

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НАСЫЩЕНИЯ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ НА ТОКИ СТАТОРА ВЕНТИЛЬНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ШАХТНОГО ЭЛЕКТРОВОЗА

Захарченко П.И. канд. техн. наук,  
Дудник М.З., докт. техн. наук, проф.,  
Карась С.В., докт. техн. наук, проф.,  
Ковалев Е.Б., докт. техн. наук, проф.

Донецкий национальный технический университет

*Исследовано изменение параметров вентильного электродвигателя в приводе шахтного электровоза обусловленное величиной насыщения магнитной системы.*

*The change of parameters of the semi-conductor electric motor in a drive of a mines locomotive, which is caused by size of saturation of magnetic system is investigated.*

Низкие ресурс и надёжность тягового двигателя постоянного тока шахтного электровоза обусловили необходимость поиска альтернативных решений. Одним из приемлемых является применение вентильного электродвигателя (ВД).. Его особенностью является то, что высокие моментные характеристики могут быть получены только при высокой индукции в магнитной системе. Ввиду сложности расчёта насыщение магнитной системы учитывается приближённо коэффициентом насыщения  $K_m = F_s / F_\delta$ . Однако, для оценки влияния насыщения на мгновенные величины параметров необходимо иметь аналитическое описание кривой намагничивания стали.

Согласно [1] для описания кривой намагничивания стали 2013 и индукции до 2,5 Тл целесообразно использовать степенной ряд, содержащий линейный член и член в степени 13.

Регрессионным анализом стандартной безгистерезисной кривой намагничивания стали 2013 (рис.1), приведенной в ГОСТ 21427-83, получены коэффициенты  $K_{B1}=100$  и  $K_{B13}= 3$  для расчета напряженности поля в зависимости от индукции  $H=f(B)$ :

$$H=K_{B1} * B + K_{B13} * B^{13} \quad (1)$$

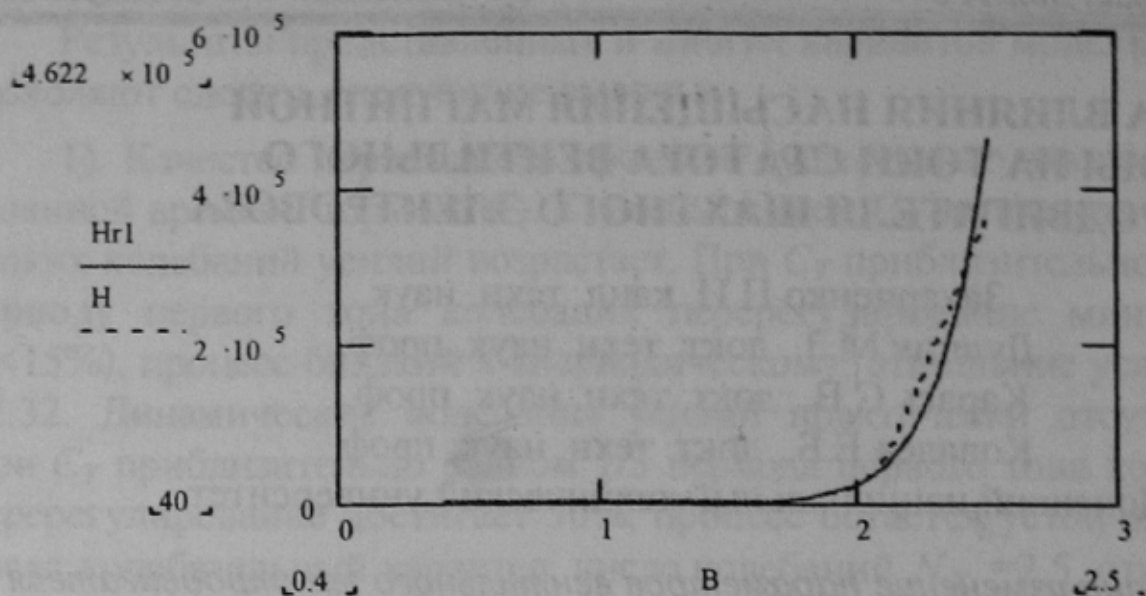


Рисунок 1 - Результаты сопоставления расчетных  $Hr1$  и стандартных  $H$  данных приведены

Различные участки магнитной системы ВД могут иметь различные сечения. Это затрудняет получение простого выражения, описывающего кривую намагничивания системы. Поэтому целесообразно описать ее характеристику, ( $I=f(\Phi)$ ), как это сделано в [2] рядом, содержащим нечетные степени индукции

Положим, что сечение магнитопровода постоянно, что является оптимальным. В этом случае уравнение принимает следующий вид:

$$I^*w_1 = KB_0*B_0 + KB_1*B_0 + KB_{13}*B_0^{13} = R_{m10}*\Phi + R_{m11}*\Phi + R_{m13}*\Phi^{13} \quad (2)$$

где коэффициент  $R_{m10}$  определяет магнитное сопротивление зазора,  $B_0$  – индукция в зазоре  $\Phi = FiSi(B_0)$  – поток являющийся функцией индукции в воздушном зазоре.

В результате расчета магнитной системы ВД, предложенного в [3], при различных потоках для угла  $\theta = 0$ , получена магнитная характеристика  $I(B_0) = f(\Phi) = B_0*(Sp1 + Sq) = B_0*S_d = FiSi(B_0)$  (где  $Sp1$  и  $Sq$  – соответственно, изменяемое и не изменяемое сечение полюсов ротора или статора в зазоре для прохождения магнитного потока при повороте ротора;  $S_d$  – суммарное сечение для магнитного потока статор – ротор,  $\Phi_{si}$  – суммарный поток в зазоре соответствующий индукции в зазоре  $B_0$ ,  $FiSi$  – магнитный поток, рис. 2). В результате анализа расчетов получено описание кривой намагничивания магнитной системы ВД.

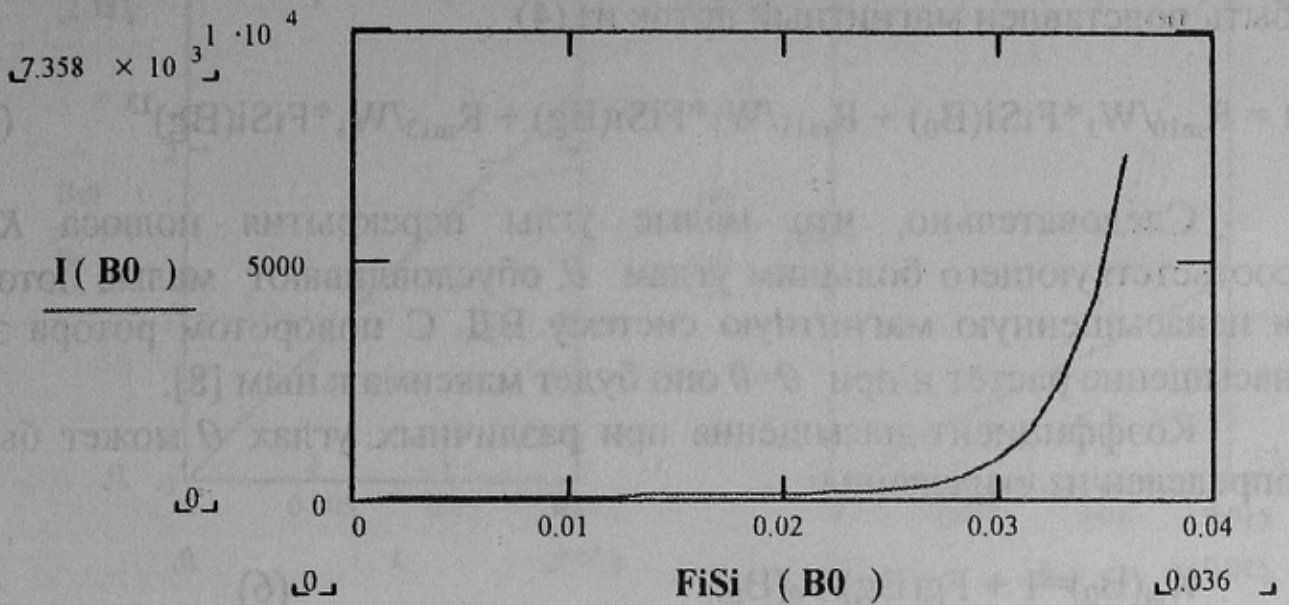


Рисунок 2 - Характеристика магнитной системы.

$$I = R_{m10}/W_1 * FiSi(B_0) + R_{m11}/W_1 * FiSi(B_0) + R_{m13}/W_1 * FiSi(B_0)^{13} =$$

$$= R_{m10}/W_1 * FiSi(B_0) + R_{m1g}(B_0)/W_1 * FiSi(B_0), \quad (3)$$

где:  $R_{m10} = Del/(Mju0 * S\delta) = 1,173 * 10^5$  - магнитное сопротивление одного зазора;  $R_{m1g}(B_0)$  - Магнитное сопротивление половины сердечника железа,  $I$  - намагничивающий ток;  $0 < B_0 < 2,1$  Тл.

$$R_{m1g} = R_{m11}/W_1 + R_{m13}/W_1 * FiSi(B_0)^{12}$$

$$R_{m11} = 5.407 * 10^3, \quad R_{m13} = 1.125 * 10^{24}$$

Зависимость  $I = f(\Phi_{si})$  для сердечника магнитной системы двигателя при  $\theta = 0$ , позволяет определять ток ВД и коэффициент насыщения магнитной системы при различных потоках и углах  $\theta$ .

Магнитный поток при заданной величине  $B_0$  и индукция  $B_g$  в железе определяются соотношениями:

$$\Phi = B_0 * (Sg * Kp + Sq) = FiSi(B_0) \quad (4)$$

$$B_g = \Phi / (Sg + Sq) = B_0 * (Sg * Kp + Sq) / (Sg + Sq) \quad (5)$$

Индукция  $B_g$  определяет насыщение магнитной системы ВД, поток для расчета этого насыщения, и магнитное сопротивление железа сердечника.

Таким образом, для определения тока в выражение (3) должен быть подставлен магнитный поток из (4):

$$I = R_{m10}/W_1 * FiSi(B_0) + R_{m11}/W_1 * FiSi(Bg) + R_{m13}/W_1 * FiSi(Bg)^{13} \quad (5)$$

Следовательно, что малые углы перекрытия полюса  $K_{pi}$ , соответствующего большим углам  $\theta$ , обуславливают малые потоки и ненасыщенную магнитную систему ВД. С поворотом ротора это насыщение растёт и при  $\theta=0$  оно будет максимальным [8].

Коэффициент насыщения при различных углах  $\theta$  может быть определен из выражения:

$$K_m(B_0) = 1 + Fg(Bg)/F_0(B_0) \quad (6)$$

Установлено, что при магнитной индукции выше 2 Тл наступает резкое увеличение коэффициента насыщения  $K_m$  магнитной системы, что приведет к соответствующему увеличению намагничивающего тока.

Рассмотрим дифференциальное уравнение для потока:

$$w * d\Phi_{si} / dt = u - i * R \quad (7)$$

Подставив в него зависимость для определения тока из (3), получим уравнение для определения изменения потока во времени, представленное ниже. Решив его, получим изменение индукции в зазоре и тока для неподвижного ВД (рис. 3).

$$\frac{d\Phi_{si}}{dt} = \frac{u}{2 * W_1} - \frac{R}{2 * W_1} * \left( \frac{Rm10}{W_1} * \frac{Sd}{(Sg1 * l_{i1} + Sq)} * \Phi_n + \frac{Rm11}{W_1} * \Phi_{si} + \frac{Rm13}{W_1} * (\Phi_{si})^{13} \right) \quad (10)$$

Как видно из рис. 3.а, при индукции выше 1,8 Тл насыщение приводит к снижению индукции в воздушном зазоре. При переходе к насыщению, т.е. при  $B > 1.9$  Тл, ток ВД резко возрастает, поэтому проектировать двигатели целесообразно при индукции в зазоре, не превосходящей этой величины.

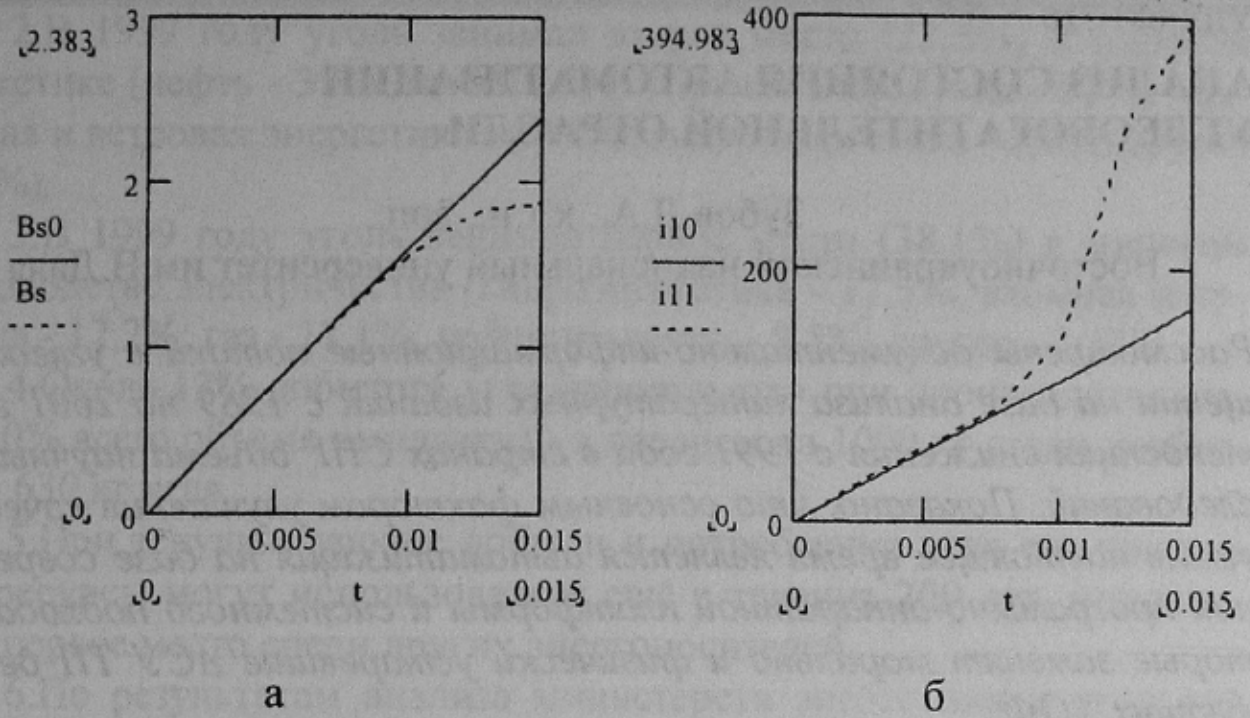


Рисунок 3 - Изменение индукции (а), определенной без учета насыщения  $Bs_0$  и с учетом насыщения  $Bs$ , в зависимости от времени подключения неподвижного ВД и изменение тока (б) ВД, определённое без учета насыщения ( $I_{10}$ ) и с учетом насыщения ( $I_{11}$ ) в зависимости от времени подключения неподвижного двигателя.

Список источников

1. Дискретный электропривод с шаговыми электродвигателями. Под редакцией Чиликина М.Г. М. Энергия. 1971. С. 624.
2. Бычков М.Г. Элементы теории вентильно-индукторного электропривода. // Электричество. – 1997. - № 8. С. 35-44.
3. Захарченко П.И., Дудник М.З., Карась С.В., Ковалев Е.Б. Характеристики вентильных электродвигателей с индуктивно несвязанными обмотками и их аналитическое определение. / Тез. Докл. 1У международный симпозиум «Эльмаш - 02» Москва. - Октябрь 2002
4. Ткачук В. Електромеханотороніка. / Видавництво «Львівська політехніка». -Львів. 2001. С. 402.