

РАСЧЁТ МЕХАНИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПО КАТАЛОЖНЫМ ДАННЫМ

В. В. ГУРИН, канд. техн. наук, доцент БАТУ
А. В. ГУРИН, аспирант БАТУ

В практических расчетах для определения времени пуска и торможения электропривода с асинхронным электродвигателем используют механическую характеристику электродвигателя в виде зависимости $\omega = f(M)$ или $M = f(S)$, где ω - угловая скорость вала электродвигателя, рад/с; M - момент на валу, Нм; S - скольжение электродвигателя в относительных единицах (о.е.);

$$S = (\omega_0 - \omega) / \omega_0,$$

где: ω_0 - угловая скорость электромагнитного поля, рад/с:

$$\omega_0 = 2\pi f / p,$$

где f - частота тока сети, Гц;

p - число пар условных полюсов электродвигателя; задаётся в каталоге или определяется по номинальной частоте вращения n_n электродвигателя:

$$\begin{aligned} p &= 1, \text{ если } n_n \approx 3000 \text{ мин}^{-1}; \\ p &= 2, \text{ если } n_n \approx 1500 \text{ мин}^{-1}; \\ p &= 3, \text{ если } n_n \approx 1000 \text{ мин}^{-1} \text{ и т.д.} \end{aligned}$$

Переход от записи механической характеристики вида $M = f(S)$ к виду $\omega = f(M)$ осуществляется по формуле $\omega = \omega_0(1 - S)$.

Широко известны две методики построения зависимости $M = f(S)$ по каталожным данным:

1 - по упрощенной формуле Клосса [1]

$$M = \frac{2M_k}{\frac{S}{S_k} + \frac{S_k}{S}}, \quad (1)$$

где: M_k - критический (наибольший) момент, Нм;

S_k - критическое скольжение (при M_k), о.е.

2 - по уточнённой формуле Клосса [2]:

$$M = \frac{2M_k(1+\varepsilon)}{\left(\frac{S}{S_k} + \frac{S_k}{S} + 2\varepsilon\right)}, \quad (2)$$

где: ε - уточняющий расчёт коэффициент,
 $\varepsilon = S R_1 / R_2'$,

R_1 , R_2' - активное сопротивление статора и приведенное к статору активное сопротивление ротора, Ом.

Менее известна методика расчёта $M = f(S)$, приведенная в [3]. Эта методика предполагает нахождение поправочного коэффициента α , не равного ε , через графические построения и пересчёт моментов, найденных по формуле Клосса, с учётом α . В [4] тот же автор уточняет расчёт $M = f(S)$ с учётом минимального момента m_{\min} , развиваемого электродвигателем во время пуска.

Методики, приведенные в [3] и [4], не нашли применения в связи со сложностью расчётов.

Упрощенная формула Клосса (1) выведена в предположении $R_1 = 0$. Поэтому расчёты по формуле (1) рекомендуется проводить только для крупных электродвигателей.

Для электродвигателей малых и средних мощностей (именно такие электродвигатели широко используются в сельскохозяйственном производстве) пренебречь сопротивлением R_1 нельзя ввиду его существенного значения. Поэтому расчёт механической характеристики электродвигателя ведут по уточнённой формуле Клосса (2). Однако для расчётов по формуле (2) надо определить коэффициент ε по формуле (3), то есть знать параметры обмоток R_1 и R_2' , приведенные только в специальной литературе, например в [5]. В этом состоит сложность расчётов по уточнённой формуле Клосса.

**1. Результаты расчёта механической характеристики электродвигателя 4АН180М4
(37кВт, 1470 мин⁻¹) по каталожным данным**

Методика расчета	Момент (о.е.) при скольжении							
	S _n =0,021	0,07	S _к =0,21	0,3	0,5	0,75	0,85	S _n =1
По упрощенной формуле Клосса	0,64	1,76	2,2	1,68	1,14	0,85	0,7	0,6
По уточнённой формуле Клосса	0,71	1,8	2,2	2,01	1,7	1,46	1,32	1,2
По методике авторов	1	1,9	2,2	1,74	1,31	1,1	1	1,2
Данные каталога	1	-	2,2	-	-	-	1	1,2

Чтобы обойти эти затруднения, большинство учёных предлагают принять $\varepsilon = S_k$, учитывая, что при номинальных параметрах электродвигателя $R_1/R_2 \approx 1$, другие [6] - находить ε по формуле:

$$\varepsilon = \frac{(1/S_k + S_k - 2m_k/m_n)}{(2m_k/m_n - 2)}, \quad (4)$$

где m_k, m_n - критический и пусковой моменты, о.е.; задаются в каталожных данных.

Известно и компромиссное, третье решение: на рабочем участке механической характеристики от $S = 0$ до S_k брать $\varepsilon_1 = S_k$, а для пускового участка от $S = 1$ до S_k определять ε_2 по формуле (4), см.[2]. Однако при этом не точно определяются номинальный и минимальный при пуске моменты электродвигателя.

Авторы данной работы предлагают более простое и точное решение: определить зависимость $\varepsilon = f(S)$ на всем диапазоне скольжений; пользуясь этой зависимостью, вы-

числять момент при любом скольжении по формуле (2).

Для определения зависимости $\varepsilon = f(S)$ находят в начале значения ε в четырёх характерных точках по формуле (5)

$$\varepsilon = \frac{(S/S_k + S_k/S - 2m_k/m_n)}{(2m_k/m_n - 2)}, \quad (5)$$

где m - текущее значение момента, о.е.

Характерными точками являются: 1- m_n при $S_n=1$; 2 - m_{min} при $S_{min} \approx 0.85$; 3 - m_k при S_k ; 4 - $m_n=1$ при S_n . Например, в точке 4 расчёт по (5) обеспечи-

2. Результаты расчёта механической характеристики электродвигателя 4А80В4 (1.5 кВт, 1415 мин⁻¹) по каталожным данным

Методика расчета	Момент (о.е.) при скольжении						
	S _n =0,058	0,2	S _к =0,345	0,5	0,7	S _{min} =0,85	S _n =1
По формуле Клосса	0,72	1,9	2,2	2,06	1,74	1,53	1,36
По уточнённой формуле Клосса	0,86	1,97	2,2	2,18	2,4	2,05	2
По методике авторов	1	1,97	2,2	2,07	1,78	1,6	2
Данные каталога	1	-	2,2	-	-	1,6	2

ваит

$$\varepsilon = \frac{(S_n/S_k + S_k/S_n - 2m_k/1)}{(2m_k/1 - 2)}$$

В точке 3 при $m=m_k$ и $S=S_k$ имеем $\varepsilon_3 = 0$.

С достаточной для практики точностью можно принять, что $\varepsilon = f(s)$ изменяется по линейному закону. В этом случае зависимость $\varepsilon = f(s)$ представляется тремя участками ломаной линии (рис.1), проходящими через точки: ε_1 ; ε_2 ; $\varepsilon_3 = 0$; ε_4 .

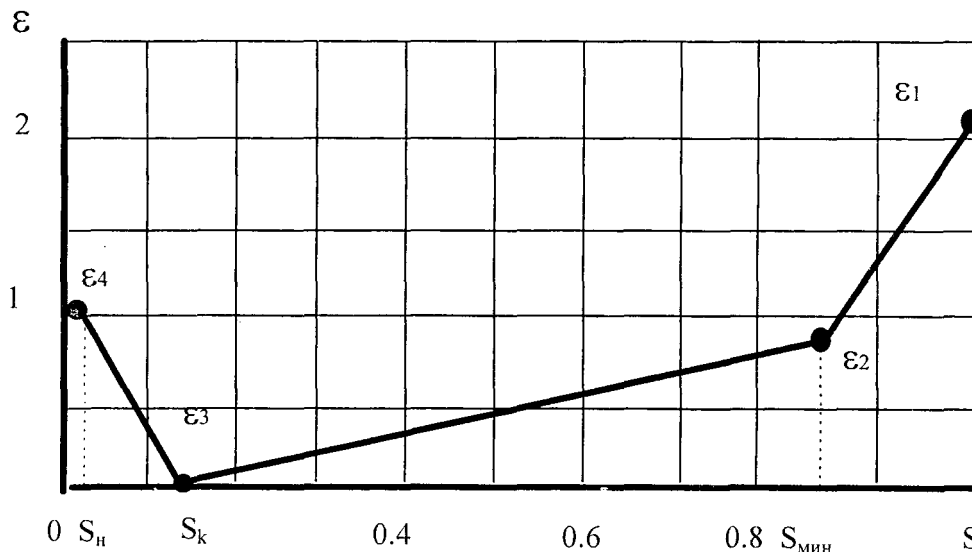


Рис.1. Линейная аппроксимация зависимости $\varepsilon=f(S)$ для электродвигателя 4АН180М4, 37 кВт, 1470 мин⁻¹.

Для сравнения предлагаемой методики с известными проведены численные расчёты зависимости $M = f(S)$ для двух электродвигателей с разными механическими характеристиками. Первый электродвигатель - с жесткой механической характеристикой мощностью 37 кВт, 1470 мин⁻¹, второй - с мягкой механической характеристикой мощностью 1.5 кВт, 1415 мин⁻¹. Данные расчёта приведены в табл.1 и табл.2.

Исходными данными для расчёта зависимости $M=f(s)$ являются сведения из каталога (m_n , m_k , S_k , S_n), номинальная мощность P_n и частота вращения n_n .

Номинальный момент M_n вычисляется по формуле

$$M_n = P_n / \omega_n,$$

где ω_n - номинальная частота вращения, рад/с; $\omega_n = \pi n_n / 30$.

Далее пользуются формулами, приведенными выше.

Из табл.1 и табл.2 видно, что предлагаемая ме-

тодика расчёта зависимости $M=f(S)$ обеспечивает точное совпадение расчётных и каталожных данных в четырех характерных точках (из семи расчётных). Следовательно, в целом механическая характеристика электродвигателя по предложению авторов опеределяется точнее, чем по формулам Клосса и проше, чем в [3] и [4].

Предложенную методику расчёта механической характеристики рекомендуется использовать во всех практических расчётах. Для более широкого применения методики авторами разработана программа расчёта и построения механической харак-

теристики $\omega = f(M)$ на ПЭВМ. При задании механической характеристики рабочей машины и её моментов инерции программа вычисляет время разбега и самоторможения электропривода, строит кривые разбега и самоторможения $\omega = f(t)$, t - текущее время, с.

ЛИТЕРАТУРА

1. Данку и др. Электрические машины: Сборник задач и упражнений. Пер. с венг./А.Данку, А.Фаркаш, Л.Надь. - М.: Энергоатомиздат, 1984 - 360с.
2. Басов А.М., Шаповалов А.Т., Кожевников С.А. Основы электропривода и автоматическое управление электроприводом в сельском хозяйстве. - М.: Колос, 1972. - 344с.
3. Сериков В.К. Преобразование упрощенной формулы Клосса. - Мех. и электр. сел. хоз-ва, 1987, N10, с.56-57.
4. Сериков В.К. Аппроксимация механической характеристики электродвигателя с учетом минимального момента - Мех. и электр. сел.хоз-ва, 1989, N1, с.37-38.
5. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник/А.Э.Кравчик, М.М.Шлаф, В.И.Афонин, Е.А.Соболевская. - М.: Энергоиздат, 1982. - 504 с.
6. Гейлер Л.Б. Электропривод в тяжелом машиностроении. - М.: Машгиз, 1958. - 585 с.