

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТА ИНЕРЦИИ

А. И. ЗАЙЦЕВ, М. П. ТАБИНСКИЙ

Момент инерции ротора крупной машины или приведенный момент инерции системы двигатель—рабочий механизм определяют обычно методом выбега [1; 2]. Для этого двигатель разгоняют до номинальной скорости и отключают от сети, после чего он тормозится выбегом. Накопленная кинетическая энергия в движущихся частях механической системы двигатель—рабочий механизм расходуется на преодоление сил трения, в результате чего скорость двигателя постепенно уменьшается. Уравнение движения при торможении выбегом имеет вид

$$-M_{\text{тр}} = I_{\text{пр}} \frac{d\omega}{dt} = \frac{\pi}{30} I_{\text{пр}} \frac{dn}{dt}, \text{ кГм}, \quad (1)$$

где $I_{\text{пр}}$ — момент инерции ротора двигателя и приведенный к валу двигателя момент инерции рабочего механизма, кГм сек^2 ;

$M_{\text{тр}}$ — момент трения, кГм ;

ω — угловая скорость, $\frac{1}{\text{сек}}$;

n — скорость вращения, $\frac{\text{об}}{\text{мин}}$.

Из формулы (1) следует, что искомый момент инерции равен

$$I_{\text{пр}} = -M_{\text{тр}} \frac{30}{\pi} \frac{1}{\frac{dn}{dt}}, \text{ кГм сек}^2. \quad (2)$$

Производную скорости по времени $\frac{dn}{dt}$ определяют графическим дифференцированием кривой выбега $n = f(t)$ (рис. 1).

Проведя касательную в точке $n = b$ к кривой $n = f(t)$, получают

$$\frac{dn}{dt} = \text{tg } \alpha = -\frac{\overline{ab}}{ac} \cdot \frac{\nu_n}{\nu_t},$$

где \overline{ab} , ac — длины отрезков, см ;

ν_n , $\frac{\text{об}}{\text{мин} \cdot \text{см}}$; ν_t , $\frac{\text{сек}}{\text{см}}$ — масштаб скорости и времени.

Следовательно, приведенный момент инерции будет равен

$$I_{пр} = M_{пр} \cdot \frac{30}{\pi} \frac{\overline{ac} \cdot \nu_t}{ab \cdot \nu_n}, \text{ кгм сек}^2.$$

Более точно производную $\frac{dn}{dt}$ можно определить методом Иттерберга [2] путем дифференцирования напряжения, пропорционального

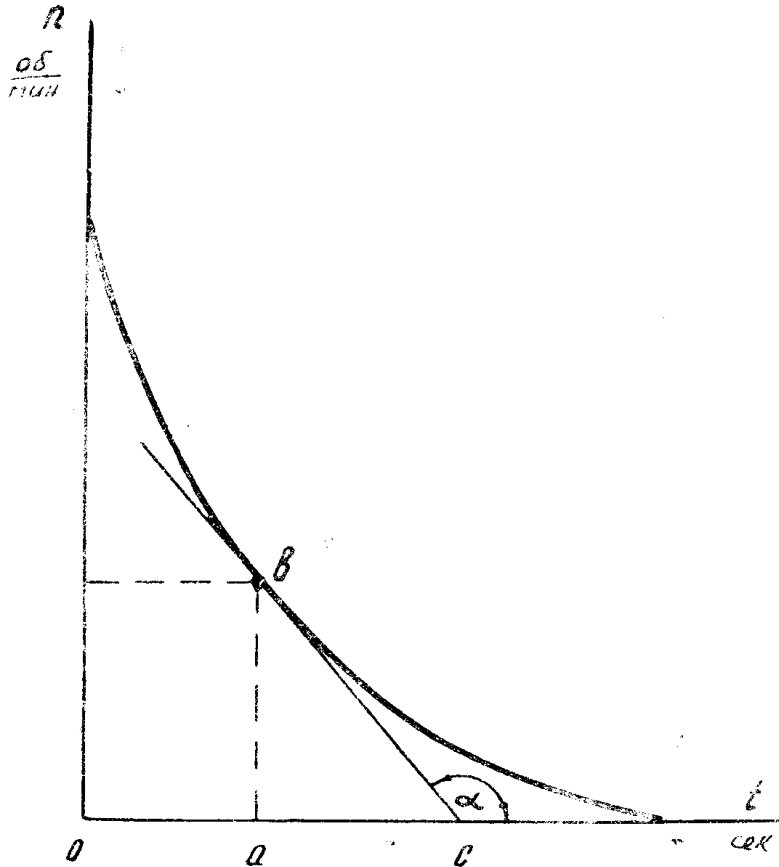


Рис. 1.

скорости двигателя, при помощи конденсатора (рис. 2). Тахогенератор ТГ, сцепленный жестко с валом двигателя, дает напряжение, пропорциональное скорости

$$U_{ТГ} = \kappa \cdot n_{дв}, \quad (4)$$

где κ — скоростной коэффициент тахогенератора, $\frac{\text{в} \cdot \text{мин}}{\text{об}}$.

В якорную цепь тахогенератора включен последовательно конденсатор C и миллиамперметр A . При изменении напряжения $U_{ТГ}$ через конденсатор течет ток заряда, который определяется уравнением

$$i_c = C \frac{dU_c}{dt}.$$

Пренебрегая падением напряжения на миллиамперметре, можно считать, что $U_c \approx U_{ТГ} = \kappa \cdot n_{дв}$, следовательно, $i_c = C \cdot \kappa \cdot \frac{dn_{дв}}{dt}$, откуда

$$\frac{dn_{\text{дв}}}{dt} = \frac{i_C}{C \cdot \kappa}, \quad \frac{\text{об}}{\text{мин} \cdot \text{сек}} \quad (5)$$

где i_C — ток заряда конденсатора, а;
 C — емкость конденсатора, Ф.
 Подставив (5) в (3), получим

$$I_{\text{пр}} = -M_{\text{тр}} \frac{30}{\pi} \frac{C \cdot \kappa}{i_C}, \quad \kappa I \cdot \text{м} \cdot \text{сек}^2. \quad (6)$$

Большие затруднения вызывает определение момента трения, который также является какой-то функцией от скорости $M_{\text{тр}} = \varphi(n)$, (главным образом за счет вентилятора). Ниже рекомендуется два способа, при помощи которых это затруднение можно разрешить.

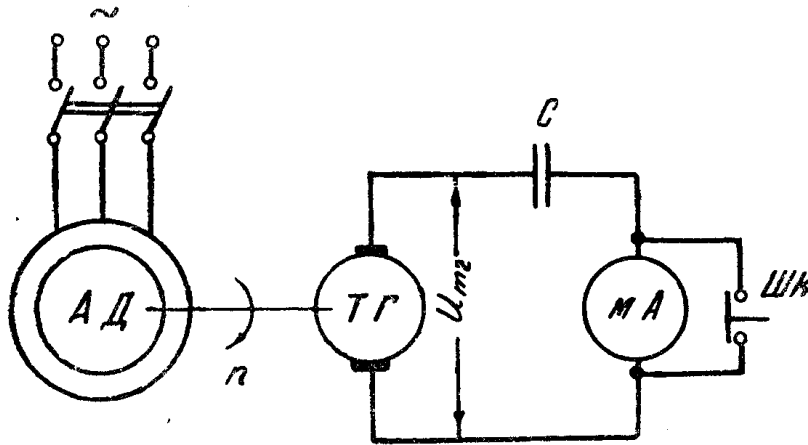


Рис. 2.

а) Способ добавочного маховика

Обычно в системе двигатель—рабочий механизм момент трения значительный. Для определения приведенного к валу двигателя момента инерции, кроме кривой выбега системы, снимается еще кривая выбега системы с насаженным на вал двигателя маховиком, момент инерции которого известен. Увеличением момента трения за счет веса маховика можно пренебречь. Обозначив через I_x искомый момент инерции, а через I_M — известный момент инерции маховика, можно написать следующие уравнения движения:

$$I_x \frac{d\omega_1}{dt} = M_{\text{тр}} \quad \left. \begin{array}{l} \text{при } \omega_1 = \omega_2 = N, \\ \end{array} \right\} \quad (7)$$

$$(I_x + I_M) \frac{d\omega_2}{dt} = M_{\text{тр}}. \quad (8)$$

Так как при скорости $\omega_1 = \omega_2 = N$ момент трения один и тот же, то левые части уравнений (7) и (8) можно приравнять

$$I_x \frac{d\omega_1}{dt} = (I_x + I_M) \frac{d\omega_2}{dt},$$

откуда искомая величина момента инерции будет равна

$$i_v = I_M \frac{\frac{d\omega_2}{dt}}{\frac{d\omega_1}{dt} \frac{d\omega_2}{dt}} = I_M \frac{\frac{dn_2}{dt}}{\frac{dn_1}{dt} \frac{dn_2}{dt}} = I_M \frac{i_{c2}}{i_{c2} - i_{c1}} \quad (9)$$

Очевидно, что $\frac{dn_2}{dt}$ и $\frac{dn_1}{dt}$ (или i_{c2} и i_{c1}) определяются при одном значении скорости.

б) Способ добавочного тормоза

В случае незначительного момента трения $M_{тр}$ пренебрегать увеличением его от веса маховика нельзя. Поэтому, кроме кривой выбега двигателя или системы двигатель — рабочий механизм, снимается еще кривая выбега с добавочным моментом трения, который создается тормозом Прони (рис. 3). Тормоз Прони состоит из двух брусков (1),

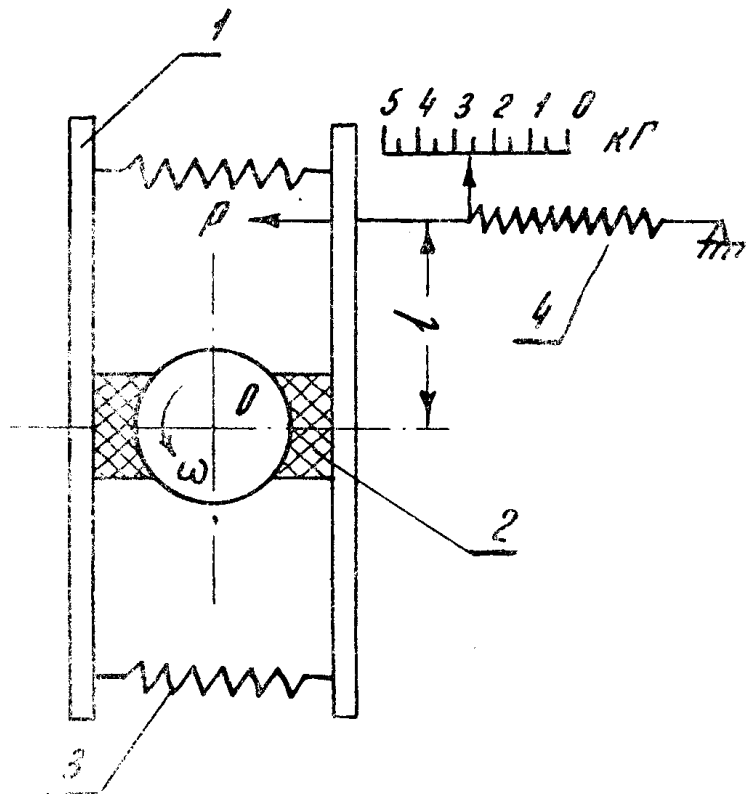


Рис. 3.

к которым прикреплены тормозные колодки (2). При помощи двух пружин (3) тормозные колодки прижимаются к шкиву или к валу двигателя. Величина тормозного момента зависит от материала тормозных колодок, от силы, с которой они прижимаются к шкиву, от наличия смазки.

Добавочный момент трения определяется с помощью динамометра (4)

$$M_{доб} = P \cdot l, \text{ кгМ}, \quad (10)$$

где P — показание динамометра, кг;

l — кратчайшее расстояние от оси двигателя до осевой линии динамометра, М.

Величина добавочного тормозного момента подбирается опытным путем так, чтобы замедление двигателя (и пропорциональный ему ток разряда дифференцирующего конденсатора) возросло в 2–3 раза.

При больших значениях добавочного тормозного момента тормозные колодки необходимо смазывать и охлаждать водой. Перед опытом двигатель, на который наложен тормоз Прони, должен некоторое время поработать, чтобы установилось температурное равновесие тормозных колодок и шкива.

Этот способ дает также два уравнения движения

$$I_x \frac{d\omega_1}{dt} = M_x, \quad (11)$$

$$I_x \frac{d\omega_2}{dt} = M_x + M_{доб}. \quad (12)$$

Подставляя (11) в (12), получим

$$I_x = \frac{M_{доб}}{\frac{d\omega_2}{dt} - \frac{d\omega_1}{dt}} = \frac{M_{доб} \cdot 30}{\pi \left(\frac{dn_2}{dt} - \frac{dn_1}{dt} \right)} = \frac{30 \cdot P \cdot L \cdot C \cdot K}{\pi (i_{C2} - i_{C1})}, \text{ кгм сек}^2. \quad (13)$$

Входящие в уравнение (13) $\frac{dn_1}{dt}$ и $\frac{dn_2}{dt}$ (или i_{C2} и i_{C1}), определяются при одном значении скорости.

В случае быстро протекающего торможения, когда уловить значение замедления по миллиамперметру трудно, необходимо снять кривые $n = f(t)$, $i_{C1} = \varphi_1(t)$ и $i_{C2} = \varphi_2(t)$ при помощи шлейфового осциллографа, для чего вместо миллиамперметра в цепь дифференцирующего конденсатора включается шлейф вибратора.

Выводы

С помощью описанных выше способов можно с большой точностью определить момент инерции ротора электрической машины или приведенный к валу электродвигателя момент инерции системы двигатель—рабочий механизм.

Способ добавочного тормоза можно рекомендовать для случаев, когда момент трения машин небольшой и процесс торможения выбегом продолжительный.

Способ добавочного маховика целесообразно применять при значительном моменте трения машин. В данном случае увеличением момента трения за счет веса добавочного маховика можно пренебречь.

После определения момента инерции можно найти с помощью формулы (6) неизвестный момент трения машины или системы двигатель—рабочий механизм.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. П. Андреев и Ю. А. Сабинин. Основы электропривода, ГЭИ, 1956.
2. A. Ytterberg. Eine neue Methode zur Bestimmung der Leerlaufverluste einer Maschine. ETZ, N. 45, стр. 1158, 1912.

Поступила в редакцию
в мае 1962 г.