстве областей деятельности человека принял глобальный геополитический характер и во многом стал индикатором эффективности общественно-экономических отношений. В таких важных отраслях промышленности, как точное приборостроение и машиностроение, вообще невозможно себе представить какое-либо производство без поддержки комплексных автоматических машин и автоматов.

Базовым исполнительным элементом во всем существующем многообразии систем автоматизации являются преобразователи электромагнитной энергии в механическую энергию. Машина, осуществляющая такое преобразование, в общем случае называется электромеханическим преобразователем (ЭМП). При этом уровень развития и технические возможности ЭМП во многом определяют уровень автоматизации, а зачастую - саму возможность внедрения передовых технологий.

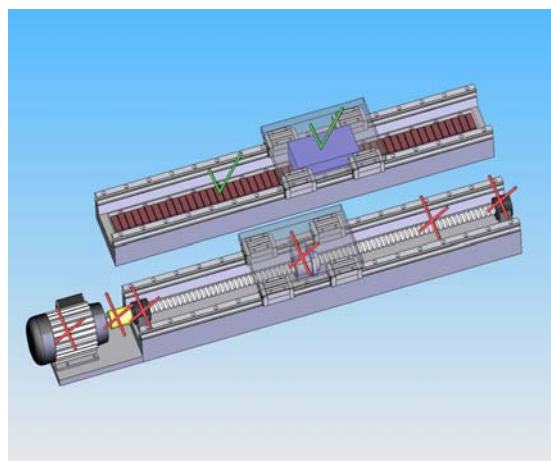
В большинстве современного автоматизированного оборудования в качестве базой системы электропривода используют вращательные электрические моторы, где с помощью сложнейших механических трансмиссий вращательное движение преобразуется в целую гамму линейных обратного-поступательных движений. И именно механическое преобразование вращательного движения ротора двигателя в линейное перемещение исполнительного механизма накладывает ряд существенных ограничений и не позволяет обеспечить требуемую динамику и точность работы всей системы в целом.

На Рис.1 приведена классическая схема реализации линейного перемещения с использованием шарико-винтовой пары (нижний эскиз). Даже в самом прецизионном исполнении данной конструкции и сложно избавиться от влияния люфтов в ходовой гайке и удерживающих подшипниках и упругих деформаций ходового винта и соединительной муфты.

*Вопросы обеспечения необходимых динамических показателей при сохранении программного управления как траекторией движения, так и точностью позиционирования, рассматриваются в представленном докладе на примере использования систем прямого привода.*

Само название этого типа электропривода объясняет главное его преимущество – прямое преобразование программно-управляемого движения вектора электромагнитного поля в механическое обратное-поступательное движение якоря двигателя. На Рис.1 (верхний эскиз) приведен линейный синхронный двигатель.

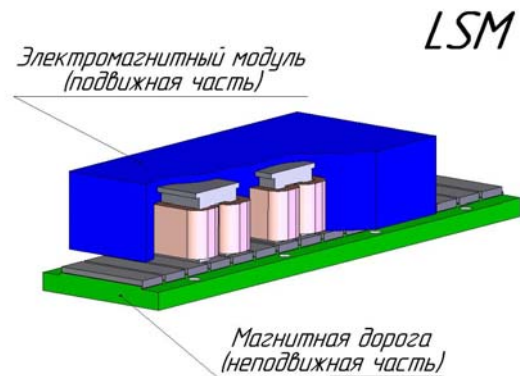
Практически при одинаковом конструктивном решении линейных направляющих с традиционной конструкцией, линейный двигатель включает две дополнительные части: магнитную дорогу и электромагнитный блок катушек. В свою очередь традиционная реализация включает комплектный электродвигатель, соединительную муфту, прецизионный ходовой винт с гайкой, подшипники заделки концов винта. Все эти



дополнительные элементы негативно сказываются на точностных и динамических характеристиках изделия и существенно снижают показатель надежности работы.

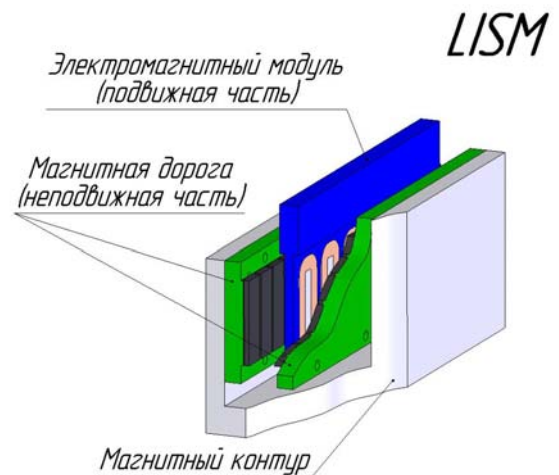
Существует несколько разновидностей систем прямого привода отличающихся конструктивной реализацией. В докладе дана классификация систем прямого привода, приведены основные технические характеристики двигателей прямого действия и рассмотрены области применения.

Классический вариант реализации линейного двигателя приведен на рис. LSM. Блок электромагнитных модулей выполнен в виде алюминиевого корпуса с набором крепежных отверстий и, при необходимости, системой водяного охлаждения для мощных электродвигателей. В корпус встраивается набор шихтованных сердечников из электростали, несущих на себе катушки из медного провода или медной шины. Взаимное геометрическое расположение сердечников с катушками позволяет, при определенной схеме коммутации, обеспечить бегущее магнитное поле в нижней плоскости двигателя. Широкое применение этот тип двигателя прямого действия получил в портальных конструкциях различного назначения, начиная от систем автоматической упаковки и плазменного/лазерного раскроя материала и заканчивая прецизионными электроэрозионными станками, гравировальными машинами и транспортными систем.



Следующий распространенный тип привода прямого действия приведен на рис. LSIM и представляет собой блок катушек в магнитном поле симметрично расположенных магнитных дорог. Основное отличие данной конструкции от мотора LSSM – отсутствие сердечников(магнитопроводов) внутри электромагнитного модуля. Разумеется это значительно снижает плотность магнитного поля в рабочем зазоре двигателя и позволяет развивать длительное усилие всего лишь до нескольких сотен ньютонов. Но при этом пиковые усилия, в силу отсутствия влияния насыщения сердечников, могут достигать нескольких килоньютонов.

Данный тип прямого привода, при отсутствии сил магнитного притяжения, имеет также относительно низкое значение индуктивности, что позволяет создавать прецизионные координатные системы с наилучшими показателями динамической точности. Основная область применения для данного двигателя - автоматизация процессов производства в электронной промышленности и точном приборостроении.



В докладе рассмотрены также базовые принципы построения прецизионных линейных осей для точного приборостроения с учетом выбора линейных подшипников и датчиков обратной связи.

Исходя из второго закона Ньютона, сумма проекций векторов всех сил, приложенных к телу, всегда равна произведению массы тела на проекции ускорений по выбранным осям координат.

$$ma = \sum F_n$$

В свою очередь, сумма проекций сил включает в себя:

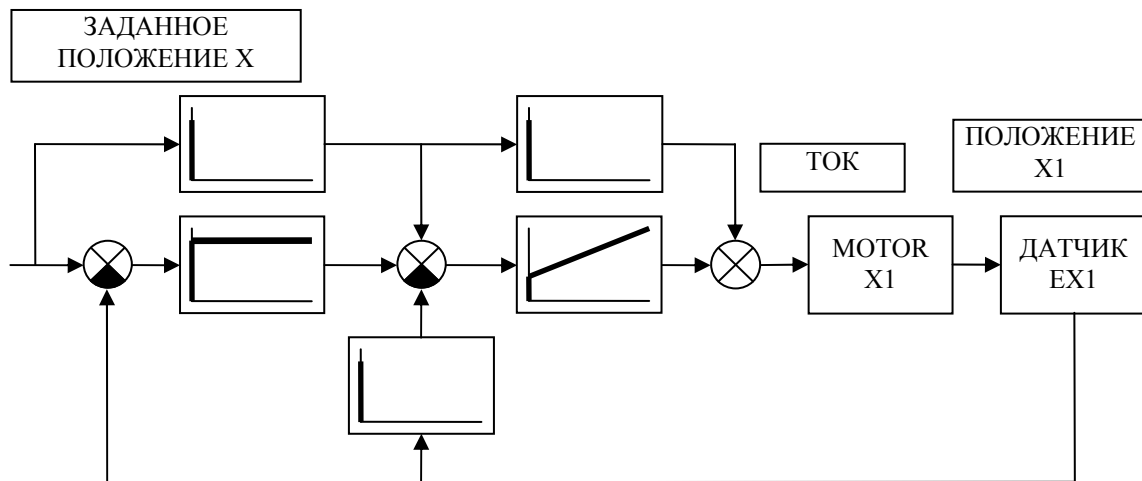
$$\sum F_n = F_{tr} + F_v + F_p$$

Где:  $F_{tr}$  – сила сухого трения,  
 $F_v$  – сила вязкого трения,  
 $F_p$  - тяговая сила ЭМП

*В докладе также уделено внимание системным вопросам построения частотного инвертора и теории автоматического управления прямым приводом с точки зрения реакции на управляющее и возмущающее воздействие и получения необходимого уровня квантования (разрешения) по тяге ЭМП.*

Рассчитанное обработчиком прерываний реальное положение используется в качестве сигнала обратной связи регулятором положения. Регулятор является комбинированным (управление как по заданию, так и по отклонению) двухконтурным регулятором с инвариантным входом и содержит Регулятор положения и ПИ регулятор скорости.

Структурная схема регулятора представлена на рисунке ниже.



Силы трения  $F_{ор}$  – один из важнейших вопросов, корректное решение которых является определяющим при построении привода с нанометровым разрешением и в докладе обосновывается использование пневмоподшипников и приводится конструкция замкнутой безфрикционной пневмоподвески для осей подачи с практически детерминированными по коэффициентам вязкости силами вязкого трения.

Привод подачи включает в себя прецизионно шлифованную габбро-диабазовую плиту с подложками под пневмоподвеску. Каретка выполнена с монолитной стальной заготовки с интегрированной системой пневматических каналов и жиклеров, а также встроенным приводом прямого действия типа LSIM.

