

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЛИНЕЙНЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Субботин О.В., Пивоваров Л.В.

Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск,
факультет автоматизации машиностроения

Abstract

Subbotin O.V., Pivovarov L.V. The device for linear anisochronous engine parameters' research. The opportunity of the optimization of the single-phase linear anisochronous engine and the converter parameters is considered. The variant of pendulum model for an experimental research of the converter is offered.

Постановка проблемы. Применение однофазных линейных асинхронных двигателей (ОЛАД) по сравнению с трехфазными наиболее предпочтительнее из-за конструктивной простоты, дешевизны, надежности и долговечности. В существующем конструктивном варианте индуктор однофазного линейного АД может быть пригоден для работы в режиме дросселя или магнетогидродинамического (МГД) насоса в замкнутых или раскрытых металлических или других электропроводных контурах (электромагнитный затвор, транспортирование жидких электропроводных материалов).

Формулирование цели статьи. Целью настоящих исследований является повышение эффективности ОЛАД в частности, и технологических систем, построенных на их базе, в целом.

Постановка задачи исследований. Для определения параметров однофазных линейных асинхронных двигателей предполагается проведение теоретических исследований и конструирование измерительного стенда.

Изложение основного материала. Предположим, что число пар полюсов индуктора велико, бегун выполнен из магнитного материала и длинна его достаточно велика, тогда для определения силовой функции (F) используем формулу электромагнитного осевого давления на бегун (P) [1]:

$$P = \frac{B_0^2}{2\mu_0}, \quad F = Ps,$$

где s – поперечное сечение немагнитного зазора бегуна, μ_0 – магнитная проницаемость вдоль зазора.

В неподвижном теле бегуна намагничивающий поток обмоток статора индуцирует лишь одну трансформаторную ЭДС - $e_m = \frac{d\Phi_0}{dt}$, где Φ_0 – магнитный поток в бегуне. Неподвижный бегун выполняет здесь функцию вторичной обмотки трансформатора. В статическом режиме прямо и обратно бегущие поля бегуна идентичны и компенсируются, а индуцируемые в бегуне трансформаторные токи, взаимодействуя с полем статора, создают радиальное давление на бегун и часто расходуется на его нагрев.

Если бегун внешними силами приводится в движение в каком-либо направлении вдоль своей оси, то магнитное прямо бегущее поле своим давлением будет содействовать этому движению, а обратно бегущее поле – тормозит это движение. Поскольку частота токов

прямого поля, а, следовательно, индуктивное сопротивление бегуна прямому полю при движении уменьшается, а частота токов обратного поля и индуктивное сопротивление относительно бегуна увеличивается, то при некоторой скорости бегуна давление прямого поля P_1 оказывается больше обратного P_2 . В результате возникает суммарное осевое давление, действующее на бегун в направлении его начального движения и равное $P = P_1 - P_2$.

Обратно бегущая относительно бегуна магнитодвижущая сила (м.д.с.) создает режим электромагнитного тормоза при котором в бегуне наводятся токи повышенной частоты.

Суммарное осевое давление является функцией от скольжения.

Так как всегда $\omega_1 - \omega_2 = 2\omega$, то $s = \frac{2\omega - \omega_2}{\omega} = 2 - \frac{\omega_2}{\omega}$, $\omega_1 = (2 - s)\omega$.

Соответственно с повышением частоты возрастает сопротивление бегуна, вследствие чего сила тяги уменьшается.

По мере возрастания скорости бегуна в направлении движения поля происходит перераспределение напряжения сети между частями обмотки (в следствие смещения магнитного поля в направлении движения бегуна). Этим объясняется тот факт, что намагничивающий ток однофазного двигателя больше, чем трехфазного, а $\cos\phi$ меньше. Отдача и перегрузочная способность также меньше: в бегуне существует как бы два тока – ток частоты f_s и ток частоты f_{2-s} (токи трансформации и движения). Каждый из них создает потери и, следовательно, общие потери ОЛАД увеличиваются. Уменьшение перегрузочной способности объясняется действием встречного обратного тормозного бегущего поля. Регулирование скорости также происходит труднее и в более узком диапазоне.

Таким образом, все характеристики ОЛАД (пусковые, рабочие и регулировочные) хуже чем у трехфазных, однако простота конструкции, дешевизна, надежность, долговечность, лучшие условия охлаждения, технологичность конструкции, способность работать в режиме дросселя или в магнитогидродинамическом насосе (МГД) их выгодно отличает. Поэтому проблема оптимизации, повышения эффективности ОЛАД остается актуальной.

Наиболее существенные недостатки преобразователя на базе ОЛАД [2]:

- потери энергии на компенсацию электромагнитного давления обратно бегущей волны магнитодвижущей силы (м.д.с.). Коэффициент торможения равен $k_m = P_{(s=2)}^* / P_{(s=s_k)}^*$;
- ширина «мертвой зоны» – $\Delta = 2s_k$, лежащая между критическими значениями прямой и обратной волн, должна быть возможно меньшей;
- максимальное давление поля $P_{\max}(s=s_k)$ должно быть возможно большим.

Для оптимизации параметров бегуна пригодны методы, применяемые в трехфазных асинхронных машинах:

- глубокопазная обмотка бегуна, двойная беличья клетка;
- бегун с фазной обмоткой;
- частотное управление пуском и рабочим ходом.

Отдельной является задача оптимального выбора толщины цельной гладкой обмотки бегуна, механически соединенной с ферромагнитным телом бегуна для двигателя небольшой мощности.

В преобразователях типа ОЛАД с жидким или жидкометаллическим бегуном – электромагнитные насосы для перекачивания или дросселирования электропроводной среды (жидкие металлы, водные растворы кислот, солей, щелочей и т. п.) – оптимизация электромагнитного давления возможна по частоте возбуждающего тока, по профилю

жидкостного канала, транспортирующего жидкость, а также по температуре. Подобные преобразователи требуют тщательной экспериментальной проверки.

Для испытания линейных асинхронных двигателей (АД), в том числе и однофазных пригодна физическая модель, описанная в авторском свидетельстве «Стенд испытательный» [3]. Более простой моделью является маятниковое устройство, разработанное авторами.

Эксперимент. Устройство для исследования характеристик линейных асинхронных двигателей должно быть снабжено механизмом возвратно-поступательного движения, например, кулачковым, кривошипно-шатунным, вибрационным (пружинным) и др. В данной работе использованы, разработанные авторами, варианты маятникового устройства, структурная схема которого и пояснения к ней представлены на рис. 1,а. Предполагается, что длина маятника достаточно велика, а длина магнитопровода мала и, следовательно, кривизной маятника пренебрегаем. Там же (рис. 1,б) представлена схема экспериментального устройства, в котором бегуну сообщается возвратно-поступательное колебательное движение в вертикальной плоскости с помощью жесткой пружины и массивного тела. Методики исследования характеристик линейных асинхронных двигателей для указанных вариантов установок аналогичны.

Более простой моделью «является маятниковый бегун». Неподвижный плоский или цилиндрический индуктор 1 с обмоткой, возбужденной от однофазного источника напряжения U ; подвижная часть двигателя – бегун 2 подвешен на жестком стержне R , способном совершать колебания вокруг точки подвеса O в пределах $\pm\pi$ радиан. Устройство снабжено шкалой 3, градуированной углом отклонения φ от вертикали.

Пренебрегая трением в точке подвеса маятника, трением о воздух и гироскопическими силами, возникающими в результате вращения Земли, характеристики маятника-бегуна запишутся в следующем виде:

- период колебания: $T = 2\pi \sqrt{l/g}$, $l = R \pm \Delta R$;

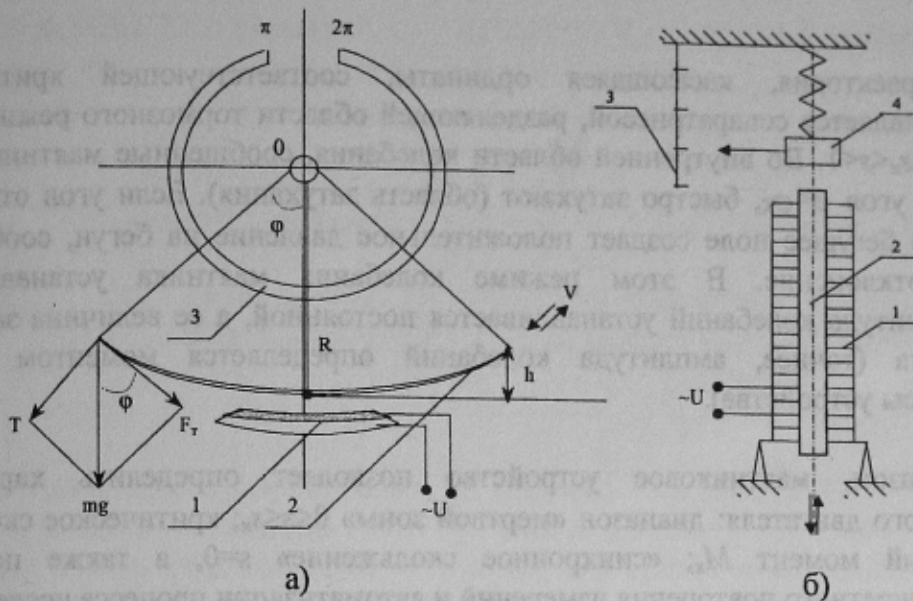
- высота подъема маятника относительно точки покоя: $h = l(1 - \cos \varphi)$;

- максимальная скорость движения маятника: $v_{\max} = 2\sqrt{gl}$.

Скорость бегущего магнитного поля: $v = 2\tau f \pm v_0$.

В зависимости от начального угла отклонения φ максимальная скорость бегуна при пересечении вертикали изменяется в диапазоне $0 \leq v \leq 2\sqrt{gl}$, где g – ускорение силы тяжести, l – длина маятника (например, если $l=1$ м, то $v_{\max} \approx 6$ м/с). Для пружинной модели $l=H$.

При малых отклонениях маятника, когда скольжение бегуна меньше критического s_k , бегун находится в тормозном магнитном поле и его колебания быстро затухают. Когда начальный угол отклонения маятника равен φ , то при $s \geq s_k$ маятник будет совершать незатухающие колебания, амплитуда которых зависит от скольжения. Внешняя тормозная сила F_1 , действующая вдоль оси бегуна, также пропорциональна углу отклонения φ . Тогда, исследуя колебания бегуна в поле ОЛАД, получают основные характеристики бегуна: $P^*(s)$; диапазон мертвой зоны; максимальный момент (силу тяги F) и оценку его эффективности и качества.



1- индуктор, 2- бегун (маятник), 3 – шкала отклонений φ маятника от вертикали, 4 – балласт, массой m_0 , U – напряжение источника питания

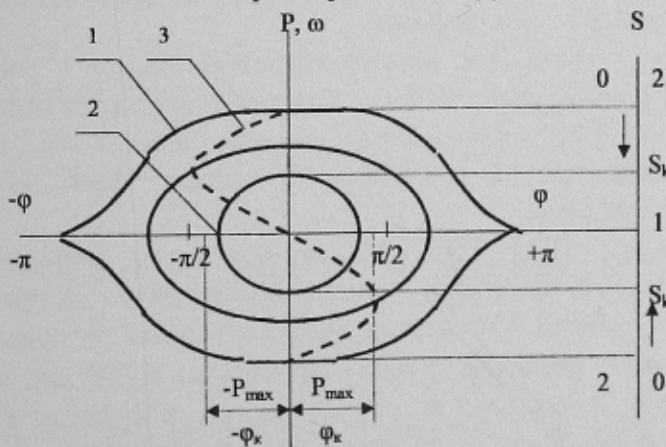
Рисунок 1 – Структурный вариант установки для измерения параметров характеристики $P^*(S)$ однофазного линейного асинхронного двигателя: а – маятниковая, б - пружинная

Фазовый портрет маятникового бегуна, совмещенный с характеристикой $P^*(s)$, показан на рис. 2. Сплошными замкнутыми линиями на портрете изображены фазовые траектории свободного консервативного маятника:

$$\omega(\varphi) = \pm \sqrt{\frac{2}{J}(c + mgl \cdot \cos \varphi)},$$

где mg – вес, J – момент инерции маятника, c - константа интегрирования для точки начала координат маятника (0,0), $c = -mgl$.

Точка начала координат соответствует положению неподвижного бегуна (скольжение $s=1$ характеристики $P^*(s)$). Ось угловой частоты колебаний маятника совпадает (параллельна) с осью скольжения характеристики $P(s)$.



1 – фазовая траектория маятника-бегуна при отклонении на $\pm\pi$, 2 – сепаратриса, разделяющая портрет на область торможения и область режима двигателя, S_k – критическое скольжение при максимальном давлении поля P_{max}

Рисунок 2 – Качественный фазовый портрет маятника, совмещенный с характеристикой $P(S)$ ОАЛД

Фазовая траектория, касающаяся ординаты, соответствующей критическому скольжению $s=s_k$, является сепаратриссой, разделяющей области тормозного режима $s < s_k$ и режима движения $s_k < s < 1$. Во внутренней области колебания, сообщенные маятнику-бегуну внешней силой на угол $\varphi < \varphi_k$, быстро затухают (область затухания). Если угол отклонения маятника $\varphi \geq \varphi_k$, то бегущее поле создает положительное давление на бегун, сообщая ему дополнительное отклонение. В этом режиме колебания маятника устанавливаются стабильными, амплитуда колебаний устанавливается постоянной, а ее величина зависит от веса mg маятника (точнее, амплитуда колебаний определяется моментом инерции колеблющейся массы устройства).

Выводы.

Таким образом, маятниковое устройство позволяет определить характерные параметры линейного двигателя: диапазон «мертвой зоны» $0 \leq s \leq s_k$; критическое скольжение s_k и максимальный момент M_k ; «синхронное скольжение» $s=0$, а также появляется возможность многократного повторения измерений и автоматизации процесса исследования.

Установка пригодна для контроля и экспериментальной оптимизации основных параметров и характеристик линейных двигателей и преобразователей на их базе в автоматическом режиме.

Литература

- 1 Однофазный линейный асинхронный преобразователь / Пивоваров Л.В., Квашнин В.О., Субботин О.В. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах: Збірник наукових праць. - Хмельницький: ТУП, 2002. Том 1. – С.205-207.
- 2 Однофазный линейный асинхронный преобразователь для технологических систем с твердым или жидкометаллическим вторичным контуром /Пивоваров Л.В., Субботин О.В., Квашнин В.О. // Перспективні задачі інженерної науки. – Дніпропетровськ: GAUDEAMUS, 2002.-Випуск 4.-С.195-201.
- 3 Пивоваров Л.В. “Стенд испытательный”. А.С.(19)SU(11)1024856А. - 1981.