

ОБ УРАВНЕНИИ ХАРАКТЕРИСТИКИ $M = \varphi(s)$ ДЛЯ ТРЕХ- ФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

М. Ф. Филиппов

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

$$M_{\partial\partial} = M_{\text{онр}} \frac{2}{\frac{s_{\text{онр}}}{s} + \frac{s}{s_{\text{онр}}}}, \quad (1)$$

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

ω_s — синхронная угловая скорость вращения ротора,

$M_{\text{онр}}$ — максимальное значение крутящего момента по кривой oab ,

$s_{\text{онр}}$ — скольжение, соответствующее $M_{\text{онр}}$.

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

$$M_{\partial\partial} = M_{\text{ст}} - J\omega_s \frac{ds}{dt}, \quad (2)$$

где J — приведенный момент инерции привода,

$M_{\text{ст}}$ — 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 $M_{\text{онр}}$, и за рабочую часть характеристики $M_{\partial\partial} = \varphi(s)$ следует считать участок oa кривой oab (рис. 1).

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

При соответствующем подборе параметров прямой, заменяющей действительную характеристику $M_{\partial\partial} = \varphi(s)$, 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 oc можно выразить уравнением

$$M = \frac{Mc}{s_a} s. \quad (3)$$

Из условия равенства площадей ocd и oad имеем

$$\frac{M_c \cdot s_a}{2} = \int_0^{s_a} \frac{2M_{onp} \cdot ds}{\frac{s_{onp}}{s} + \frac{s}{s_{onp}}} = M_{onp} s_{onp} \ln \frac{s_{onp}^2 + s_a^2}{s_{onp}^2}; \quad (4)$$

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

$$s_a = 0,63 \cdot s_{onp}, \quad (5)$$

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

$$M_c = 1,07 M_{onp}; \quad (6)$$

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

$$M = \frac{1,07 M_{onp}}{0,63 \cdot s_{onp}} \cdot S = 1,7 \frac{\lambda M_n}{s_{onp}} s, \quad (7)$$

где

$$\lambda = \frac{M_{onp}}{M_n}.$$

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

$$\frac{M_n}{M_{onp}} = \frac{2}{\frac{s_{onp}}{s_n} + \frac{s_n}{s_{onp}}} = \frac{1}{\lambda},$$

откуда

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

После подстановки этого значения в уравнение (7), получим

$$M = \frac{1,7\lambda M_n}{s_n(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1})} s, \quad (9)$$

или

$$M = \frac{KM_n}{s_n} s, \quad (10)$$

где

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

Величина λ в нормальных трехфазных асинхронных двигателях колеблется в пределах

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

Для этих значений λ коэффициент 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

$$M = 0,9 \frac{M_n}{s_n} s. \quad (12)$$

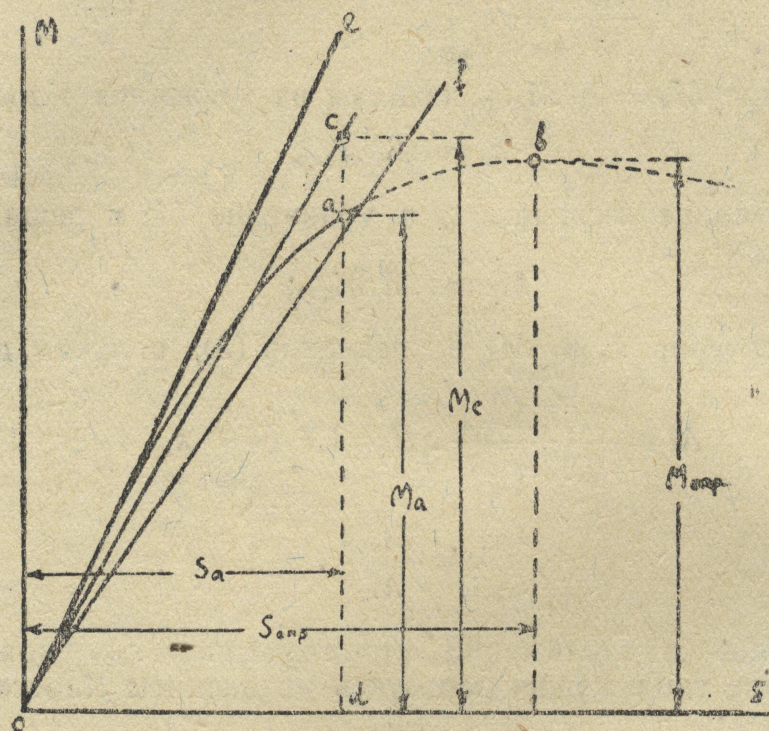


Рис. 1

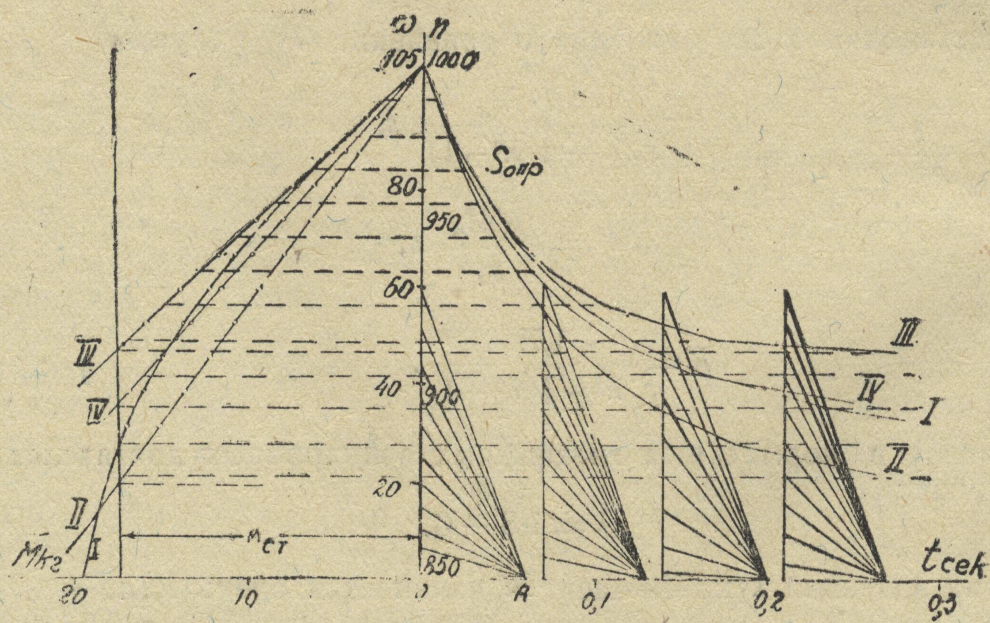


Рис. 2

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

$$\boxed{M_{\partial\partial} = As}, \quad (13)$$

где

$$A = 0,9 \frac{M_n}{s_n} = 0,9 \frac{M_n n_s}{n_s - n_n}.$$

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

Следует указать, что при решении дифференциальных 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.

$$M_{\partial\partial} = \frac{2M_{onp}}{s_{onp}} s. \quad (15)$$

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:

$$M_{\partial\partial} = \frac{M_n s}{s_n 1,37}. \quad (16)$$

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

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

$$M_{cm} = \text{const.}$$

Кривые построены методом пропорций для четырех рассматриваемых характеристик:

$$M_{\partial\partial} = \frac{2M_{onp}}{\frac{s_{onp}}{s} + \frac{s}{s_{onp}}}; \quad (1)$$

$$M_{\partial\partial} = \frac{M_n}{1,37 \cdot s_n} s; \quad (16)$$

$$M_{\partial\partial} = \frac{2M_{onp}}{s_{onp}} s; \quad (15)$$

$$\boxed{M_{\partial\partial} = 0,9 \frac{M_n}{s_n} s} \quad (13)$$

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 $M_{\partial\partial} = \varphi(s)$.