

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛИНЕЙНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНОГО РЕЖИМА

Ю.А. РУДЧЕНКО, А.В. ТУРЕНКОВА

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П.О. Сухого»,
Республика Беларусь*

Рассмотрим различные механические системы на предмет возможности установления в них устойчивого периодического движения.

Линейные системы. Как известно из теории колебаний, ни одна из линейных систем, кроме линейного осциллятора без трения (т. е. кроме консервативной линейной системы), не дает на фазовой плоскости замкнутых интегральных кривых – все интегральные кривые имеют ветви, уходящие в бесконечность. Между тем периодическим процессам на фазовой плоскости должны соответствовать замкнутые интегральные кривые. Таким образом, в линейных неконсервативных системах периодические процессы невозможны.

Консервативные нелинейные и линейные системы. Консервативной принято считать систему, в которой сумма потенциальной и кинетической энергий всегда остается постоянной. В таких системах возникновение неустойчивых периодических движений возможно бесчисленное множество, амплитуда которых целиком определяется начальными условиями.

Диссипативные системы. В таких системах энергия при движении убывает и, следовательно, незатухающие периодические движения здесь тоже невозможны.

Автоколебательные системы. Общей чертой этих систем является их способность совершать автоколебания, т. е. такие колебания, амплитуда которых, с одной стороны, в течение долгого времени может оставаться постоянной, а с другой стороны, не зависит от начальных условий и определяется свойствами самой системы. Другая типичная черта автоколебаний заключается в том, что во всякой автоколебательной системе происходит компенсация потерь за счет какого-то источника энергии, который создает усилие, не являющееся функцией времени, а определяющееся самой системой. Сам по себе источник может отдавать и постоянную энергию, но вследствие того, что работа, которую совершает этот источник, зависит от состояний системы (от ее координат и скоростей), действие источника энергии может стать периодическим, причем этот период определяется свойствами самой автоколебательной системы.

В результате проведенного анализа различных механических систем можно сделать вывод, что устойчивому периодическому движению удовлетворяет автоколебательная система.

В ряде областей науки, техники и производства, где требуется осуществлять колебательное движение рабочего органа машины без повышенных требований к качеству колебаний, более перспективным оказывается применение автоколебательных режимов работы электродвигателей. Это, например, испытательные стенды пружинных подвесок и других упругих элементов, приводы режущих аппаратов сельскохозяйственных машин, дисбалансные вибраторы, станки-качалки, аппараты спортивной вибростимуляции, игрушки, рекламные качающиеся устройства и т. д.

Исследования автоколебательных режимов в приводах до сих пор акцентировались на выяснении причин их возникновения с целью дальнейшего подавления, а в настоящей работе эти режимы исследуются на предмет практического использования при построении автоколебательных приводов рабочих машин, а именно, стенда испытания цилиндрических пружин.

Рассмотрим систему «масса – упругость». Идеальная пара «масса – упругость» представляет собой линейный гармонический осциллятор (консервативная линейная система), где движение является периодическим, но неустойчивым. Реальная пара «масса – упругость» представляет собой диссипативную систему, где любые колебания рано или поздно затухают. Для получения устойчивого незатухающего колебательного движения требуется создать автоколебательную систему, т. е. добавить к реальной паре «масса – упругость» источник, который бы создавал, не зависящее от времени, а определяемое свойствами самой системы, усилие. Применительно к стендам испытания пружин таким источником может являться линейный асинхронный двигатель (ЛАД), электромагнитное усилие которого является функцией скорости.

Использование линейных асинхронных двигателей, по сравнению с двигателями вращательного движения, в стендах по испытанию цилиндрических пружин является целесообразным, так как не требует дополнительного применения различных механических преобразователей возвратно-вращательного движения в возвратно-поступательное. Причем при работе в автоколебательном режиме двигатель выступает только в качестве источника, компенсирующего диссипативные силы нагрузки, которые являются причиной затухания свободных колебаний системы.

При построении испытательных стендов пружин с использованием ЛАД на базе автоколебательной системы, последнюю не надо специально создавать, так как она возникает естественным образом. Действительно здесь «*массой*» является вторичный элемент двигателя, а «*упругостью*» – испытываемая пружина. ЛАД выступает в качестве *источника*, компенсирующего потери энергии в автоколебательной системе.

Для того чтобы периодическое движение было устойчивым, двигатель должен обладать определенными свойствами. Особенность ЛАД в том, что поскольку отсутствует серийный выпуск таких двигателей, при синтезе автоколебательных электроприводов приходится не выбирать двигатель с учетом определенных параметров колебательного движения (как это делается при использовании АД вращательного движения), а проектировать его таким образом, чтобы были соблюдены эти параметры (частота и амплитуда колебаний).

Основной особенностью, которую надо учитывать при проектировании автоколебательного ЛАД, является то, что устойчивое автоколебательное движение в системе возможно, если двигатель обладает Z-образной механической характеристикой с критическим скольжением меньшим 0,5 (рис. 1). При этом в отличие от ЛАД, предназначенных для работы в обычном режиме, основополагающим является обеспечение критического усилия, критической скорости и массы автоколебательной системы.

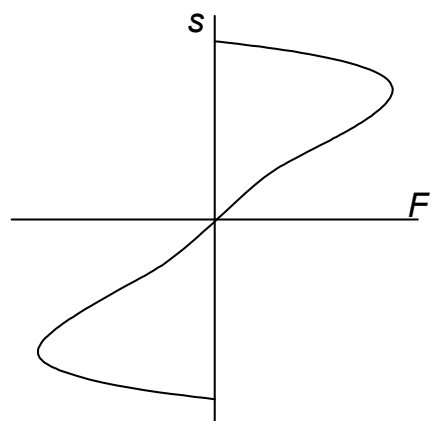


Рис. 1. Механическая характеристика ЛАД работающего в автоколебательном режиме

В процессе проектирования двигателя, для получения требуемой механической характеристики можно варьировать ряд его конструктивных параметров, таких как: добротность машины, величина воздушного зазора, относительное сопротивление вторичного элемента, материал из которого выполняется бегун или его электропроводность и т. д.

В данной работе анализируется влияние параметров двигателя на координату критической точки.

Добротность машины. Как видно из приведенных характеристик (рис. 2), величина критического скольжения обратно пропорционально зависит от добротности

машины ($S_{кр} = \frac{1}{\varepsilon_o}$) и уменьшается с ростом

последней. Из рис. 2 так же видно, что увеличение числа пар полюсов ведет к уменьшению краевого эффекта.

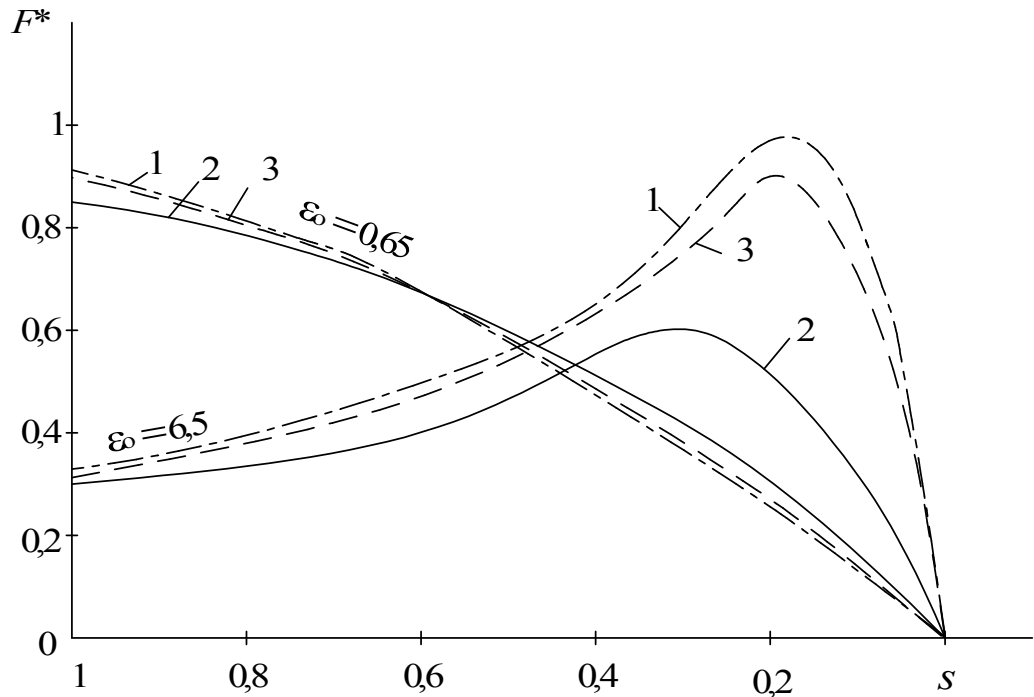


Рис. 2. Семейство механических характеристик ЛАД при различном значении добротности: 1 – продольный краевой эффект не учитывается; 2 – для двигателя с двумя парами полюсов; 3 – для двигателя с десятью парами полюсов

Сопротивление вторичного контура. Рассмотрим вторичный элемент с анизотропным слоем в виде чередования медных и стальных шайб, посаженных с натягом на ферромагнитный шток.

Использование анизотропного слоя на вторичном элементе не только повышает добротность машины (что способствует уменьшению скольжения), но и открывает дополнительные возможности. Подбирая должным образом относительную ширину паза

$k_{22} = \frac{b_n}{t_z}$, можно устанавливать определенное сопротивление вторичного контура, т. к. при

заданной высоте «паза» h величина k_{22} характеризует активное сопротивление вторичной цепи, которое, в свою очередь, влияет на критическое скольжение двигателя (рис. 3).

Толщина рабочего тела. Изменение толщины рабочего тела в пределах постоянного воздушного зазора приводит к изменению параметров схемы замещения ЛАД, определяющих вторичную систему, что обуславливает критическое скольжение и максимальное усилие двигателя.

Путем преобразования уравнения механической характеристики может быть получено аналитическое выражение, определяющее зависимость усилия от толщины рабочего тела. Окончательно это выражение имеет следующий вид:

$$F(\Delta) = 2F_k \frac{SS_{к.б}\Delta\Delta_б}{S^2\Delta^2 + S_{к.б}^2\Delta_б^2},$$

где $\Delta_б$ – базисная толщина рабочего тела;

$S_{к.б}$ – критическое скольжение, соответствующее базисной величине.

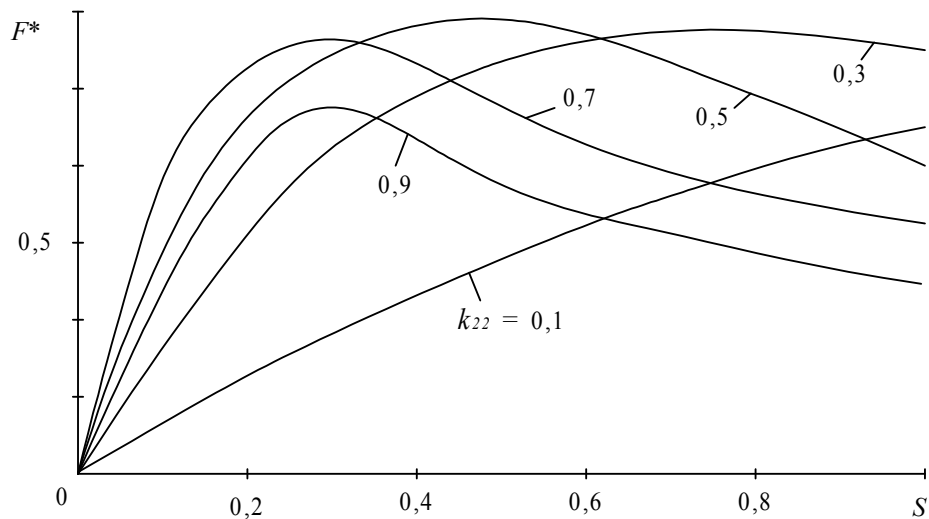


Рис. 3. Зависимость электромагнитного усилия ЛАД от скольжения для различных соотношений меди и стали

Дифференцируя данное выражение по Δ и приравнявая производную к нулю, находим значение Δ_k , при котором усилие достигает максимума:

$$\Delta_k = S_{к.б} \frac{\Delta_б}{S}$$

Характер изменения механических характеристик ЛАД для различных значений толщины рабочего тела при постоянном рабочем зазоре можно оценить по рис. 4. Здесь: 1 – Δ_1 ; 2 – Δ_2 ; 3 – Δ_3 ; 4 – Δ_4 ($\Delta_4 > \Delta_3 > \Delta_2 > \Delta_1$).

Воздушный зазор. Изменение воздушного зазора приводит к изменению как критического скольжения, так и критического усилия.

Для расчета критического скольжения, учитывая пропорциональную зависимость от величины зазора, может быть использована следующая формула.

$$S_k = \delta \frac{S_{кн}}{\delta_n}$$

где δ_n – некоторая величина зазора, принятая за номинальную;

$S_{кн}$ – критическое скольжение, соответствующее δ_n .

Критическое усилие будет равно:

$$F_k = \frac{K_1 \delta}{(K_2 \delta - K_3)^2 + (K_4 + K_5 \delta)^2},$$

где K_1, K_2, K_3, K_4, K_5 – постоянные коэффициенты, не зависящие от величины воздушного зазора, а определяемые другими параметрами ЛАД.

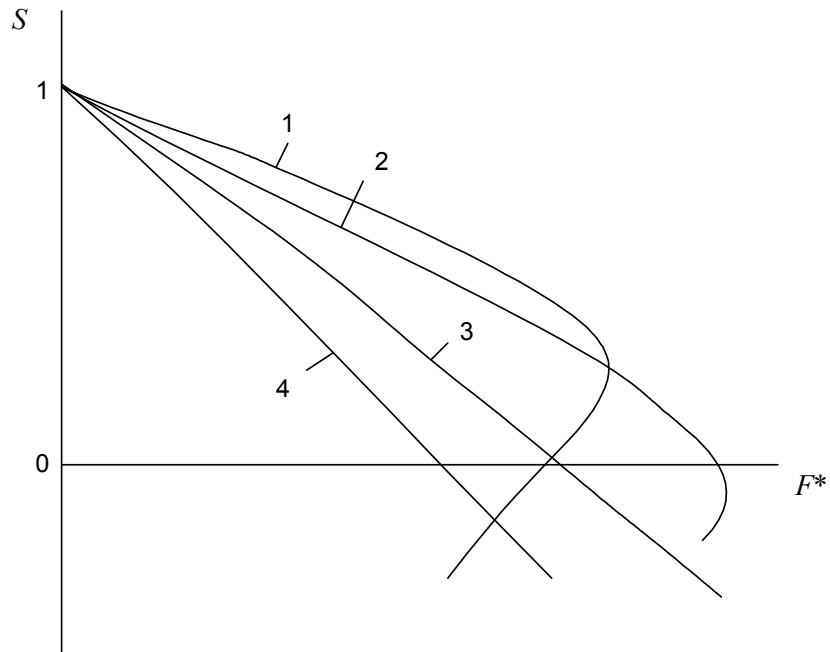


Рис. 4. Семейство механических характеристик ЛАД

Анализ показывает, что увеличение воздушного зазора приводит к росту критического скольжения, однако, при сильном увеличении зазора следует учитывать, что, начиная с некоторого его размера, первичный и вторичный элементы практически теряют магнитную связь между собой.

Характер изменения механических характеристик ЛАД для различных значений воздушного зазора можно оценить по рис. 5. Здесь 1 – δ_1 ; 2 – δ_2 ; 3 – δ_3 ; 4 – δ_4 . ($\delta_1 < \delta_2 < \delta_3 < \delta_4$).

Удельная электропроводность рабочего тела. Величина критического скольжения обратно пропорциональна удельной электропроводности:

$$S_k \equiv \frac{1}{\gamma_2}.$$

Величина критического усилия двигателя от γ_2 не зависит.

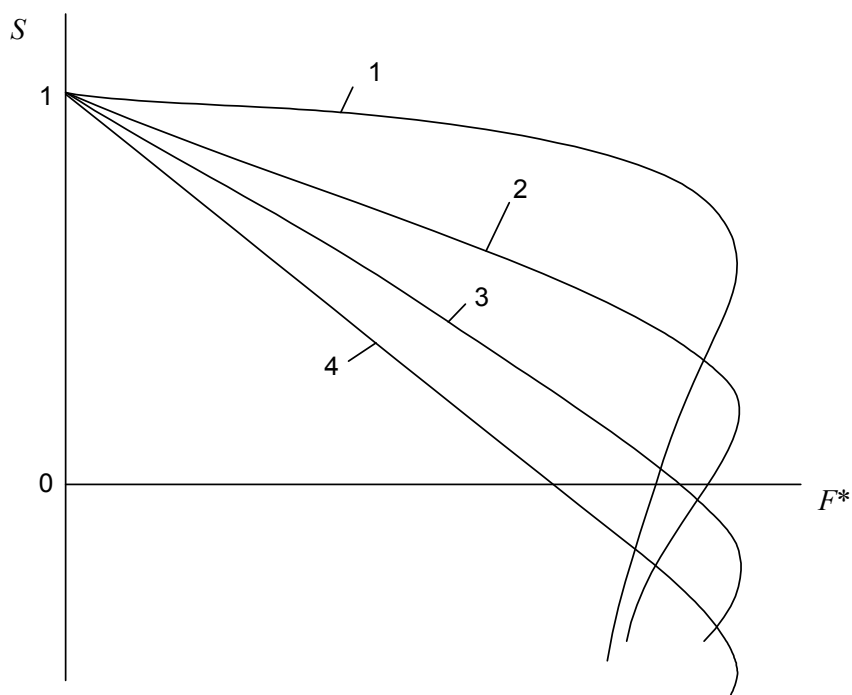


Рис. 5. Механические характеристики ЛАД в зависимости от материала рабочего тела: кривая 1 – медь; 2 – алюминий; 3 – латунь; 4 – сталь

Заключение

В результате проведенного анализа можно сделать некоторые выводы об особенностях проектирования ЛАД для его работы в автоколебательном режиме: во-первых, добротность машины должна быть не менее 2; во-вторых, ширина рабочего тела и воздушный зазор двигателя должны быть минимальными; в третьих, в случае анизотропного вторичного элемента относительная ширина паза не должна быть менее 0,5, а в качестве электропроводящего материала надо использовать медь.

Вторичный элемент автоколебательного ЛАД может быть выполнен в «длинном» или «коротком» исполнении, когда его активная часть соответственно больше или меньше активной части первичного элемента. Причем в последнем случае катушки фаз ЛАД следует включать параллельно, так как в этом случае в активных (лежащих против вторичного элемента) и неактивных катушках будут протекать разные токи и неактивные катушки статора, обладающие повышенным индуктивным сопротивлением, выполняющие роль дросселя, не будут снижать тяговое усилие, создаваемое его активной частью.

Литература

1. Луковников В.И., Рудченко Ю.А. Общая методика проектирования автоколебательных асинхронных электроприводов: Сборник научных работ студентов высших учебных заведений Республики Беларусь «НИРС 2002». – Минск, 2003. – С. 440-443.
2. Дьяков В.И. Расчет электроприводов с линейными асинхронными двигателями. – Иваново, 1973.
3. Веселовский О.Н. Линейные асинхронные двигатели. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 255 с.

Получено 29.07.2004 г.