

ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ И ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИИ

УДК 621.313.292

И.П. Попов, В.И. Чарыков, А.И. Пильников

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТАТИЧЕСКИХ ТЯГОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СТЕРЖНЕВОЙ ЛИНЕЙНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ

Рассмотрена конструкция и принцип действия стержневой линейной электрической машины и определены ее статические тяговые характеристики для различных режимов возбуждения.

Ключевые слова: машина электрическая, стержневая, тяговые характеристики.

I.P. Popov, V.I. Charykov, A.I. Pilnikov

TO THE ISSUE ON DETERMINING THE STATIC TRACTION CHARACTERISTICS OF THE BAR LINEAR ELECTRICAL MACHINE

Construction and operation principle of the bar linear electrical machine are considered and its static traction characteristics for various modes of excitation are determined.

Key words: electrical machine, bar, traction characteristics.

К линейным электрическим машинам, используемым в приводе различных механизмов, в том числе сельскохозяйственного назначения, зачастую предъявляются такие требования, как длинный ход, значительное тяговое усилие, надежность, экономичное регулирование скорости перемещения бегуна, тягового усилия, высокий КПД, малый ток намагничивания, заданный вид механической характеристики и др.

В определенной степени этим требованиям удовлетворяет стержневая линейная электрическая машина (СЛЭМ) [1–7] (рис. 1).

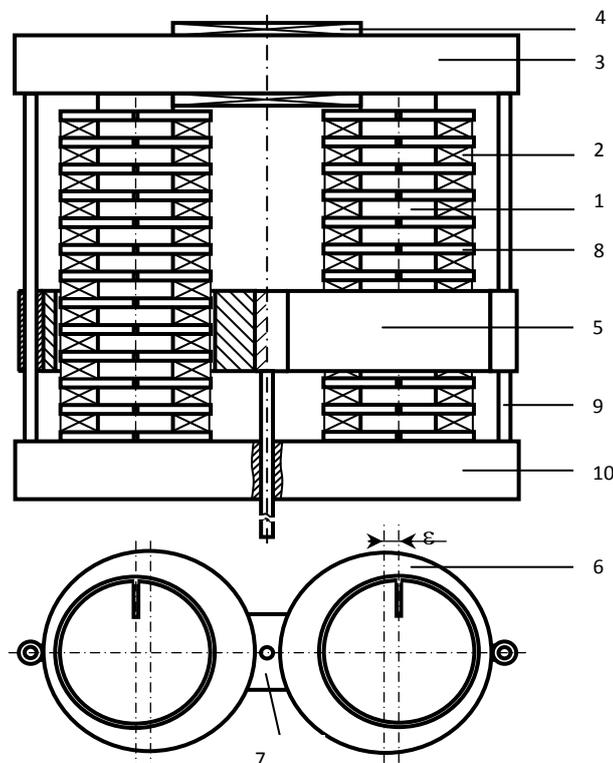


Рис. 1. Конструкция электрической машины

Статор машины состоит из двух продольных круглых стержней 1 с якорной обмоткой 2 и поперечного стержня 3 с обмоткой возбуждения 4, а бегун 5 выполнен в виде двух цилиндров 6 с круглыми отверстиями, соединенных перемычкой 7. Оси отверстий смещены относительно осей цилиндров к периферии бегуна. Это обеспечивает изменение площади сечения участков цилиндров, в которых локализован магнитный поток, в соответствии с изменением концентрации магнитного потока, что обуславливает равномерное насыщение этих участков. По окружности продольных стержней выполнены поперечные пазы и зубцы 8 для размещения в пазах витков якорной обмотки, а по образующей выполнен продольный паз для соединения витков, расположенных в соседних поперечных пазах. Во избежание магнитного шунтирования бегуна направляющие штоки 9 и опора 10 выполнены из немагнитного материала.

Машина работает следующим образом. Обмотка возбуждения 4 создает магнитный поток, который локализуется в поперечном стержне 3, первом продольном стержне 1, цилиндре 6, перемычке 7, втором цилиндре, и втором продольном стержне. Магнитный поток в рабочих воздушных зазорах взаимодействует с током якорной обмотки 2, в результате чего в соответствии с законом Ампера возникает тяговое усилие.

$$F = 2BI_a l_a \frac{n}{N}, \quad (1)$$

где B – магнитная индукция в рабочих воздушных зазорах;
 I_a – якорный ток;
 l_a – длина провода якорной обмотки;
 n – число пазов (зубцов) под полюсами бегуна;
 N – число пазов на продольных стержнях.

Магнитный поток в рабочих зазорах распределен равномерно вдоль окружности продольных стержней, поэтому все участки якорной обмотки, находящиеся под полюсами, используются для создания тягового усилия.

Аналогом СЛЭМ среди машин вращательного действия является машина постоянного тока. Этим обстоятельством определяются такие качества СЛЭМ, как значительное тяговое усилие и экономичное регулирование усилия и скорости бегуна. Расположение обмоток возбуждения на статоре позволяет обойтись без скользящих контактов, а также без использования хрупких постоянных магнитов, что значительно упрощает конструкцию и повышает надежность, допуская, в частности, использование СЛЭМ в приводах механизмов виброударного действия [8, 9]. Ток намагничивания, определяемый малой величиной воздушного зазора δ в магнитопроводе машины, достигает небольших значений, что обуславливает высокий КПД.

Для оценки вида статических тяговых характеристик СЛЭМ целесообразно вначале рассмотреть случай, когда рабочая область кривой намагничивания лежит в пределах прямолинейного участка при любом значении перемещения бегуна x . Пусть при этом ток возбуждения

$$I_B = I_{B1}.$$

При определении статических тяговых характеристик можно считать i_B и i_a постоянными (I_B и I_a).

Поскольку магнитное сопротивление ненасыщенного магнитопровода неизмеримо меньше, чем у рабочего воздушного зазора, закон полного тока для магнитной цепи СЛЭМ можно записать в виде

$$2 \frac{B}{\mu_0} \delta = w_B I_B + w_a I_a \frac{x}{L_a},$$

где w_B, w_a – число витков обмоток возбуждения и якорной;
 L_a – длина активной зоны продольных стержней.
 С учетом (1)

$$\frac{FN\delta}{\mu_0 I_a l_a n} = w_B I_B + w_a I_a \frac{x}{L_a},$$

$$F = \frac{\mu_0 l_a n}{N \delta} \left(w_B I_B I_a + w_a I_a^2 \frac{x}{L_a} \right) = \frac{\mu_0 l_a n I_a}{N \delta} \left(w_B I_B + w_a I_a \frac{x}{L_a} \right) \quad (2)$$

(рис. 2, граф. 1).

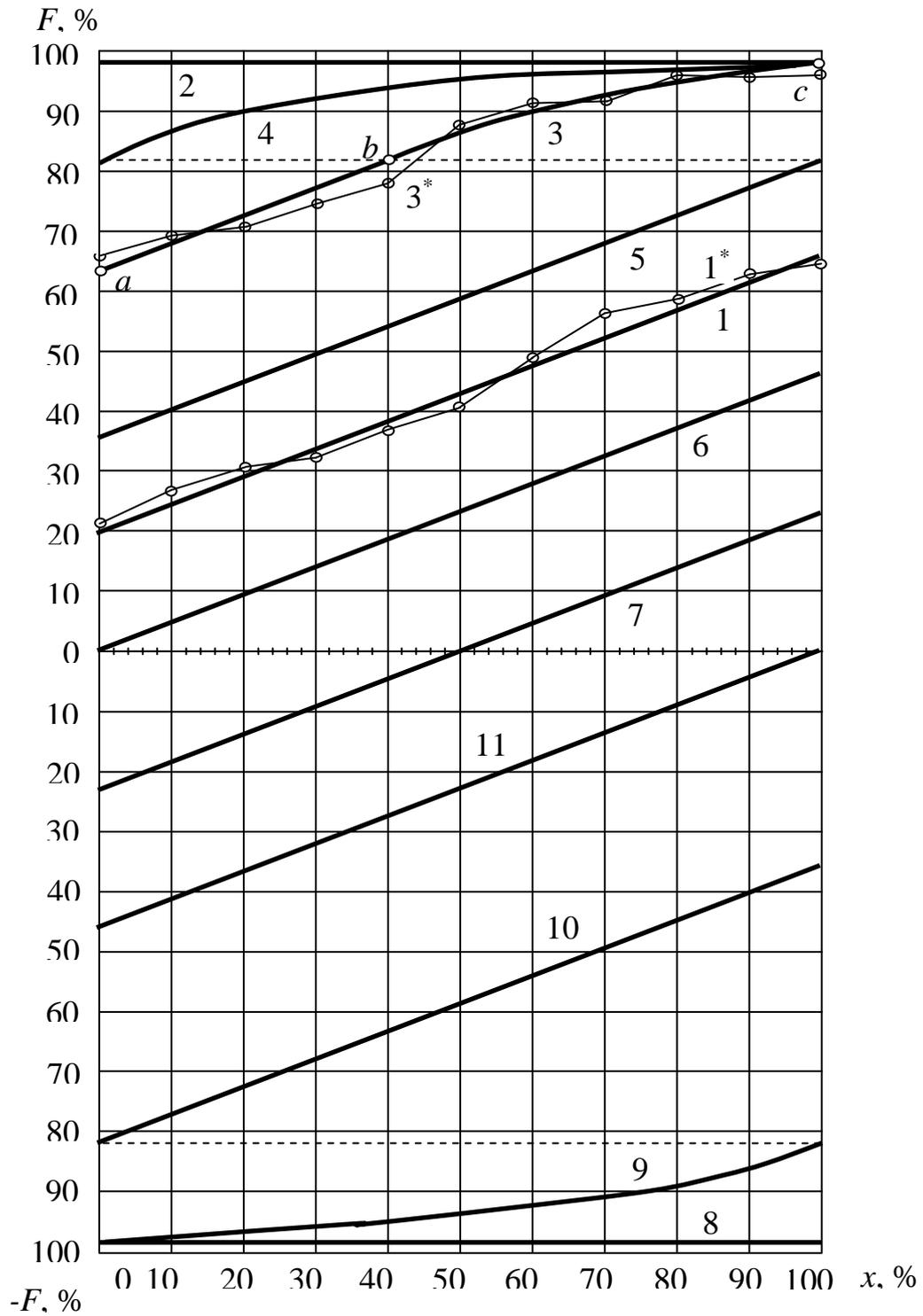


Рис. 2. Статические тяговые характеристики СЛЭМ: 1–7 – прямой; 8–11 – обратный ход

Во втором предельном случае магнитопровод насыщен полностью при любом x . При этом

$$I_b = I_{b2} > I_{b1}.$$

Очевидно, что при насыщении бегуна любое увеличение магнитного потока в продольных и поперечных стержнях вызовет лишь увеличение потока рассеяния между стержнями, при этом рабочий поток будет практически постоянным. При этом

$$F = 2B_m I_a l_a \frac{n}{N}, \quad (3)$$

где B_m – максимально возможное значение магнитной индукции в рабочем воздушном зазоре.

Выражению (3) соответствует график 2 на рисунке 2.

В соответствии с (2) и (3) при $x = 0$

$$F = \frac{\mu_0 l_a n w_B I_{B2} I_a}{N \delta} = 2B_m I_a l_a \frac{n}{N}.$$

Отсюда

$$I_{B2} = 2B_m \frac{\delta}{\mu_0 w_B}.$$

Промежуточная кривая (график 3) соответствует значению I_b такому, что

$$I_{b1} < I_{b3} < I_{b2}.$$

При этом, исходя из (2), участок кривой $a-b$ является прямолинейным. Далее участок $b-c$ – криволинейный, повторяет форму нелинейной части функции намагничивания.

Кривая 4 соответствует случаю, когда прямолинейный участок вырождается в нуль. При этом

$$I_{B4} = 2B_m^* \frac{\delta}{\mu_0 w_B},$$

где B_m^* – значение магнитной индукции, соответствующее верхней точке прямолинейного участка функции намагничивания.

График 5 – это зависимость при максимальном токе возбуждения, при котором сохраняется линейность статической тяговой характеристики. В соответствии с (2) и (3) при $x = L_a$

$$F = 2B_m^* I_a l_a \frac{n}{N} = \frac{\mu_0 l_a n I_a}{N \delta} w_B I_{B5} + w_a I_a.$$

Отсюда

$$I_{B5} = \frac{2B_m^* \delta / \mu_0 - w_a I_a}{w_B}.$$

График 6 соответствует $I_b = 0$, а $I_a < 0$. В этом случае (2) принимает вид

$$F = \frac{\mu_0 l_a n I_a}{N \delta} \left(-w_B I_B + w_a I_a \frac{x}{L_a} \right). \quad (4)$$

Последнее выражение является функцией обратного хода. При этом не имеет значения направление какого из токов – возбуждения или якорного, подлежит изменению. Для исключения перемагничивания участков магнитопровода предпочтительнее менять направление якорного тока. При одновременном изменении направления обоих токов величина и направление тягового усилия не изменяется.

Полностью насыщенному магнитопроводу при обратном ходе (рис. 2, граф. 8) соответствует условие

$$F = 2B_m I_a l_a \frac{n}{N} = \frac{\mu_0 l_a n I_a}{N \delta} - w_B I_{B8} + w_a I_a .$$

Отсюда

$$I_{B8} = \frac{w_a I_a - 2B_m \delta / \mu_0}{w_B} .$$

Кривая 9 соответствует случаю, когда прямолинейный участок вырождается в нуль. При этом

$$F = 2B_m^* I_a l_a \frac{n}{N} = \frac{\mu_0 l_a n I_a}{N \delta} - w_B I_{B9} + w_a I_a .$$

$$I_{B9} = \frac{w_a I_a - 2B_m^* \delta / \mu_0}{w_B} .$$

График 10 – это зависимость при максимальном токе возбуждения, при котором сохраняется линейность статической тяговой характеристики. При $x = 0$

$$F = 2B_m^* I_a l_a \frac{n}{N} = - \frac{\mu_0 l_a n}{N \delta} w_B I_{B10} I_a ,$$

$$I_{B10} = -2B_m^* \frac{\delta}{\mu_0 w_B} .$$

График 11 соответствует случаю, когда выражение, стоящее в скобках (4), превращается в нуль при $x = L_a$.

$$I_{B12} = \frac{w_a}{w_B} I_a .$$

Пунктирами на графиках показаны границы линейности характеристик.

Выражение (2) справедливо для СЛЭМ независимого и параллельного возбуждения. Для СЛЭМ последовательного возбуждения

$$F = \frac{\mu_0 l_a n I_a}{N \delta} \left(w_B I_a + w_a I_a \frac{x}{L_a} \right) = \frac{\mu_0 l_a n I_a^2}{N \delta} \left(w_B + w_a \frac{x}{L_a} \right) .$$

Для СЛЭМ смешанного возбуждения

$$F = \frac{\mu_0 l_a n I_a}{N \delta} \left[w_{ш} I_B \pm w_c I_a + w_a I_a \frac{x}{L_a} \right] ,$$

где $w_{ш}$ – число витков шунтовой обмотки возбуждения;
 w_c – число витков серийной обмотки

При этом тип возбуждения не влияет на форму статических тяговых характеристик.

Таким образом, СЛЭМ обладает широким диапазоном статических тяговых характеристик, что в совокупности с очевидной простотой конструкции, надежностью, хорошими энергетическими и регулировочными качествами делают ее перспективной при создании электроприводов исполнительных механизмов различного оборудования, в том числе, сельскохозяйственного назначения.

Литература

1. Пат. 2038680 RU, МПК⁶ Н 02 К 41/035. Электрическая машина / *И.П. Попов, Д.П. Попов* (Россия). – № 93015412; заявл. 24.03.93; опубл. 27.06.95, Бюл. №18.
2. Решение о выдаче патента от 08.11.2011 по заявке № 2011138249. Электрический двигатель прямого действия / *И.П. Попов*.
3. Решение о выдаче патента от 08.11.2011 по заявке № 2011138185. Линейный электромеханический преобразователь / *И.П. Попов*.
4. Решение о выдаче патента от 21.11.2011 по заявке № 2011138253. Электромеханический преобразователь / *И.П. Попов*.
5. Решение о выдаче патента от 29.11.2011 по заявке № 2011138248. Электромеханический преобразователь энергии / *И.П. Попов*.
6. Решение о выдаче патента от 01.12.2011 по заявке № 2011138251. Линейный электромеханический преобразователь энергии / *И.П. Попов*.
7. Решение о выдаче патента от 01.12.2011 по заявке № 2011138255. Электрический двигатель возвратно-поступательного движения / *И.П. Попов*.
8. Решение о выдаче патента от 01.11.2011 по заявке № 2011138187. Универсальный электрический молот / *И.П. Попов*.
9. Решение о выдаче патента от 01.11.2011 по заявке № 2011138118. Электромагнитный молот для отбивки окалины / *И.П. Попов*.



УДК 537.8:681.3

Е.В. Титов, И.Е. Мигалев

МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ НА ОБЪЕКТАХ АПК

В статье рассмотрена методика оценки опасности электромагнитных излучений, возникающих в процессе использования ряда электротехнологий на объектах АПК.

Ключевые слова: электромагнитные излучения, измерение параметров, контроль, сельскохозяйственный комплекс.

E.V. Titov, I.E. Migalev

TECHNIQUE FOR CONTROLLING THE ELECTROMAGNETIC SITUATION AT THE AGROINDUSTRIAL COMPLEX OBJECTS

The technique for estimation of the electromagnetic radiation danger that take place in the process of use of the number of electro-technologies at the AIC objects is considered in the article.

Keywords: electromagnetic radiations, parameter measuring, control, agroindustrial complex.

Механизм взаимодействия электромагнитных излучений (ЭМИ) с человеческим организмом до конца не изучен. Но биологами отмечаются отрицательные результаты при облучении биологических систем электромагнитными полями (ЭМП). Поэтому возникает необходимость обеспечения электромагнитной безопасности людей и животных, в том числе и на объектах агропромышленного комплекса (АПК) [1].