

## ОБОБЩЕННЫЙ МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ КРИВОЙ МОМЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ МЕХАНИЗМА ПО МОМЕНТУ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

При экспериментальном исследовании режимов работы некоторых механизмов путем непосредственного осциллографирования их моментов сопротивления в функции времени (угла поворота) нередко возникают определенные трудности. В этом случае целесообразно осциллографировать мощность или ток приводного электродвигателя, по которым может быть установлен его электромагнитный момент, а по нему – момент сопротивления механизма. Но при изменяющемся во времени моменте статического сопротивления момент, развиваемый двигателем, может значительно отличаться от момента статического сопротивления из-за влияния маховых масс.

При жестком соединении двигателя с механизмом и постоянном моменте инерции кривую момента статического сопротивления  $M'_c(t)$ , приведенного к валу двигателя, можно получить графо-аналитически по кривым изменения момента  $M_d(t)$  и скорости вращения двигателя  $\omega_d(t)$ , используя уравнение движения электропривода

$$M_d = M'_c + j \frac{d\omega_a}{dt}.$$

Однако при переменном моменте инерции или при наличии в передаче звена скольжения момент двигателя и момент статического сопротивления находятся в более сложной зависимости.

Угловую скорость вала механизма в общем случае можно представить в виде

$$\omega_M = \frac{\omega_a}{i} (1 - \varepsilon_{\Pi}), \quad (1)$$

где  $i$  – передаточное отношение между валом двигателя и механизма;  $\varepsilon_{\Pi}$  – скольжение передачи в относительных единицах.

При переменном моменте инерции момент на валу механизма  $M_2$  представляется так:

$$M_2 = M_c + J_M \frac{d\omega_M}{dt} + \frac{\omega_M}{2} \frac{dJ_M}{dt}. \quad (2)$$

Приведем моменты к валу двигателя, получаем

$$M_1 = \frac{M_2}{i} = M'_c + J'_M \frac{d\omega_M}{dt} + \frac{\omega_M}{2} \frac{dJ'_M}{dt}, \quad (3)$$

где

$$M'_c = \frac{M_c}{i}; \quad \omega'_M = \omega_M i; \quad J'_M = \frac{J_M}{i^2}. \quad (4)$$

Угол поворота  $\alpha$  связан с угловой скоростью следующим образом:

$$\frac{d\alpha}{dt} = \omega'_M = \frac{\omega'_M}{i}. \quad (5)$$

Тогда

$$dt = i \frac{d\alpha}{\omega'_M}. \quad (6)$$

Из (3) и (6) получаем

$$M_1 = M'_c + J'_M \frac{d\omega'_M}{dt} + \frac{\omega'^2_M}{2i} \frac{dJ'_M}{d\alpha}, \quad (7)$$

откуда

$$M'_c = M_1 - J'_M \frac{d\omega'_M}{dt} - \frac{\omega'^2_M}{2i} \frac{dJ'_M}{d\alpha}. \quad (8)$$

Из уравнения момента, развиваемого двигателем:

$$M_D = M_1 + J_D \frac{d\omega_D}{dt} \quad (9)$$

имеем

$$M_1 = M_D - J_D \frac{d\omega_D}{dt}, \quad (10)$$

где  $J_D$  — момент инерции двигателя.

Переходя к конечным малым приращениям, из (10) и (8) получаем

$$M_1 = M_D - J_D \frac{\Delta\omega_D}{\Delta t}, \quad (11)$$

$$M'_c = M_1 - J'_M \frac{\Delta\omega'_M}{\Delta t} - \frac{\omega'^2_M}{2i} \frac{\Delta J'_M}{\Delta\alpha}. \quad (12)$$

а

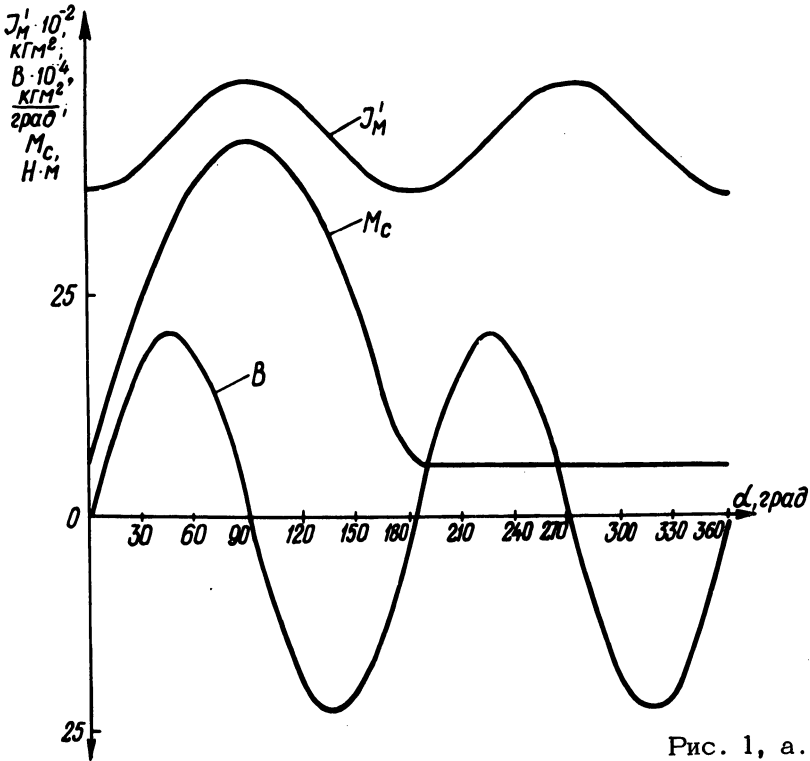


Рис. 1, а.

Если известны рабочие характеристики двигателя, то кривые момента и угловой скорости могут быть построены на основании осциллограммы тока, так как каждому значению тока двигателя соответствуют определенные значения момента и угловой скорости.

При отсутствии рабочих характеристик двигателя, а также при необходимости получить более высокую точность необходимо осциллографировать ток, потребляемую из сети мощность и угловую скорость двигателя. В этом случае кривая момента двигателя строится по осциллограммам мощности и тока с учетом выражения, имеющего применительно к асинхронному двигателю вид

$$M_{\text{д}} = 3,11 \frac{P_{\text{э}}}{\omega_0} = \frac{3,11 (P - 3 I^2 R_1 \cdot 10^{-3} - \Delta P_{\text{ст}})}{\omega_0}, \quad (13)$$

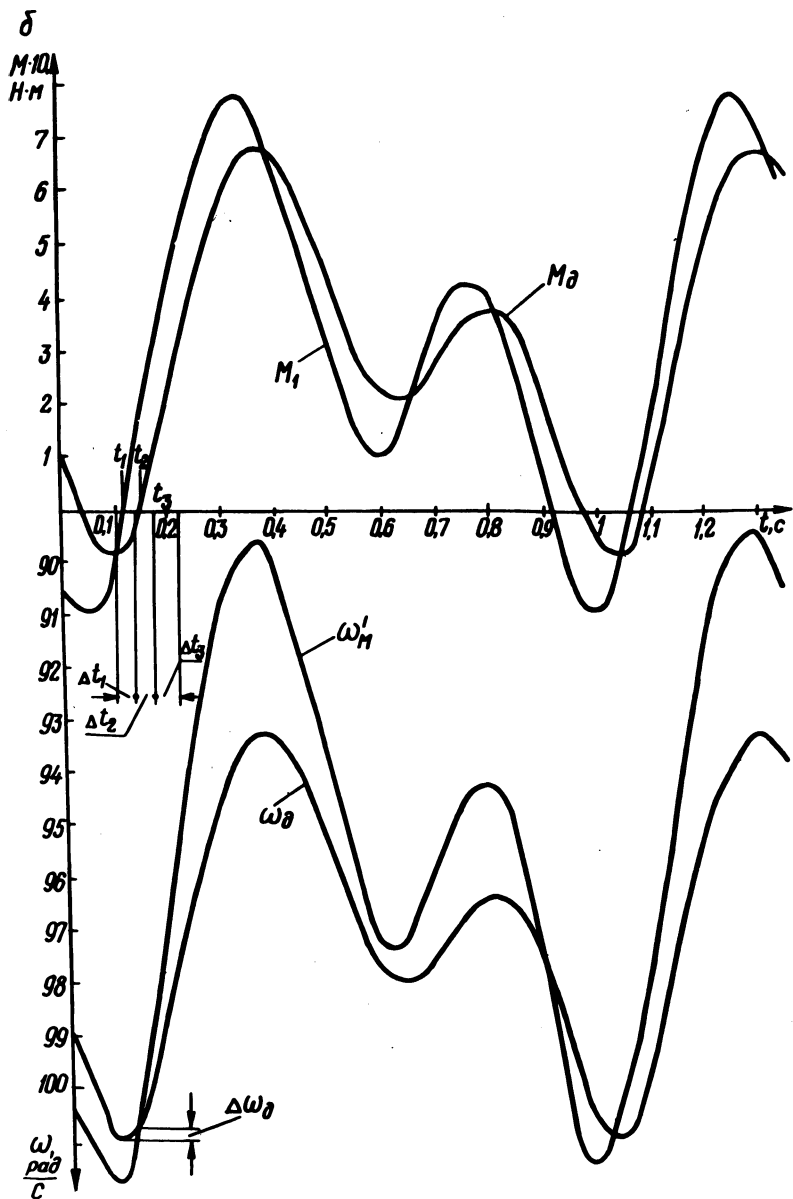


Рис. 1, б.

где  $P_\delta$  - электромагнитная мощность двигателя, кВт;  $P$  - потребляемая из сети мощность, кВт;  $I$  - ток статора двигателя, А;  $R_1$  - активное сопротивление статора, Ом;  $\Delta P_{ст}$  - потери в стали, определенные из опыта холостого хода, кВт;  $\omega_0$  - синхронная угловая скорость, рад/с.

Поскольку в (11) и (12) момент и скорость двигателя являются функциями времени, а статический момент сопротивления и момент инерции механизма – функциями угла поворота, то необходимо произвести "привязку" этих переменных. Практически это можно сделать с помощью устройства, дающего сигнал, фиксирующий нахождение вала механизма в определенном положении, которое регистрируется на осциллограмме совместно с другими величинами. Тогда, приняв за начало отсчета угла поворота это положение, строят кривую изменения момента инерции данного механизма (рис. 1, а). Путем графического дифференцирования кривой момента инерции строят кривую скорости изменения момента инерции  $B(t) = \frac{\Delta J_M}{\Delta \alpha} (t)$ .

Теперь по уравнениям (11) и (12) можно построить кривую момента статического сопротивления как в функции времени, так и в функции поворота вала механизма.

Пусть момент времени  $t_1$  на кривых момента и угловой скорости двигателя (рис. 1, б) <sup>1</sup> соответствует началу отсчета угла поворота, т.е. при  $t = t_1 \alpha = 0$ . По обе стороны от  $t_1$

откладываем отрезок времени  $\frac{\Delta t_1}{2}$  и по кривой  $\omega_d(t)$  находим приращение угловой скорости двигателя  $\Delta \omega_d$  за время  $\Delta t_1$ . Затем по (11) находим момент  $M_1$ , соответствующий моменту времени  $t_1$ . Аналогично поступаем и на следующих участках времени, в результате чего получаем кривую  $M_1(t)$ .

Располагая кривыми  $M_1(t)$  и  $\omega_d(t)$ , а также зависимостью скольжения передачи от передаваемого ею момента  $M_1$ , можно по (1) построить кривую зависимости угловой скорости вала механизма  $\omega'_M$  от времени.

После этого приступаем непосредственно к построению кривой момента статического сопротивления. Определив для времени  $t_1$  момент  $M_1$  (рис. 1, б), угловую скорость  $\omega'_M$  и приращение угловой скорости  $\Delta \omega'_M$  за отрезок времени  $\Delta t_1$ , а также значение  $B$  (рис. 1, а), соответствующее  $\alpha_1 = 0$ , и подставив эти величины в (12), находим  $M'_C$ . Это значение  $M'_C$  соответствует времени  $t_1$  и углу поворота  $\alpha = 0$ . Далее по (5) находим приращение угла поворота на первом участке за

время  $\Delta t_1$   $\Delta \alpha_1 = \frac{\omega'_M}{i} \Delta t_1$ . На втором участке текущее значение времени и угла поворота определяем следующим об-

разом:  $t_2 = t_1 + \Delta t_1$  и  $\alpha_2 = \alpha_1 + \Delta \alpha_1$ . Получив на втором участке длительностью  $\Delta t_2$  значения  $M_1, B, \omega'_M, \Delta \omega'_M$  из соответствующих кривых и подставив их в (12), находим момент статического сопротивления и на этом участке.

Произведя аналогичные действия на остальных участках, получаем полную кривую момента статического сопротивления. При этом следует учитывать, что в (11) и (12)  $\frac{\Delta \omega}{\Delta t}$  положительно при возрастании скорости вращения и отрицательно — при убывании.

Необходимо отметить, что  $\omega'_M(t)$  можно получить непосредственно из осциллограммы скорости вала механизма. В этом случае нет необходимости строить промежуточную кривую  $M_1(t)$  и иметь зависимость  $S_{II}(M)$ . Момент статического сопротивления в этом случае строится на основании уравнения, полученного из (8) и (10):

$$M'_c = M_d - J_d \frac{\Delta \omega_d}{\Delta t} - J'_M \frac{\Delta \omega'^2_M}{\Delta t} - \frac{\omega'^2_M}{2i} \frac{\Delta J'_M}{\Delta \alpha}, \quad (14)$$

Данный метод построения момента статического сопротивления, учитывающий одновременно проскальзывание в передаче и изменение махового момента механизма, может быть применен и для частотного случая, когда один из этих факторов отсутствует.

Считается, что если изменение момента инерции не превышает 15%, то его величину можно принимать постоянной. Такое мнение представляется необоснованным, так как динамический момент, обусловленный изменением момента инерции, пропорционален квадрату угловой скорости маховых масс и скорости изменения момента инерции по углу поворота. В связи с этим даже при небольшом и плавном изменении момента инерции, т.е. при относительно малой скорости изменения момента инерции по углу поворота, величина динамического момента механизма при больших угловых скоростях может быть значительной.