

УДК 621.313.333

ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА СТАЛИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМЫ ПРИВОДА С АСИНХРОННЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

Огарь В.А., ассистент

Кременчугский государственный политехнический университет имени Михаила Остроградского 39614, г. Кременчуг, ул. Первомайская, 20

E-mail: saue@polytech.poltava.ua

Проведені дослідження з оцінки впливу якості сталі на електромеханічні характеристики електропривода з асинхронними двигунами. Зазначено погіршення динамічних характеристик і регулювальних властивостей системи при збільшенні коефіцієнта вихрових струмів. Запропоновано скорегований скалярний закон частотного керування для компенсації дії вихрових струмів, зроблена порівняльна характеристика рівня енергоспоживання в тому й іншому випадках.

Ключові слова: скалярне керування, вихрові струми, енергоспоживання, динамічні характеристики, регулювальні властивості.

The paper presents the research in estimation of steel quality effect on the characteristics of the electric drive with induction motor. It has been stated that the dynamic characteristics and adjusting properties of the system becomes worse when eddy currents factor increases. It is offered to correct the scalar law of frequency control for compensation of eddy currents effect, the comparative characteristic of energy consumption in both modes.

Key words: Scalar control, eddy currents, energy consumption, dynamic characteristics, adjusting properties.

Введение. Асинхронная машина является одной из составляющих системы электропривода, поэтому изменения, происходящие в ней, тем или иным образом будут оказывать влияние на электропривод в целом. В настоящее время большинство электроприводов составляют нерегулируемые привода на базе асинхронных двигателей. Однако, применение регулируемого электропривода позволяет получить экономию электроэнергии до 75 % [6], а как указано в [1], из всех затрат в течение срока службы двигателя затраты на электроэнергию составляют наибольшую долю, равную 90 %. В связи с этим, в последние годы наблюдается тенденция в использовании регулируемого привода, что позволяет существенно снизить потребление электроэнергии, а соответственно, и затраты, связанные с этим.

Регулирование скорости электропривода производится с использованием скалярного или векторного управления. В [1] отмечено, что для большинства массовых применений приводов требуется относительно небольшой диапазон регулирования скорости (до 1:10, 1:20) и относительно низкое быстродействие. При этом целесообразно использовать классические структуры скалярного управления. Переход к широкодиапазонным (до 1:10000), быстродействующим приводам требует применения более сложных структур векторного управления.

Анализируя сказанное, целесообразно рассмотреть систему электропривода со скалярным законом управления и проанализировать ее характеристики при изменении свойств стали

асинхронного двигателя, как фактора, влияющего на нормальную работу всей системы.

Цель работы. Оценка влияния качества стали на характеристики системы привода с асинхронным двигателем при использовании скалярного закона управления.

Материал и результаты исследований. Известно, что для двигателя, прошедшего ремонт, характеристики электротехнической стали изменяются [3]. Результатом этого является существенный рост потерь от вихревых токов, которые индуктируются основным магнитным потоком. Причем поток, созданный вихревыми токами направлен навстречу основному магнитному потоку электрической машины, что приводит к увеличению потоков рассеивания, размагничиванию стали и снижению эффективного потока в зазоре, что соответствует росту индуктивного сопротивления статора и снижению индуктивного сопротивления контура намагничивания. В работе [3] проведены исследования по оценке влияния действия вихревых токов на статические характеристики асинхронного двигателя. Представляется важным оценить влияние указанного явления на динамические процессы, протекающие в асинхронной машине. Для асинхронного двигателя серии 4А132М с паспортными данными: $P_2 = 11$ кВт, $U_n = 380$ В, $I_n = 21,5$ А, $R_1 = 0,462$ Ом, $R'_2 = 0,312$ Ом, $x_1 = 0,831$ Ом, $x'_2 = 1,262$ Ом, $x_\mu = 27,52$ Ом, $k_m = 3,32$, $k_1 = 6,83$, $\cos \varphi = 0,876$ проведем расчет параметров динамической модели. Учет вихревых токов для параметров осуществлялся согласно

методу, пропонуваному в [3], при розрахунок статических характеристик. Т.е. індуктивність вихревих токів виразим в виді $L_{sb} = L_s k_b$, а індуктивність $L_{\mu b} = L_s k_e k_b$, где k_e - коэффициент приведення к первичной обмотке, k_b - коэффициент вихревых токов, учитывающий

увеличение вихревых токов после ремонтных операций.

В результате расчета получены параметры (табл. 1), необходимые для исследования динамических характеристик при изменении коэффициента вихревых токов.

Таблица 1 – Параметры асинхронного двигателя для расчета динамических характеристик асинхронного двигателя с учетом коэффициента вихревых токов

	$k_b = 0$	$k_b = 0.2$	$k_b = 0.4$	$k_b = 0.6$	$k_b = 0.8$	$k_b = 1$
$K_r(k_b)$	0,956	0,905	0,853	0,802	0,75	0,699
T_r	0,293	0,293	0,293	0,293	0,293	0,293
$R'(k_b)$	0,747	0,717	0,689	0,663	0,638	0,614
$T'_1(k_b)$	0,0086	0,015	0,022	0,028	0,034	0,04
$L_\mu(k_b)$	0,875	0,083	0,078	0,073	0,069	0,064
$L'_s(k_b)$	0,0064	0,011	0,015	0,019	0,022	0,024

Для исследования динамических характеристик асинхронного двигателя была использована математическая модель в ортогональной системе координат «u, v, 0», которая нашла свое применение при исследовании частотно-управляемых электроприводов [4]. Ниже приведено ее математическое описание (1) и структурная схема (рис. 1), где приняты следующие обозначения: U_{su} , U_{sv} , U_{ru} , U_{rv} , I_{su} , I_{sv} - мгновенные значения фазных напряжений и токов статора и ротора по мнимой и действительной осям соответственно; Ψ_{ru} - потокосцепление ротора по оси «u»;

N - число пар полюсов двигателя;
 $T'_1(k_b) = \frac{L'_s(k_b)}{R'(k_b)}$, $T_r = \frac{L_r}{R_r}$ - постоянные времени статорной и роторной обмоток, где $R'(k_b) = R_s + [K_r(k_b)]^2 R_r$, $L'_s(k_b) = L_{s\sigma}(k_b) + K_r(k_b)L_{r\sigma}(k_b)$, $K_r(k_b) = \frac{L_m(k_b)}{L_r(k_b)}$; ω_k - скорость вращения координатной системы, ω - скорость вращения ротора.

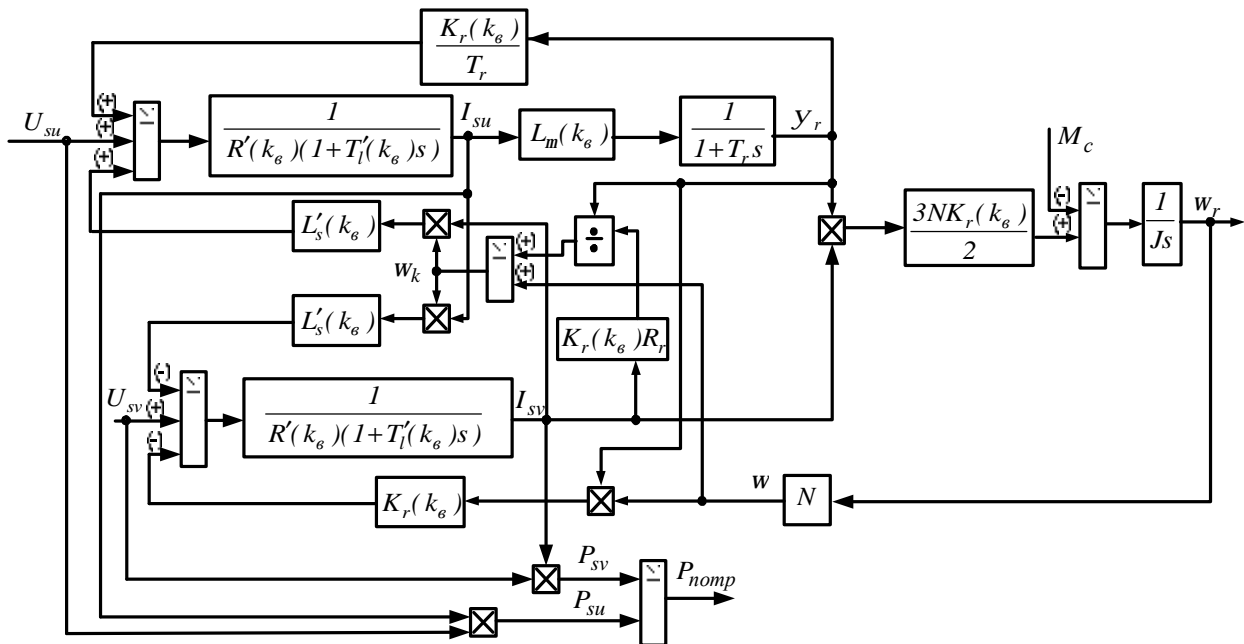


Рисунок 1 - Структурная схема асинхронного двигателя в координатной системе «u, v, 0» с учетом вихревых токов

$$\begin{cases}
 U_{su} - K_r(k_B)U_{ru} = I_{su}R'(k_B)(1 + T_1'(k_B)s) - \\
 - \omega_k L_s'(k_B)I_{sv} - \frac{K_r(k_B)}{T_r} \Psi_{ru}; \\
 U_{sv} - K_r(k_B)U_{rv} = I_{sv}R'(k_B)(1 + T_1's) + \\
 + \omega_k L_s'(k_B)I_{su} + K_r(k_B)N\omega \Psi_{ru}; \\
 \Psi_{ru} = \frac{T_r U_{ru} + L_m(k_B)I_{su}}{1 + T_r s}; \\
 \omega_k = \frac{U_{rv} + R_r K_r(k_B)I_{sv}}{\Psi_{ru}} + N\omega; \\
 M = \frac{3}{2} N K_r(k_B) \Psi_{ru} I_{sv}; \\
 Js\omega = M - M_c.
 \end{cases} \quad (1)$$

Проведя математическое моделирование, получены переходные процессы момента и скорости асинхронного двигателя, представленные на рис. 2, 3.

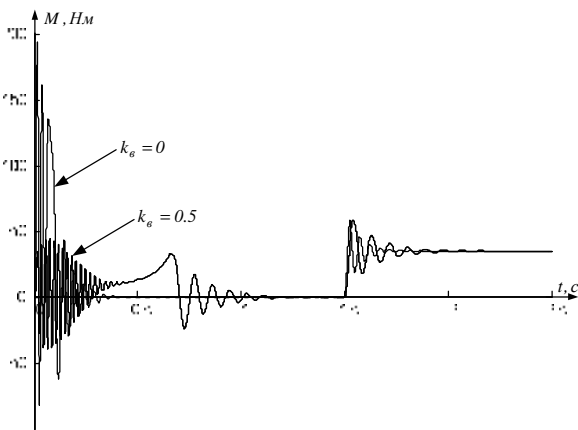


Рисунок 2 – Переходные процессы момента асинхронного двигателя при пуске и набросе нагрузки для разных коэффициентов вихревых токов

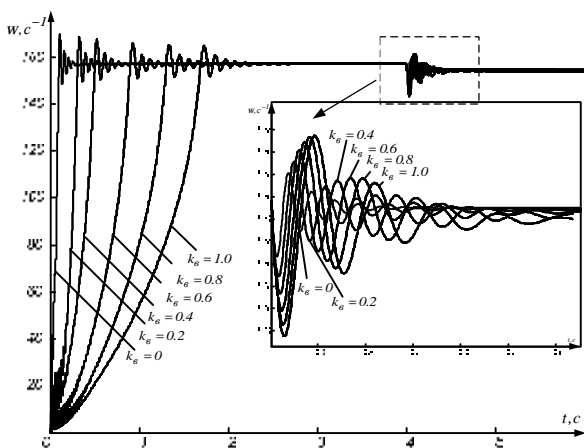


Рисунок 3 - Переходные процессы скорости асинхронного двигателя при пуске и набросе нагрузки для разных коэффициентов вихревых токов

Из полученных зависимостей видно, что рост вихревых токов приводит к увеличению перерегулирования системы (рис. 4), возрастанию статической ошибки по скорости (рис. 5), уменьшению нагрузочной способности двигателя, росту времени разгона, т.е. к ухудшению динамических свойств системы электропривода. На основании полученных результатов, можно сделать вывод о необходимости корректировки закона частотного управления для обеспечения требуемых характеристик асинхронного двигателя. Как известно, традиционный подход к задаче частотного управления в разомкнутой системе состоит в отыскании некоторого закона управления, выводимого из условия обеспечения заданной перегрузочной способности [2].

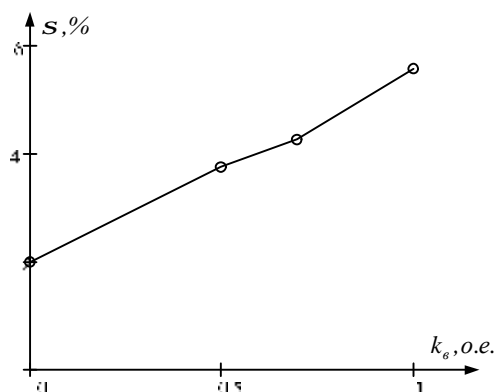


Рисунок 4 - Зависимость перерегулирования от коэффициента вихревых токов

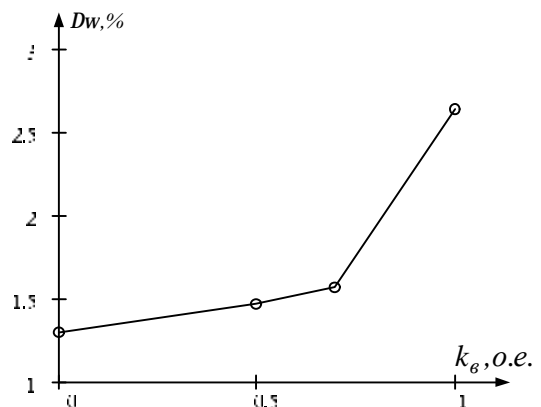


Рисунок 5 - Изменение статической ошибки по скорости

В связи с тем, что увеличение вихревых токов приводит к ослаблению основного потока, то для обеспечения требуемых характеристик асинхронного двигателя необходима его стабилизация. Приближенно можно считать, что магнитный поток определяется приложенным напряжением, частотой и параметрами обмотки [5]:

$$\Phi \approx \frac{U}{4,44f_1 w_1 k_{06}} \equiv \frac{U}{f_1},$$

т.е. изменение потока пропорционально прикладываемому напряжению. Соответственно, для поддержания магнитного потока на уровне его номинального значения или близкого к нему, необходимо повышать напряжение питания двигателя. Тогда, закон частотного управления должен иметь вид: $\frac{U + \Delta U}{f} = \text{const}$, где ΔU будет соответствовать повышению напряжения, а как следствие, увеличению магнитного потока, для компенсации размагничивающего действия вихревых токов.

Таблица 2 – Изменение питающего напряжения при учете коэффициента вихревых токов

	$k_B = 0$	$k_B = 0,2$	$k_B = 0,4$	$k_B = 0,6$	$k_B = 0,8$	$k_B = 1$
ΔU , о.е.	-	0,03	0,0722	0,137	0,201	0,264

Анализ табличных данных позволяет получить аппроксимационную зависимость, отражающую изменение напряжения питания на всем диапазоне изменения коэффициента вихревых токов в виде:

$$\Delta U = a + b \cos(c \cdot k_B + d), \quad (2)$$

где a , b , c , d - коэффициенты аппроксимации, равные: $a = 0,17714$, $b = 0,182034$, $c = 1,8227$, $d = 3,38727$.

Проверка работоспособности предложенного закона управления, учитывающего

Таблица 3 – Погрешность в определении скорости при использовании скорректированного закона управления

	$\frac{U}{f} = 0,8$	$\frac{U}{f} = 0,7$	$\frac{U}{f} = 0,9$
$k_B = 0$	$\omega_{-0} = 123,5879$	$\omega_{-0} = 107,8654$	$\omega_{-0} = 139,307$
$k_B = 0,871$	$\omega_{-0,871} = 123,5646$	$\omega_{-0,871} = 107,921$	$\omega_{-0,871} = 139,2198$
$\Delta, \text{с}^{-1} (\%)$	0,0233 (0,018)	0,0556 (0,051)	0,0872 (0,062)

Анализ табличных данных показывает, что погрешность стабилизации по скорости при использовании скорректированного закона управления составляет около 1 %, что подтверждает правильность теоретических рассуждений.

Немаловажным показателем при анализе работы асинхронного двигателя является уровень его энергопотребления, а также влияние ухудшения свойств стали на этот параметр. В связи с этим проведена оценка потребляемой мощности асинхронного двигателя при увеличении коэффициента вихревых токов. Зависимость потребляемой мощности при коэффициенте вихревых токов $k_B = 0$ и $k_B = 0,4$ приведена на рис. 6.

Энергию, потребляемую двигателем, рассчитаем как:

Для подтверждения предложенной гипотезы проведены исследования для закона частотного управления $\frac{U}{f} = 0,8$. Для рассматриваемой выше математической модели проведено моделирование для различных коэффициентов вихревых токов. В результате получена таблица данных (табл. 2), из которой видно, насколько необходимо регулировать напряжение питания для поддержания постоянства магнитного потока.

размагничивающее действие вихревых токов, проводилась для случайно выбранного коэффициента вихревых токов $k_B = 0,871$. Сравнение производили по абсолютной погрешности скорости асинхронного двигателя в

установившемся режиме $\Delta\% = \frac{|\omega_{-0} - \omega_{-0,871}|}{\omega_{-0}}$ для

частоты питания 35, 40, 45 Гц. Результаты исследований приведены в табл. 3.

$$W_{\text{потр}} = \sum_{i=1}^N [(P_{\text{потр}})_i \cdot (t_i - t_{i-1})]. \quad (3)$$

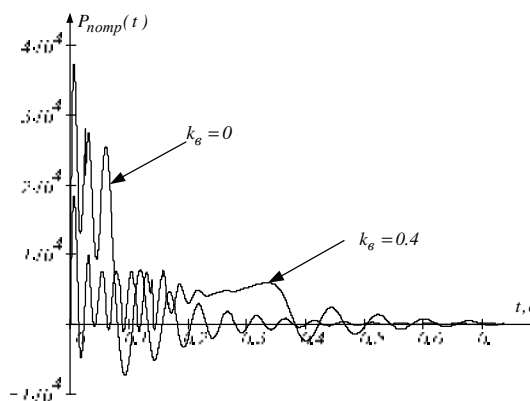


Рисунок 6 – Временная зависимость потребляемой мощности асинхронного двигателя

В результате проведенных исследований получена таблица значений (табл. 4), характеризующая энергопотребление двигателя.

Как видно, при увеличении коэффициента вихревых токов, что свидетельствует об ухудшении свойств стали, уровень энергопотребления возрастает.

Аналогично были проведены расчеты уровня энергопотребления при использовании скорректированного закона управления.

Как показывают данные (табл. 4), при использовании скорректированного закона

управления, уровень энергопотребления удалось снизить. Оценка снижения энергопотребления проводилась следующим образом:

$$\Delta W = \frac{|W - W'|}{W} \cdot 100\% , \quad \text{где } W - \text{ энергия,}$$

потребляемая двигателем при использовании закона

$$\text{управления } \frac{U}{f} = \text{const} ; W' - \text{ энергия, потребляемая}$$

двигателем при использовании скорректированного

$$\text{закона управления } \frac{U + \Delta U}{f} = \text{const} .$$

Таблица 4 – Энергопотребление асинхронного двигателя

	$k_b = 0$	$k_b = 0,2$	$k_b = 0,4$	$k_b = 0,6$	$k_b = 0,8$	$k_b = 1$
W, кВт	1,728	1,784	1,917	1,981	2,229	2,315
W', кВт	-	1,74	1,859	1,897	1,929	1,965
ΔW , %	-	2,46	3,025	8,83	13,45	15,11

Выводы. В работе рассмотрено влияние увеличения коэффициента вихревых токов на динамические характеристики асинхронного двигателя. Показано, что у двигателя с некачественной сталью ухудшаются показатели, а именно: увеличивается время разгона, уменьшается нагрузочная способность, увеличивается перерегулирование, статическая ошибка по скорости, возрастает энергопотребление. В работе предложено скорректировать закон скалярного управления, что позволит стабилизировать скорость асинхронной машины на уровне, близком к номинальному, а также уменьшить энергопотребление, что является важным для предприятий, имеющих в своем составе парк электрических двигателей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ещин Е.К. Электромеханические системы многодвигательных электроприводов.

Моделирование и управление. – Кемерово: Кузбасский гос. техн. ун-т. - 2003. – 247 с.

2. Сандлер А.С., Сарбатов Р.С. Автоматическое частотное управление асинхронными двигателями. - М.: Энергия. - 1974. – 328 с.

3. Родькин Д.И., Черный А.П., Сычев С.В., Мартыненко В.А. Характеристики асинхронного двигателя с учетом старения стали // Щоквартальний науково-практичний журнал „Електротехніка і Електромеханіка”. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2004. – Вып. №1, С. 53-56.

4. Справочник по автоматизированному электроприводу / Под ред. В.А. Елисеева и А.В. Шинянского. – М.: Энергоатомиздат. - 1983. – 616 с.

5. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины: Учебник для вузов. – М.: Энергия, 1980. – 928 с.

6. Применение частотных преобразователей / www.forstenergy.com

Стаття надійшла 11.04.2008 р.
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.
Родькіним Д.Й.