

Изобретение относится к электротехнике и может быть использовано в линейном прецизионном электроприводе.

Известен линейный индукторный электродвигатель [1], содержащий ферромагнитный зубчатый статор и подвижный элемент, состоящий из фазных электромагнитных модулей, включающих в себя П-образные магнитопроводы, обмотки управления и постоянные магниты возбуждения, причем зубцовые зоны статора и подвижного элемента имеют одинаковый шаг τ . При этом фазные электромагнитные модули, а также П-образные магнитопроводы в электромагнитных модулях смещены относительно друг друга вдоль направления движения на $(n \pm 1/4) \tau$, где n - любое целое число.

При запитке обмоток управления синусоидальным и косинусоидальным токами равной амплитуды представляется возможным управлять силой тяги линейного электродвигателя путем регулирования амплитуды токов. При подобном управлении возникает сила тяги, пропорциональная амплитуде токов.

Недостатком известного линейного электродвигателя является относительно невысокая удельная сила тяги, обусловленная взаимной частичной конденсацией тяговых усилий, создаваемых П-образными магнитопроводами в электромагнитных модулях.

Наиболее близким к предлагаемому техническому решению является линейный индукторный электродвигатель [2], содержащий ферромагнитный зубчатый статор и подвижный элемент, состоящий из фазных электромагнитных модулей, включающих в себя П-образные магнитопроводы, обмотки управления и постоянные магниты возбуждения, причем зубцовые зоны статора и подвижного элемента имеют одинаковый шаг τ . При этом фазные электромагнитные модули смещены относительно друг друга вдоль направления движения на $(n \pm 1/4) \tau$, где n - любое целое число.

Известный электродвигатель характеризуется тем, что при регулировании силы тяги с помощью амплитуды токов управления возникает сила тяги, которая содержит, помимо основной составляющей, пропорциональной амплитуде токов, дополнительную паразитную силу тяги. Эта сила является знакопеременной величиной с амплитудой, пропорциональной квадрату амплитуды токов управления.

Недостатком известного устройства является невысокая точность регулирования силы тяги, обусловленная наличием паразитной силы тяги.

В основу изобретения поставлена задача усовершенствования линейного индукторного электродвигателя путем снабжения подвижного элемента третьим фазным электромагнитным модулем и взаимного смещения фазных электромагнитных модулей, чем обеспечивается исключение паразитной составляющей силы тяги и, как результат, - повышение точности регулирования силы тяги.

Поставленная задача решается тем, что в линейном индукторном электродвигателе, содержащем ферромагнитный зубчатый статор и подвижный элемент, состоящий из фазных электромагнитных модулей, включающих в себя П-образные магнитопроводы, обмотки управления и постоянные магниты возбуждения, причем зубцовые зоны статора и подвижного элемента имеют одинаковый шаг τ , согласно изобретению, подвижный элемент снабжен третьим фазным электромагнитным модулем, причем первый электромагнитный модуль смещен относительно второго на $-(n + 1/3) \tau$, а третий модуль относительно второго - на $+(n + 1/3) \tau$, где n - любое целое число, τ - шаг зубцовой зоны электродвигателя.

На фиг. 1 представлена схема линейного индукторного электродвигателя, а на фиг. 2 - временные диаграммы токов управления, тяговых усилий, создаваемых фазными электромагнитными модулями, и результирующая сила тяги, развиваемая электродвигателем.

Электродвигатель содержит ферромагнитный зубчатый статор 1 и подвижный элемент 2, состоящий из фазных электромагнитных модулей 3, 4 и 5. Каждый модуль включает в себя П-образные магнитопроводы 6 и 7, обмотку 8 управления и постоянный магнит 9 возбуждения. Зубцовые зоны статора 1 и подвижного элемента 2 имеют одинаковый шаг τ . Электромагнитные модули 3 и 4, 4 и 5 взаимно смещены вдоль направления движения на $(n + 1/3) \tau$, а П-образные магнитопроводы в каждом электромагнитном модуле - на $n \tau$, где n - любое целое число.

Линейный индукторный электродвигатель работает следующим образом.

Управление электродвигателем осуществляется путем запитки обмоток 8 фазных электромагнитных модулей 3, 4 и 5 соответственно синусоидальными токами:

$$\begin{aligned} i_1 &= i_0 \sin\left(\varphi - \frac{2\pi}{3}\right), \quad i_2 = i_0 \sin \varphi, \\ i_3 &= i_0 \sin\left(\varphi + \frac{2\pi}{3}\right). \end{aligned} \quad (1)$$

где $\varphi = \frac{2\pi}{\tau} x$ - угол, определяющий положение подвижного элемента 2 двигателя относительно статора 1,

x - линейное положение подвижного элемента 2,

τ - шаг зубцовой зоны двигателя,

i_0 - амплитуда токов.

Токи управления формируются в соответствии с информацией о положении подвижного элемента 2 в каждый момент времени. Сила тяги регулируется с помощью амплитуды токов управления.

Определим силу тяги, развиваемую электродвигателем. Воспользуемся известной методикой расчета электромагнитных модулей.

Тяговое усилие, создаваемое электромагнитным модулем, представляется как сумма усилий, создаваемых его полюсами. Эти составляющие тягового усилия модуля определяются из расчета его эквивалентной схемы замещения.

Получим, что тяговое усилие, создаваемое электромагнитным модулем 4, будет равно

$$\bar{F}_1 = f_0 \sin^2 \varphi + f_1 \left(\sin 2 \varphi - \frac{1}{2} \sin 4 \varphi \right). \quad (2)$$

$$\text{где } f_0 = \frac{g_1}{K_1} W I_0 F_m \lambda_m, f_1 = \frac{g_1^2}{4 K_1} (W I_0)^2, K_1 = g_0 + \lambda_m + \lambda_\sigma,$$

λ_m и λ_σ - внутренняя магнитная проводимость и проводимость рассеяния постоянного магнита 9,

F_m - МДС постоянного магнита 9,

g_0 и g_1 - постоянная составляющая и амплитуда изменения магнитной проводимости зазора,

W - число витков обмотки 8 управления.

Учитывая, что электромагнитные модули 3 и 5 смещены относительно модуля 4 вдоль направления движения на $-(n + 1/3) \tau$ и на $+(n + 1/3) \tau$, а токи управления i_1 и i_3 смещены относительно тока i_2 по фазе на углы $-\frac{2\pi}{3}$ и $+\frac{2\pi}{3}$ соответственно, тяговые усилия, создаваемые модулями 3 и 5, определим из выражения (2)

путем замены аргумента φ на $\left(\varphi - \frac{2\pi}{3}\right)$ и на $\left(\varphi + \frac{2\pi}{3}\right)$ соответственно. Получим, что

$$\begin{aligned} \bar{F}_2 = f_0 \sin^2 \left(\varphi - \frac{2\pi}{3}\right) + f_1 \left(\sin \left(2 \varphi - \frac{2\pi}{3}\right) - \right. \\ \left. - \frac{1}{2} \sin \left(4 \varphi - \frac{2\pi}{3}\right) \right). \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \bar{F}_3 = f_0 \sin^2 \left(\varphi + \frac{2\pi}{3}\right) + f_1 \left(\sin \left(2 \varphi + \frac{2\pi}{3}\right) - \right. \\ \left. - \frac{1}{2} \sin \left(4 \varphi + \frac{2\pi}{3}\right) \right). \end{aligned} \quad (4)$$

Из анализа полученных результатов (2)-(4) следует, что тяговое усилие, создаваемое каждым электромагнитным модулем, содержит основную и паразитную составляющие. Паразитные составляющие электромагнитных модулей создают две системы взаимокompенсирующихся усилий, а основные составляющие суммируются, формируя силу тяги электродвигателя, равную

$$F = \frac{3}{2} f_0 = \frac{3}{2} \frac{g_1}{K_1} W I_0 F_m \lambda_m. \quad (5)$$

Для иллюстрации на фиг. 2 приведены зависимости токов управления, тяговых усилий, создаваемых фазными электромагнитными модулями, а также результирующей силы тяги электродвигателя, равной сумме усилий всех электромагнитных модулей для случая, когда отношение коэффициентов $f_1/f_0 = 0,2$

$$\text{Здесь } \bar{F}_{1н} = \bar{F}_1/f_0, \bar{F}_{2н} = \bar{F}_2/f_0, \bar{F}_{3н} = \bar{F}_3/f_0,$$

$$\bar{F}_н = \bar{F}/\frac{3}{2} f_0.$$

Теперь определим силу тяги, развиваемую известным электродвигателем.

Фазные электромагнитные модули известного электродвигателя создают тяговые усилия

$$\bar{F}_1 = f_0 \sin^2 \varphi + f_1 \left(\sin 2 \varphi - \frac{1}{2} \sin 4 \varphi \right).$$

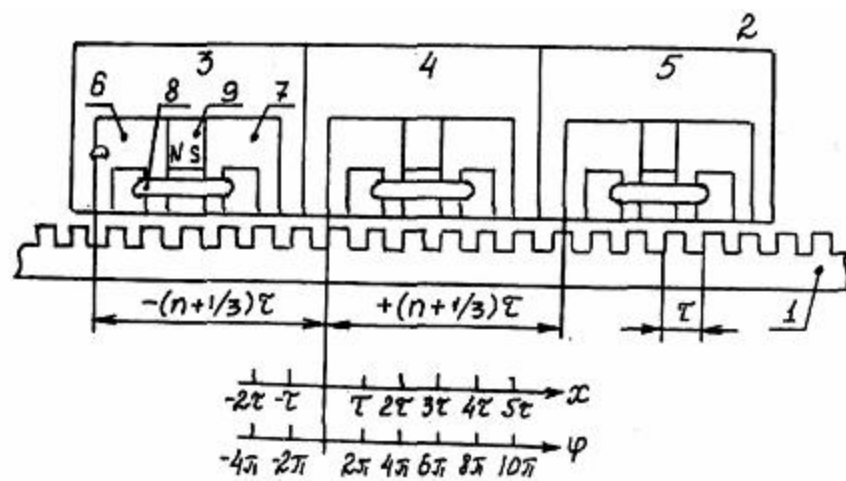
$$\bar{F}_2 = f_0 \cos^2 \varphi + f_1 \left(-\sin 2 \varphi - \frac{1}{2} \sin 4 \varphi \right).$$

Следовательно, сила тяги известного электродвигателя будет равной

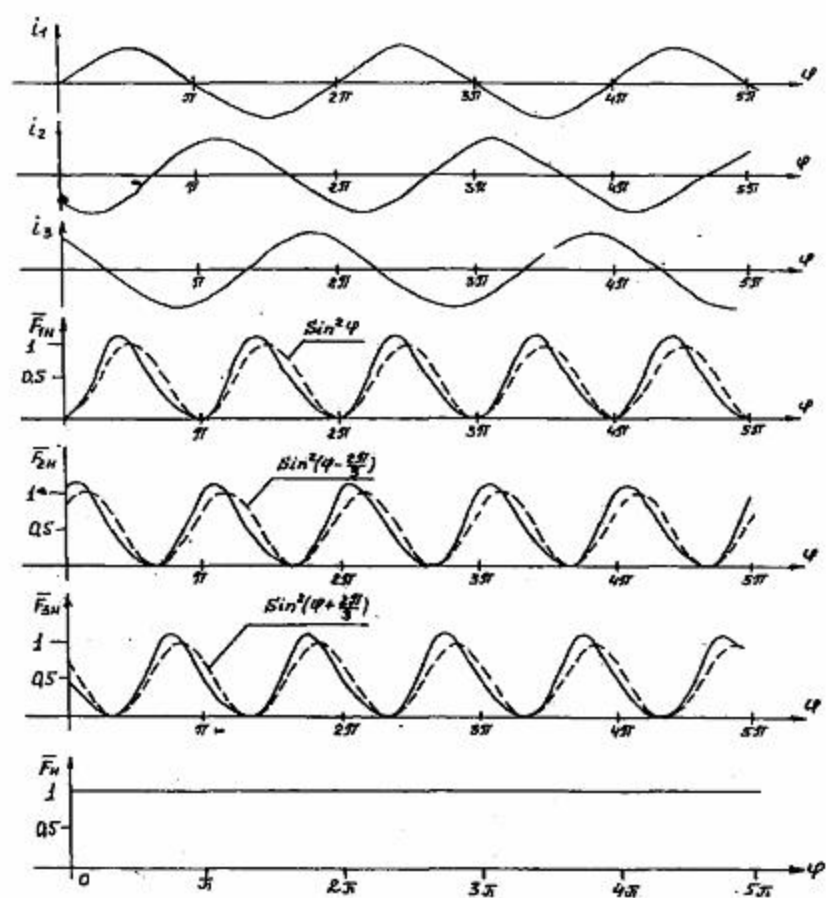
$$\begin{aligned} \bar{F} = f_0 - f_1 \sin 4 \varphi = \frac{g_1}{K_1} W I_0 F_m \lambda_m - \\ - \frac{g_1^2}{4 K_1} (W I_0)^2 \sin 4 \varphi. \end{aligned} \quad (6)$$

Полученные результаты (5) и (6) непосредственно подтверждают преимущество предлагаемого линейного электродвигателя, поскольку развиваемая им сила тяги пропорциональна амплитуде токов управления и не содержит паразитной силы тяги. При этом удельная сила тяги остается неизменной,

Таким образом, снабжение подвижного элемента известного линейного индукторного электродвигателя третьим фазным электромагнитным модулем и выполнение фазных электромагнитных модулей с указанным смещением относительно друг друга вдоль направления движения позволяет в сравнении с известным электродвигателем повысить точность регулирования силы тяги, при этом удельная сила тяги остается неизменной.



Фиг. 1



Фиг. 2