

В. Ф. НОВИКОВ, С. В. БУРЫЛОВ, В. Э. ВОСКОБОЙНИК,
В. А. ДЗЕНЗЕРСКИЙ (ИТСТ НАН Украины «Трансмаг»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПОТОКОСЦЕПЛЕНИЯ БЛОКА ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ С КАТУШКОЙ ОТ ДЛИНЫ ПОСЛЕДНЕЙ

Проведено дослідження впливу довжини котушки на коефіцієнти Фур'є розкладання залежності потокозчеплення блока постійних магнітів з котушкою колійної структури від їх взаємного розташування. У результаті дослідження встановлено, що коефіцієнти Фур'є мають достатньо прогнозовані величини. Це дає можливість спростити оптимізацію конструкції лінійного синхронного двигуна зі збудженням від постійних магнітів.

Проведено исследование влияния длины катушки на коэффициенты Фурье разложения зависимости потокозчепления блока постоянных магнитов с катушкой путевой структуры от их взаимного положения. В результате исследования установлены зависимости коэффициентов Фурье от длины катушки, что позволяет существенно упростить оптимизацию конструкции линейного синхронного двигателя с возбуждением от постоянных магнитов.

A research of the effect of coil length on the Fourier coefficients of decomposition of dependence of interlinkage of the block of permanent magnets with the track structure coil on their mutual position is conducted. As a result of the research the dependence of Fourier coefficients on the coil length has been established, which allows to simplify optimization of design of a linear synchronous motor with excitation from a block of permanent magnets.

В нынешнем столетии перспективными являются транспортные системы, в которых отсутствует ограничение сил тяги и торможения по сцеплению колес с путевой структурой. В таких системах используются линейные тяговые электродвигатели, в частности, синхронные с возбуждением от сверхпроводящих или постоянных магнитов [1].

Для улучшения тяговых свойств электропривода с такими двигателями требуются дополнительные теоретические и практические исследования влияния конструктивных параметров на тяговые характеристики. Объектом теоретических исследований в этом направлении выбран линейный синхронный двигатель с возбуждением от блока постоянных магнитов.

Ранее [2] был предложен метод определения зависимости потокозчепления блока постоянных магнитов с катушкой путевой структуры от их взаимного положения. Особенность метода заключается в том, что вместо измерения зависимости потокозчепления катушки путевой структуры с блоком постоянных магнитов от их взаимного положения производится измерение распределения индукции магнитного поля, создаваемого блоком постоянных магнитов в плоскости среднего витка катушки путевой структуры. Причем измерение производится по плоскости во все стороны до нулевых значений индукции. В случае симметричного исполнения блока постоянных магнитов, достаточно измерить распределение индукции магнитного поля блока магнитов только в одном квадранте.

В связи с тем, что тесламетр с датчиком Холла непосредственно показывает индукцию в каждой точке пространства, такие измерения достаточно легко автоматизировать путем применения планшетного измерителя в комплексе с цифровым тесламетром. В таком случае шаг измерения индукции можно уменьшить, что приведет к повышению точности измерения, а соответственно и точности последующих расчетов.

После измерения распределения индукции магнитного поля блока постоянных магнитов на определенной высоте производится интегрирование индукции по площади катушки путевой структуры (рис. 1). При этом определяется потокозчепление в точке расположения центра катушки. В случае последовательного смещения области интегрирования получается зависимость потокозчепления блока постоянных магнитов с катушкой путевой структуры от их взаимного расположения.

Линейный двигатель представляет собой сочетание трехфазной путевой обмотки, которая питается переменным током, и системы возбуждения. Трехфазная обмотка, каждая фаза которой состоит из ряда последовательно соединенных катушек, укладывается на путевом полотне по всей длине трассы. С учетом того, что путевая обмотка имеет периодическую структуру, для исследования и использования полученной зависимости в дальнейших расчетах целесообразно ее разложение в ряд Фурье.

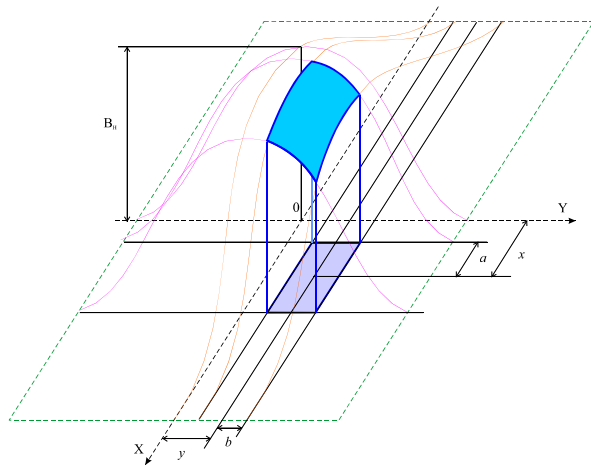


Рис. 1. Расчет зависимости потокосцепления от смещения катушки относительно блока магнитов

При расчете целесообразно учитывать только 19 гармоник потокосцепления в связи с тем, что при достаточно гладких функциях высокие гармоники практически не влияют на саму функцию.

Для обеспечения сравнимости результатов расчетов для различных размеров катушек необходимо все расчеты производить с нормированными величинами.

Нормирование коэффициентов Фурье ψ_n производится по формуле

$$\psi_n^N = \frac{\Psi_n}{B_{\max} (2a_a \cdot 2b_a)},$$

где B_{\max} – максимальное значение индукции блока постоянных магнитов на соответствующей высоте; a_a , b_a – полудлина и полуширина катушки путевой структуры.

Нормирование длины катушки путевой структуры $2a_a$ производится по формуле

$$a_a^N = \frac{a_a}{a_f},$$

где a_f – полудлина магнитного поля блока постоянных магнитов.

Проведены исследования влияния длины катушки на коэффициенты разложения зависимости потокосцепления катушки с блоком постоянных магнитов от их взаимного положения. Изменение длины катушки проводилось от 0 до четырех длин поля блока постоянных магнитов. При этом интервал разложения зависимости потокосцепления катушки с блоком постоянных магнитов от их взаимного положения оставался неизменным и составлял три длины поля блока постоянных магнитов.

На рис. 2 представлены зависимости коэффициентов ряда Фурье от длины катушки путевой структуры на фиксированном интервале разложения. Эти зависимости приведены для высот $z = 0,02$; $0,03$; $0,045$ м при строго соосном (по оси X) перемещении катушки путевой структуры относительно блока постоянных магнитов. Несмотря на то, что при разложении потокосцепления наличествуют все гармоники, на этих и последующих рисунках приведены только 1, 5, 7, 11, 13, 17 и 19 гармоники. Поскольку при расчете тяговых усилий четные гармоники выпадают в связи с тем, что в транспортном средстве блоки постоянных магнитов расположены с чередованием полюсов, а гармоники кратные 3 выпадают в силу того, что используется трехфазная путевая обмотка, соединенная в звезду.

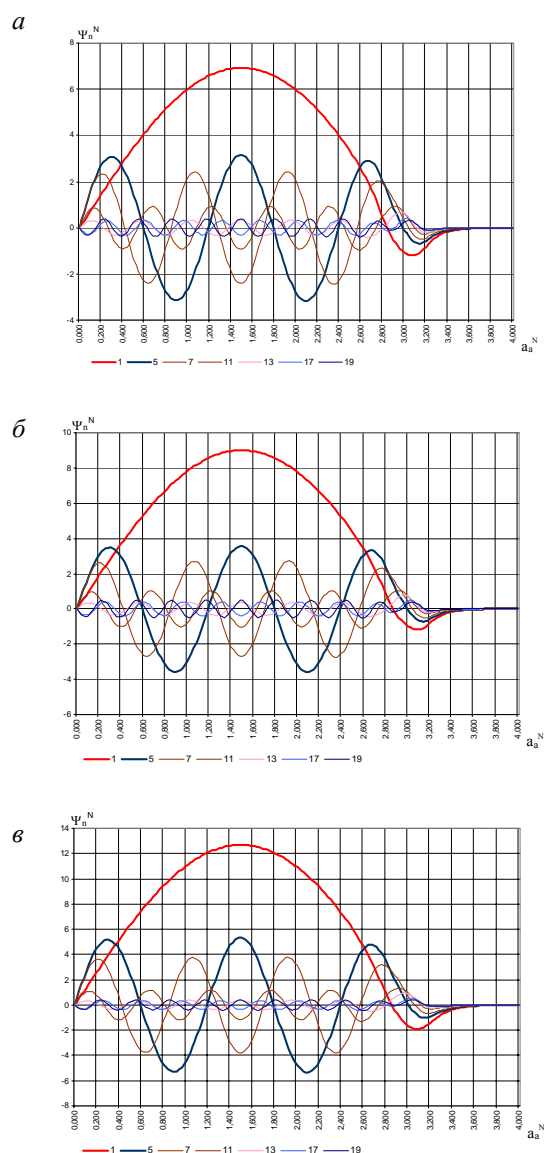


Рис. 2. Изменение коэффициентов разложения Фурье зависимости потокосцепления от длины катушки при высоте: $a - z = 0,02$ м; $b - 0,03$ м; $v - 0,045$ м

Из рис. 2 видно, что при изменении длины катушки от 0 и до 4 длин поля блока постоянных магнитов, полученные кривые изменения коэффициентов Фурье зависимости потокосцепления от длины катушки имеют 3 зоны. В первой зоне (0...2,5) зависимости явно гармонические. В третьей зоне, когда длина катушки составляет не менее 3,5 длин поля, потокосцепление обращается в 0. В средней зоне происходит деформация зависимости. Для разных высот графики зависимостей отличаются только масштабом по оси ординат.

На рис. 3 представлены зависимости коэффициентов ряда Фурье для разных длин катушки путевой структуры от номера гармоники на фиксированном интервале разложения. Эти зависимости приведены для высот $z = 0,02$; $0,03$; $0,045$ м при строго соосном (по оси X) перемещении катушки путевой структуры относительно блока постоянных магнитов.

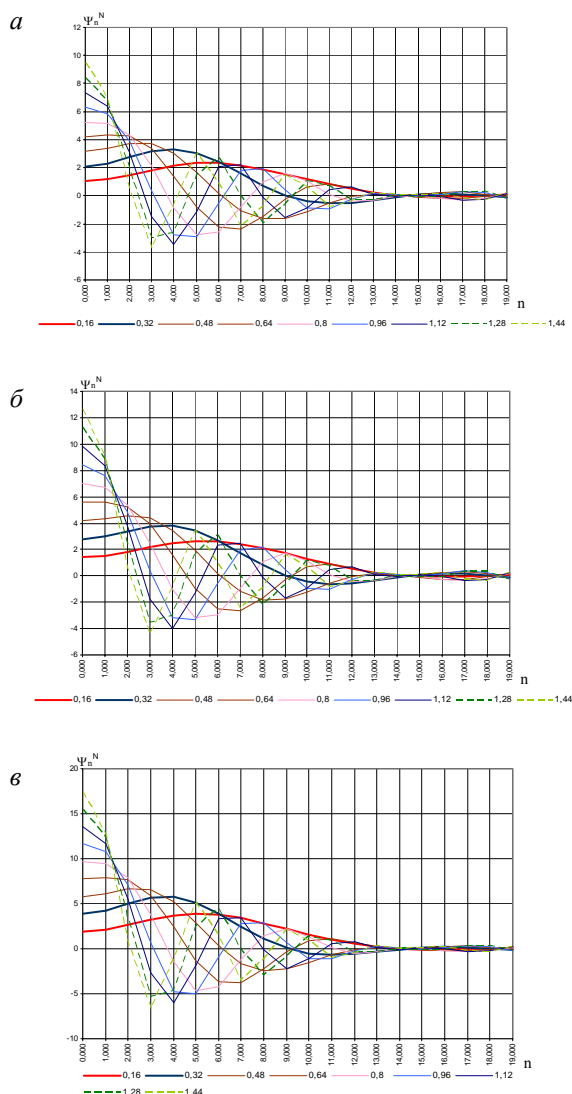


Рис. 3. Изменение коэффициентов разложения Фурье зависимости потокосцепления от номера гармоники при высоте: $a - z = 0,02$ м; $б - 0,03$ м; $в - 0,045$ м

Из рис. 3 видно, что можно выбрать такую длину катушки, при которой будет минимальная величина 5-й и 7-й гармоник, но при этом будет достаточно большая 1-я гармоника зависимости потокосцепления от длины катушки. Для разных высот графики зависимостей качественно совпадают и отличаются только масштабом по оси ординат.

При сравнительном анализе зависимостей видно, что относительные величины гармоник растут по мере удаления от блока магнитов.

Для более подробного изучения данного феномена проведено сравнение одинаковых гармоник потокосцепления на разных высотах. При этом проведено сравнение одинаковых гармоник потокосцепления на разных высотах как в относительных величинах, так и в абсолютных значениях.

На рис. 4–7 приведены соответственно 1, 5, 7, и 19 гармоник изменения коэффициентов Фурье зависимости потокосцепления от длины катушки. На этих рисунках обозначение (а) означает относительную величину, а (б) – абсолютную величину. Высота на рисунках приведена в миллиметрах.

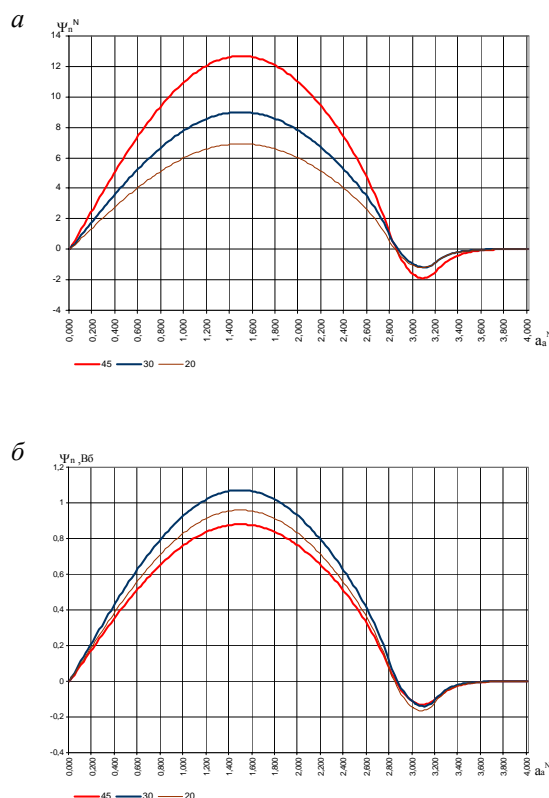


Рис. 4. Изменение 1-го относительного (а) и абсолютного (б) коэффициента Фурье разложения зависимости потокосцепления от длины катушки при разных высотах

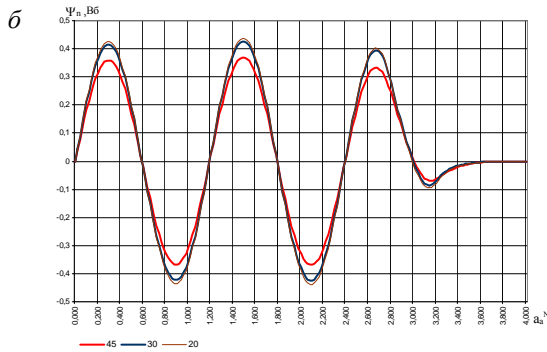
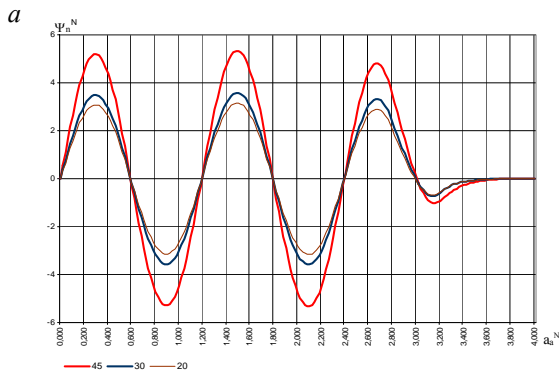


Рис. 5. Изменение 5-го относительного *a)* и абсолютного *б)* коэффициента Фурье разложения зависимости потокоосцепления от длины катушки при разных высотах

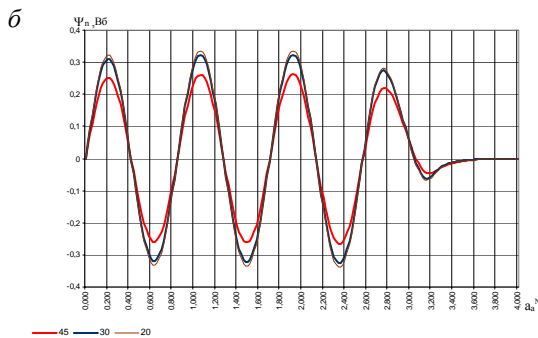
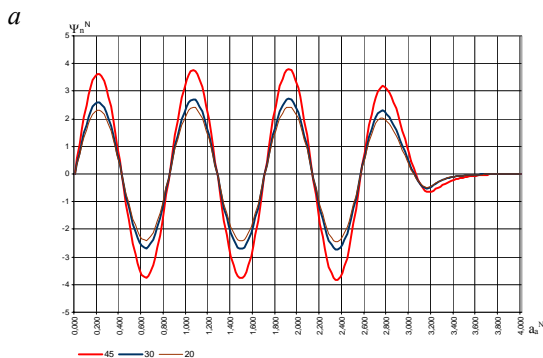


Рис. 6. Изменение 7-го относительного *a)* и абсолютного *б)* коэффициента Фурье разложения зависимости потокоосцепления от длины катушки при разных высотах

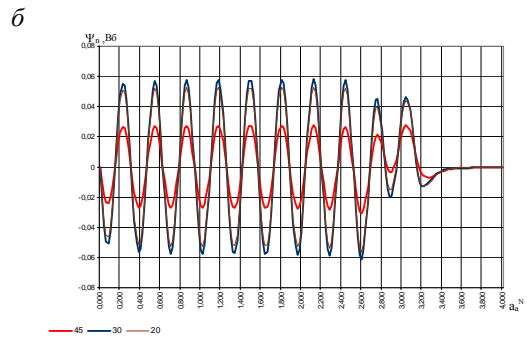
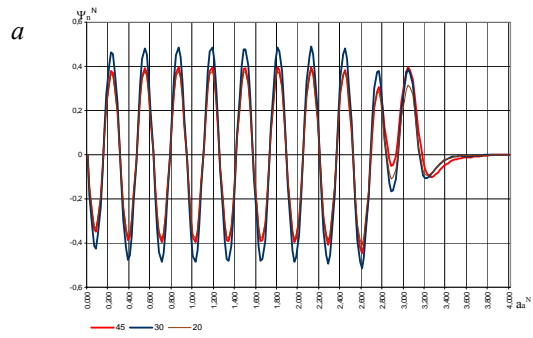


Рис. 7. Изменение 19-го относительного *a)* и абсолютного *б)* коэффициента Фурье разложения зависимости потокоосцепления от длины катушки при разных высотах

Из рис. 4–7 видно, что в относительных величинах для всех гармоник сохраняется обратный порядок величин, а в абсолютных величинах происходит девиация. На низких гармониках с уменьшением высоты происходит сначала увеличение, а потом уменьшение коэффициентов Фурье. При повышении номера гармоники происходит восстановление нормального порядка изменения коэффициентов Фурье. Кроме того, на гармониках с высокими частотами хорошо видно, что при данных пределах разложения увеличение длины катушки больше 2,5 длины поля магнита нецелесообразно, в связи с резким искажением силы, при общем ее уменьшении.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Новіков В. Ф. Високошвидкісні транспортні системи з магнітним підвісом «MAGLEV» / В. Ф. Новіков, С. В. Бурилов, В. Е. Воскобойник, В. О. Дзензерський // Конструктори електротранспорту: Матеріали наукових читань з циклу: «Видатні конструктори України». Національний технічний університет України, Київський політехнічний інститут. Державний політехнічний музей. – К.: ЕКМО – 2003. – 82с. з іл.
2. Новиков В. Ф. Расчетно-экспериментальный метод определения потокоосцепления / В. Ф. Новиков, С. В. Бурилов, В. Э. Воскобойник, В. А. Дзензерский // Транспорт: Збірник наукових праць Дніпропетр. держ. техн. ун-та заліз. транс. – Вип. 5 – Д., 2004. – 240 с.

Поступила в редколлегию 24.06.2005.