ИЗВЕСТИЯ
ТОМСКОГО ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ИНДУСТРИАЛЬНОГО ИНСТИТУТА имени С. М. КИРОВА
Том 59, II. 1941

ОБ УРАВНЕНИИ ХАРАКТЕРИСТИКИ $M=\varphi(s)$ ДЛЯ ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

М. Ф. Филиппов

Характеристика $M_{дв}=\varphi(s)$ для трехфазного асинхронного двигателя представлена на рис. 1 (кривая oab). Эта характеристика может быть выражена аналитически известным уравнением Клосса

$$M_{дв}=M_{опр}\frac{2}{\frac{s_{опр}}{s}+\frac{s}{s_{опр}}}, \tag{1}$$

где $s=\frac{\omega_s-\omega}{\omega_s}$ — представляет скольжение,

ω_s — синхронная угловая скорость вращения ротора,

$M_{опр}$ — максимальное значение крутящего момента по кривой oab,

$s_{опр}$ — скольжение, соответствующее $M_{опр}$.

Сложность уравнения Клосса затрудняет возможность решения дифференциальных уравнений движения в приводе с трехфазным асинхронным двигателем, например, уравнение вида

$$M_{дв}=M_{ст}-J\omega_s\frac{ds}{dt}, \tag{2}$$

где J — приведенный момент инерции привода,

$M_{ст}$ — статический момент сопротивлений вращению привода.

В очень многих приводах асинхронный двигатель работает с повторно-кратковременной нагрузкой непрерывно без пусковых режимов. При этом нормально асинхронный двигатель никогда не нагружается до опрокидывающего момента $M_{опр}$, и за рабочую часть характеристики $M_{дв}=\varphi(s)$ следует считать участок oa кривой oab (рис. 1).

Эту рабочую часть характеристики можно заменить некоторой прямой линией и тогда решение диференциальных уравнений движения в приводе с асинхронным трехфазным двигателем значительно упрощается.

При соответствующем подборе параметров прямой, заменяющей действительную характеристику $M_{дв}=\varphi(s)$, можно при решении уравнений движения получить результаты, практически не отличающиеся от действительных.

Вместо рабочей части oa характеристики oab (рис. 1), возьмем прямую oc, с таким расчетом, чтобы площадь треугольника ocd равнялась площади oad.

Прямую ос можно выразить уравнением

$$M=\frac{Mc}{s_a}s. \tag{3}$$

Из условия равенства площадей ocd и oad имеем

$$\frac{M_c \cdot s_a}{2} = \int\limits_0^{s_a} \frac{2M_{onp}.ds}{\frac{s_{onp}}{s} + \frac{s}{s_{onp}}} = M_{onp}s_{onp}\ln\frac{s_{onp}^2 + s_a^2}{s_{onp}^2}; \tag{4}$$

принимая значение $M_a = 0{,}9M_{onp}$, находим из уравнения Клосса

$$s_a = 0{,}63 . s_{onp}, \tag{5}$$

подставив полученное значение s_a в уравнение (4) и решив его относительно M_c, найдем

$$M_c = 1{,}07\ M_{onp}; \tag{6}$$

подставив значения s_a и M_c в уравнения (3), получим для прямой oc выражение

$$M = \frac{1{,}07\ M_{onp}}{0{,}63 . s_{onp}} . S = 1{,}7\ \frac{\lambda M_н}{s_{onp}} s, \tag{7}$$

где

$$\lambda = \frac{M_{onp}}{M_к} .$$

В свою очередь и скольжение опрокидывания s_{onp} можно выразить через номинальное скольжение, пользуясь уравнением Клосса, т. е.

$$\frac{M_н}{M_{onp}} = \frac{2}{\frac{s_{onp}}{s_н} + \frac{s_н}{s_{onp}}} = \frac{1}{\lambda},$$

откуда

$$s_{onp} = s_н(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}). \tag{8}$$

После подстановки этого значения в уравнение (7), получим

$$M = \frac{1{,}7\lambda M_н}{s_н(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1})} s, \tag{9}$$

или

$$M = \frac{KM_н}{s_н} s, \tag{10}$$

где

$$K = \frac{1{,}7\lambda}{\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}} . \tag{11}$$

Величина λ в нормальных трехфазных асинхронных двигателях колеблется в пределах

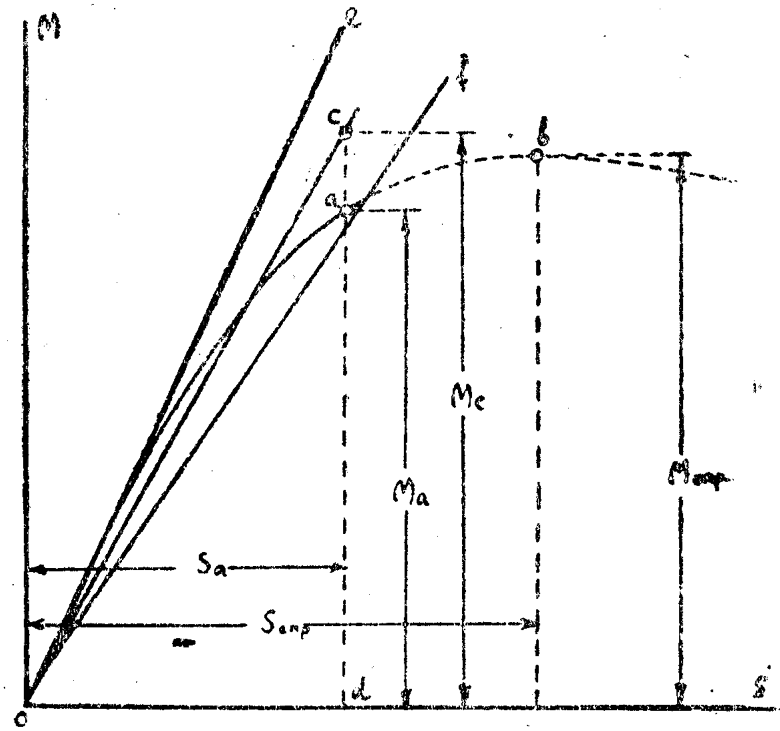
$$\lambda = 1{,}8 - 3.$$

Для этих значений λ коэфициент k изменяется очень мало—

$$K = 0{,}925 - 0{,}875.'$$

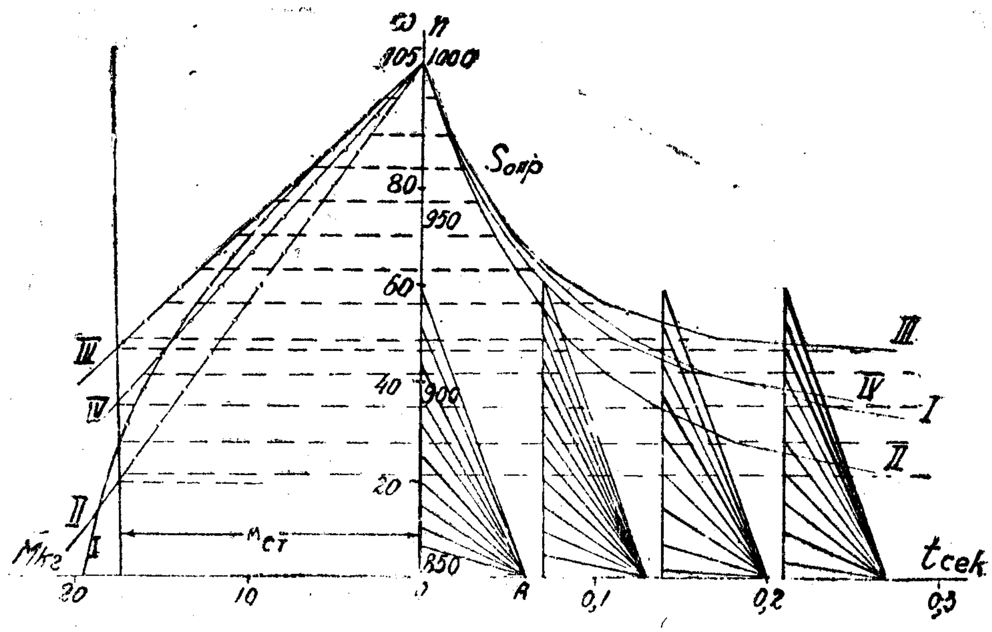
Следовательно, с достаточной точностью в уравнение (11) можно подставить среднее значение k—0,9 тогда уравнение (11) напишется в виде

$$M = 0{,}9\ \frac{M_н}{s_к} s. \tag{12}$$



M
2
1
c
b
a
Mc
Ma
Mкр
Sa
Sкр
d
S
o

Рис, 1



ω
n
105
1000
Sкр
80
950
60
40
900
20
850
III
IV
II
I
Mкг
Mст
20
10
0
A
0,1
0,2
0,3
tсек

Рис. 2

Таким образом, вместо рабочей части действительной характеристики $M_{дв}=\varphi(s)$ трехфазного асинхронного двигателя, можно применить уравнение прямой

$$\boxed{M_{дв}=As}, \tag{13}$$

где

$$A=0,9\frac{M_н}{s_н}=0,9\frac{M_н n_s}{n_s-n_н}.$$

Полученное уравнение справедливо для всех нормальных трехфазных асинхронных двигателей, т. к. оно выражается через основные параметры двигателя.

Следует указать, что при решении диференциальных уравнений двигателя в приводах с асинхронным двигателем вместо действительной характеристики применяют иногда прямую линию ol (рис. 1), уравнение которой получается из формулы Клосса (уравнение 1) при малых скольжениях, т. е.

$$M_{дв}=\frac{2M_{опр}}{s_{опр}}s. \tag{15}$$

Кроме того, на рис. 1 приведена прямая of, которую вместо действительной характеристики применяет инженер А. Т. Голован при исследовании работы электропривода кузнечно-прессовых машин. Уравнение этой прямой имеет вид:

$$M_{дв}=\frac{M_н s}{s_н 1,37}. \tag{16}$$

Как видно из рис. 1, прямая ol и прямая of очень сильно расходятся с действительной характеристикой асинхронного двигателя и в то же время прямая oc, предложенная автором, наиболее близка к рабочей части характеристики.

На рис. 2 показаны кривые переходного процесса $n=f(t)$ асинхронного двигателя при включении постоянной нагрузки

$$M_{ст}=\mathrm{const}.$$

Кривые построены методом пропорций для четырех рассматриваемых характеристик:

$$M_{дв}=\frac{2M_{опр}}{\frac{s_{опр}}{s}+\frac{s}{s_{опр}}}; \tag{1}$$

$$M_{дв}=\frac{M_н}{1,37.s_н}s; \tag{16}$$

$$M_{дв}=\frac{2M_{опр}}{s_{опр}}s; \tag{15}$$

$$\boxed{M_{дв}=0,9\frac{M_н}{s_н}s} \tag{13}$$

Как показывают результаты построения, характеристика, выраженная уравнением 13, дает наиболее точные результаты и, следовательно, вполне пригодна при аналитическом исследовании переходных режимов асинхронного двигателя, когда нагрузка последнего изменяется в пределах рабочей части характеристики $M_{дв}=\varphi(s)$.