

Особенности моделирования электрической трансмиссии транспортного средства на примере линейного тягового электрического привода

77-30569/216198

10, октябрь 2011

Сарач Е. Б., Стадухин А. А.

УДК 629.11.012.8

МГТУ им. Н.Э. Баумана

sarach@ya.rukjlactep@ya.ru

В наземном транспорте тяговый электропривод (ТЭП) используется достаточно давно. В качестве примера ТЭП в транспортных машинах можно привести всевозможные мотор-колёса и мотор-звёздочки. Наблюдается также тенденция совмещения рабочего элемента и статора или ротора электродвигателя, отказ от редукторов, организация так называемого ТЭП прямого действия.

Достоинства такого подхода очевидны – кинематически упрощается трансмиссия, что влияет на КПД. Так же это несёт значительные компоновочные преимущества.

В [1] предложен следующий способ совместить рабочий орган – движитель и ТЭП гусеничной машины: статор линейного двигателя разместить вдоль верхней ветви гусеницы, а в качестве ротора использовать гусеничный движитель. Такое решение выглядит выгодным, т.к. обычно пространство вокруг верхней ветви гусеницы ГМ не используется (рис. 1).

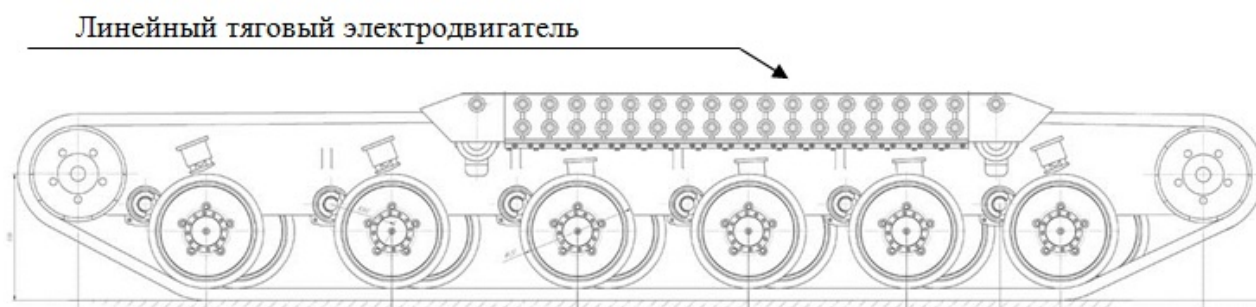


Рис. 1. Схема шасси гусеничной машины с линейным тяговым электродвигателем

Кроме того, это лишает конструкцию высоконагруженного зацепления ведущего колеса с гусеницей.

Из всего разнообразия электрических машин самой перспективной для данного применения является относительно новая вентильно-индукторная машина (ВИМ).

ВИМ значительно технологичнее прочих видов электрических машин и обладает простым по конструкции ротором, от которого требуется только хорошая магнитопроводность и развитая зубчатость.

По принципу действия ВИМ и его линейный вариант – вентильно-индукторная линейная машина (ВИЛМ), относятся к реактивным двигателям. В таких двигателях система статор-ротор стремится занять положение, в котором магнитное сопротивление минимально (иными словами: магнитная проводимость максимальна, магнитные линии максимально спрямлены) (рис. 2).

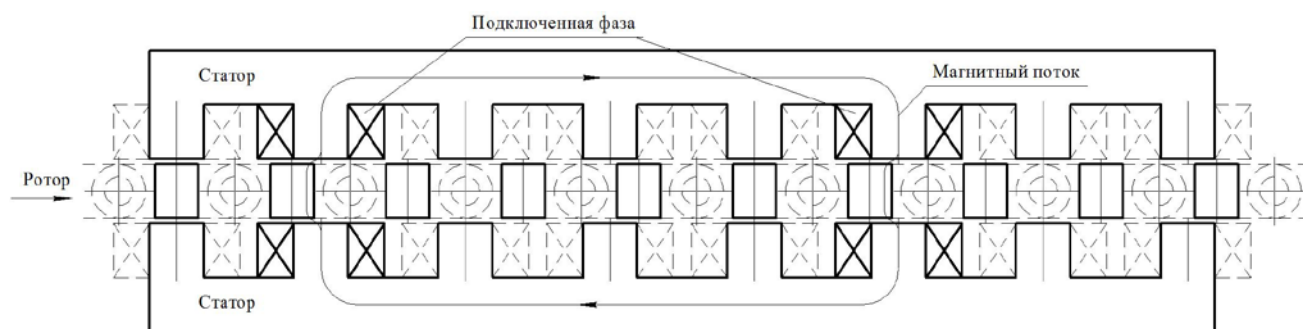


Рис. 2. Принцип работы ВИЛМ

Работа ВИМ не имеет какого либо установившегося режима и механические характеристики этого типа машин в большой степени зависят от алгоритмов и реализации системы управления.

Классические аналитические методики расчета и рекомендации по выбору характеристик электрических машин как постоянного, так и переменного токов в данном случае использовать затруднительно.

Это вызывает необходимость выявления новых принципов проектирования, базирующихся на имитационном математическом моделировании рабочих процессов, протекающих в ТЭП.

Таким образом, математическое моделирование ВИМ является достаточно важной задачей. Уже создано некоторое количество моделей с большой степенью достоверности описывающих работу ВИМ [2, 3]

Упомянутые модели созданы для моделирования обычного кругового двигателя и обладают некоторыми особенностями делающих затруднительными их адаптацию для моделирования ВИЛМ.

Так же эти модели больше ориентированы на изучение процессов преобразования энергии в электрической машине, чем на её механические характеристики.

В связи с этим была поставлена задача создать оригинальную модель, легко меняющую геометрию ВИЛМ и приспособленную для совместной работы с математической моделью транспортного средства.

Построение математической модели для исследования работы ВИЛМ целесообразно было выполнить в программном пакете Matlab/Simulink. Это высокоуровневое графическое средство программирования обладает высокой наглядностью, простотой понимания готовых моделей, встроенными средствами расчёта и большой библиотекой готовых блок-схем.

Готовая модель ВИЛМ, выполненная в программном пакете Matlab/Simulink, изображена на рис. 3.

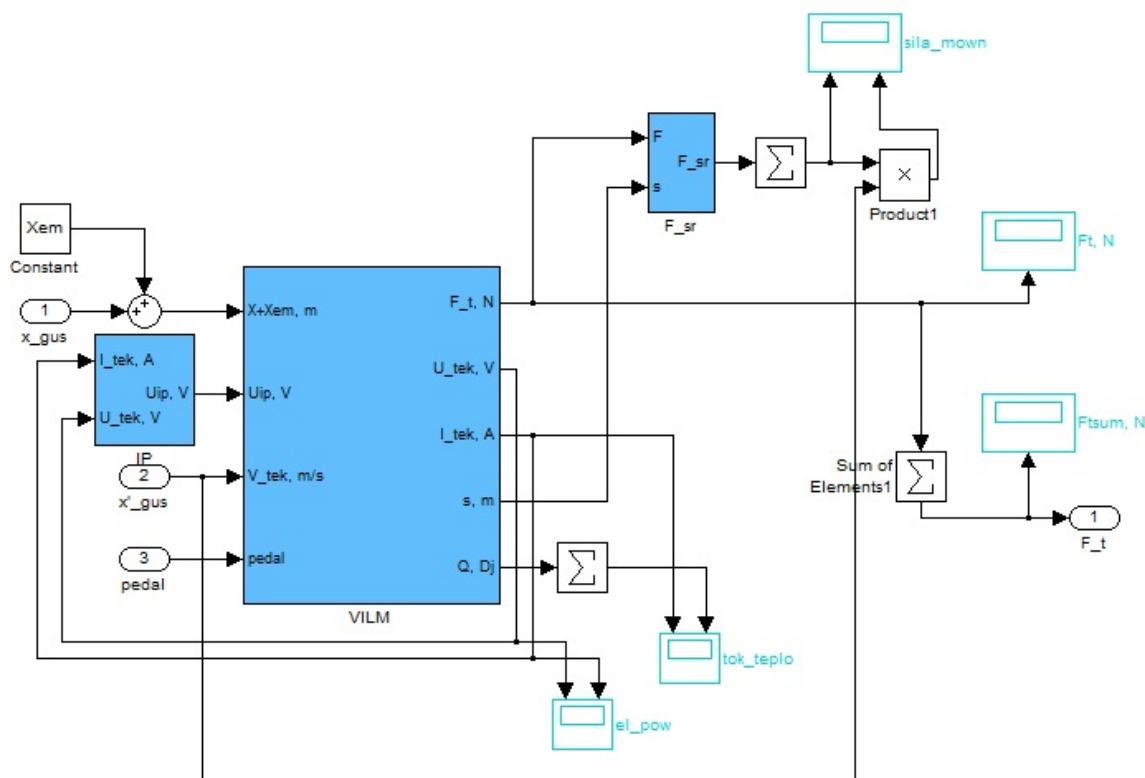


Рис 3. Модель ВИЛМ

Входными переменными для модели являются сигналы горизонтального перемещения гусеницы-ротора (блок «x_gus»), его скорости (блок «x`_gus»), и положения некого органа управления (блок «pedal»)

Выходным сигналом модели является развиваемая двигателем сила тяги (блок «F_t»).

Вычисления, связанные с электромагнитными преобразованиями энергии в электрической машине сведены в блок «VILM». Блок «IP» имитирует идеальный, источник питания конечной ёмкости.

При создании модели основной упор делался на возможность расчёта ВИЛМ с любым количеством фаз и их взаимным расположением. В связи с этим следует обратить внимание на константу X_{em} . Эта величина вычисляется перед началом расчёта и является вектором, содержащим горизонтальные координаты электромагнитов статора. При их равномерном размещении в синтаксисе Matlab это выглядит следующим образом.

$$X_{em} = [0:Nem-1]*X_{st};$$

здесь Nem – число электромагнитов, X_{st} – шаг магнитов статора.

В соответствии с принципом работы модуля Matlab/Symulink, все зависящие от X_{em} величины так же будут иметь векторную форму. Например, сила тяги, которую развивает каждая фаза. На рис. 4 изображены показания блока-графика Ft, N. Сверху сила от каждой фазы, снизу суммарная сила тяги ВИЛМ.

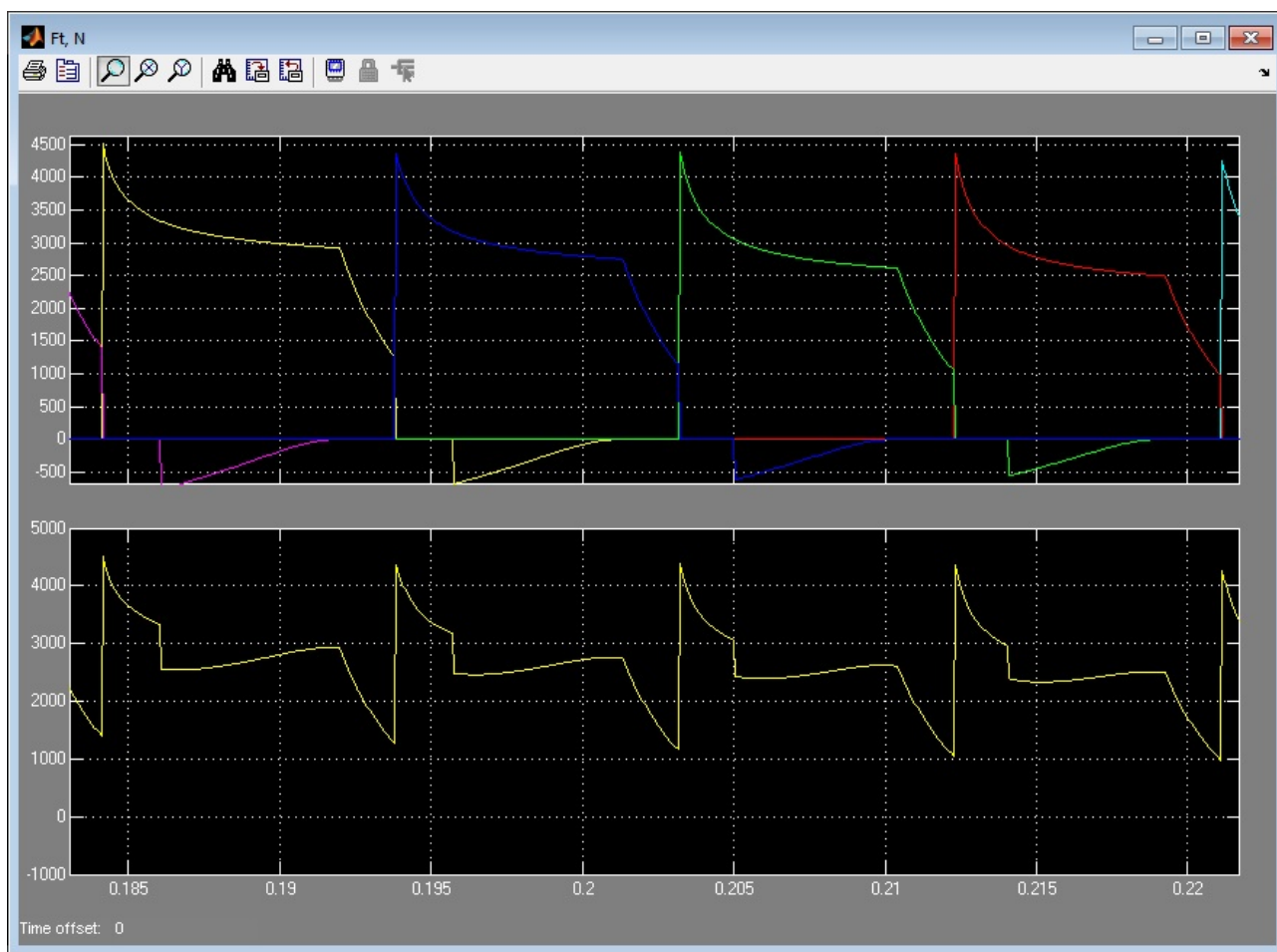


Рис 4. Развиваемая ВИЛМ сила.

Как видно из этого графика работу ВИЛМ характеризует большая неравномерность развиваемой силы тяги. В выбранном режиме в конце цикла работы каждая фаза переходит в генераторный режим, развивая отрицательную тягу. Такая дискретность работы двигателя затрудняет оценку его эффективности и не позволяет построить наглядную механическую характеристику.

Так как одной из задач создаваемой модели является подбор основных параметров ВИЛМ, то крайне полезно получать готовую и наглядную механическую характеристику не путём последующей обработки результатов моделирования, а непосредственно во время работы модели.

Для этой цели служит блок F_{sr} . Назначение блока состоит в вычислении средней по времени силы тяги за один цикл работы фазы. Состав блока изображён на рис. 5.

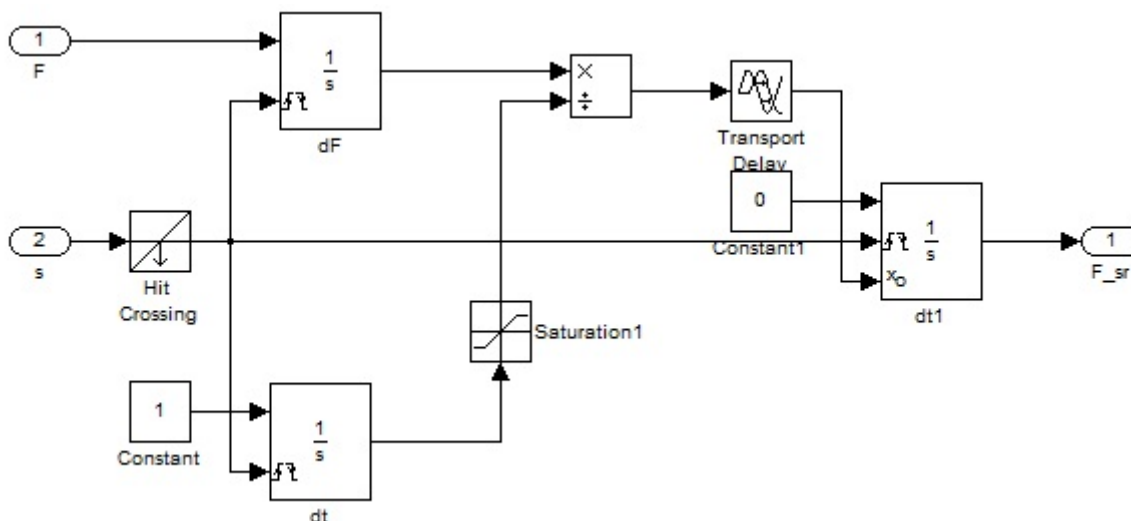


Рис. 5. Вычисление среднецикловой силы тяги. Блок « F_{sr} »

Входными переменными для блока являются векторы мгновенных значений силы тяги и локальной координаты фаз. Значения локальной координаты используются для сбрасывания счётчика элементарного приращения времени « dt » и силы тяги « dF ». Блок « $dt1$ » нужен для того, чтобы выдавать постоянное значение среднецикловой силы тяги, вычисленной на прошлом цикле коммутации.

Чтобы получить механическую характеристику системы на выходе « F_{sr} » необходимо смоделировать равноускоренное движение ротора ВИЛМ от нулевой скорости. При этом, чем меньше будет это ускорение, тем детальнее получится характеристика.

Результаты такого моделирования показаны на графике рис. 6. Отсутствие нулевых значений силы тяги на этом графике объясняется тем, что пока цикл работы фазы не закончен среднюю силу вычислить невозможно.

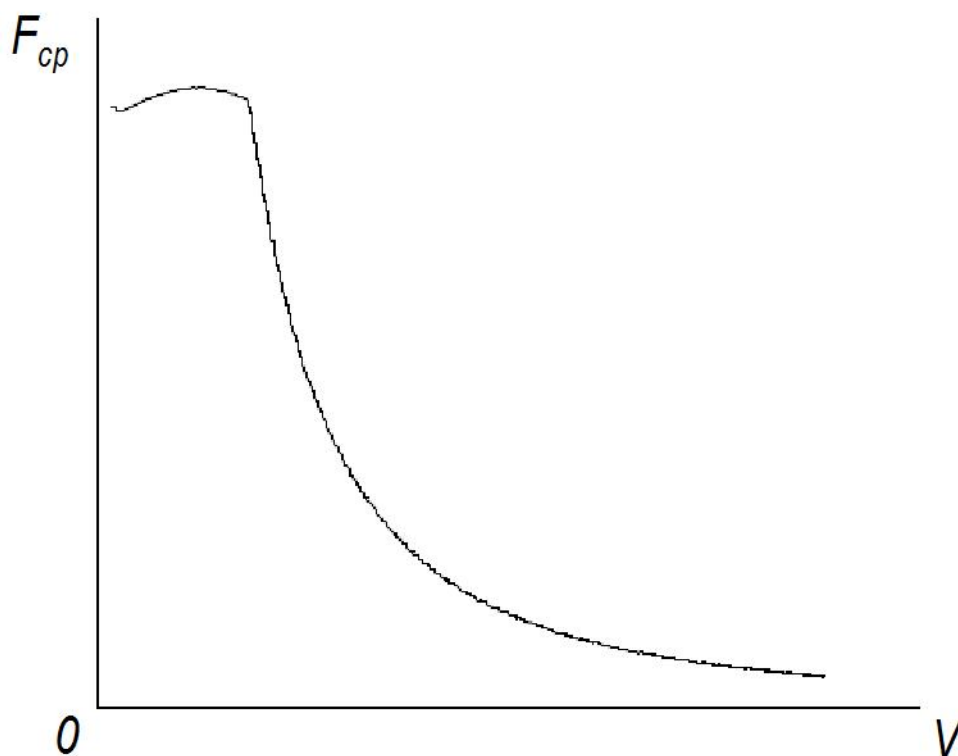


Рис. 6. Механическая характеристика ВИЛМ.

Выводы:

1. Созданная модель обеспечивает расчёт ВИЛМ с произвольной геометрией в рамках выбранной схемы (рис.2).
2. С помощью входных портов скорости и перемещения ротора, а так же выходного порта силы тяги модель ВИЛМ легко связать с любой механической системой. Например, с моделью транспортного средства.
3. Среднецикловая сила тяги, вычисляемая блоком «F_sr», позволяет построить механическую характеристику ВИЛМ для предварительной оценки его тяговых возможностей.

Библиографический список

1. Стадучин А.А. Тяговый линейный электродвигатель быстроходного гусеничного шасси // Известия Академии инженерных наук РФ им. акад. А.М. Прохорова. Транспортно-технические машины и комплексы / Под ред. Ю.В. Гуляева. – Москва – Н. Новгород: НГТУ, 2006. Т. 16 – С. 202-207.
2. Бычков М.Г. Алгоритм проектирования вентильно-индукторного электропривода и его компьютерная реализация. – Электротехника. – 1997. № 2. - С. 11 – 13.1.4.
3. Красовский А.Б. Имитационные модели в теории и практике вентильно-индукторного электропривода. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – М.: МЭИ(ТУ), 2004. – 317 с.

77-30569/216198 Details of modeling electrical transmission of a vehicle as an example of a propulsion linear electric drive.

77-30569/216198

10, October 2011

Sarach E.B., Staduhin A.A.

Bauman Moscow State Technical University

sarach@ya.ru

kjlactep@ya.ru

This article contains an example of a track-type vehicle transmission model. Transmission is made on the basis of a valve-inductor linear motor. The authors consider the issues of mathematical modeling of a valve-inductor linear motor. The main emphasis was placed on universality of a geometric configuration modeled engine. The authors suggest a method for creating mechanical characteristics of the motor using a simulation model.

Publications with keywords: [modelling](#), [Tracked vehicle](#), [switched reluctance motor](#), [linear motor](#)

Publications with words: [modelling](#), [Tracked vehicle](#), [switched reluctance motor](#), [linear motor](#)

Reference

1. Stadukhin A.A., Izvestiia Akademii inzhenernykh nauk, Moscow – N. Novgorod, NGTU Press 16 (2006) 202-207.
2. Bychkov M.G., Elektrotehnika 2 (1997) 11 – 13.
3. Krasovskii A.B., Cand.Sci.Tech., Moscow, MEI (TU), 2004, 317 p.