

## ПОГРЕШНОСТИ R—C ДИФФЕРЕНЦИАТОРА ПРИБОРА ДЛЯ СНЯТИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

О. Г. МАКАРЧЕНКО

(Представлена научно-техническим семинаром НИИ АЭМ и кафедры ЭПА)

В работах [1, 2] описан прибор «механоскоп» для снятия механических характеристик (динамических и статических) асинхронного двигателя, с возможностью непрерывной их регистрации и визуального наблюдения на экране электронно-лучевой трубки. Имеется опыт успешного использования «механоскопов» в учебных, научно-исследовательских и заводских лабораториях.

Как и любой прибор, «механоскоп» должен иметь свой класс точности измерения, что прежде всего определяет границы его практического применения. Пока имеются лишь косвенные методы определения погрешности снятия механических характеристик [4]. Знание погрешностей «механоскопа» имеет большое значение для правильной оценки динамических свойств изучаемых электроприводов. Однако эти вопросы исследованы недостаточно.

В настоящей работе рассматривается погрешность, вносимая R—C дифференциатором и имеющая большой удельный вес, при определении углового ускорения двигателя.

Скорость вращения машины переменного тока определяется вращающимися моментами машины и нагрузки, а также моментами инерции вращающихся масс. В малоинерционных приводах переходные моменты, возникающие при пуске двигателей переменного тока, вызывают неравномерность изменения скорости.

Интегрируя уравнение движения привода (3) при моменте статическом, равном нулю, получим выражение мгновенного значения угловой скорости вращения двигателя для начального момента пуска, предположив, что процесс разгона происходит весьма медленно по сравнению со скоростью протекания электромагнитных переходных процессов:

$$\begin{aligned} \omega(t) = \omega_{\Pi} + \omega_1(t) + \omega_2(t) - \omega_3(t) - \omega_4(t) = \omega_{\Pi} + \frac{1}{J} M_{\Pi} \cdot t + \\ + \frac{1}{J} M_{\Pi} \frac{1}{\alpha_1 + \alpha_2} \cdot e^{-(\alpha_1 + \alpha_2)t} - \frac{1}{J} M_{\Pi} [A \sin(\omega_1 t + \varphi_1) \cdot e^{\alpha_1 t} + \\ + B \sin(\omega_1 t + \varphi) \cdot e^{\alpha_2 t}], \end{aligned} \quad (1)$$

где  $J$  — момент инерции привода;  
 $\alpha_1; \alpha_2$  — коэффициенты затухания свободных составляющих токов намагничивания и короткого замыкания;

$\varphi_{\kappa}$  — угол сдвига по фазе между током и напряжением в режиме короткого замыкания;

$M_{\Pi}$  — пусковой момент, вычисленный по уточненной формуле Клосса для скольжения, при котором двигатель подключается к сети;

$\omega_{\Pi}$  — угловая скорость в момент подключения его к сети

$$A = \sqrt{\frac{1 + t_{\text{д}}^2 \varphi_{\text{Р}}}{\alpha_1^2 + \omega_1^2}}$$

$$B = \sqrt{\frac{1 + t_{\text{д}}^2 \varphi_{\text{Р}}}{\alpha_2^2 + \omega_1^2}}$$

$$\varphi_1 = \arctg \frac{\alpha_1 - \omega_1 \operatorname{tg} \varphi_{\text{Р}}}{\omega_1 + \alpha_1 \operatorname{tg} \varphi_{\text{Р}}}$$

$$\varphi_2 = \arctg \frac{\alpha_2 + \omega_1 \operatorname{tg} \varphi_{\text{Р}}}{\omega_1 - \alpha_2 \operatorname{tg} \varphi_{\text{Р}}}$$

Из выражения (1) видно, что в кривой скорости имеются составляющие трех видов:

1. Составляющая скорости  $\omega_1(t)$ , возникающая под действием пускового момента двигателя и изменяющейся по линейному закону относительно медленно.

2. Аперриодическая составляющая скорости  $\omega_2(t)$  затухающая практически с той же скоростью, что и потоки рассеяния, поскольку  $\alpha_2 \gg \alpha_1$ .

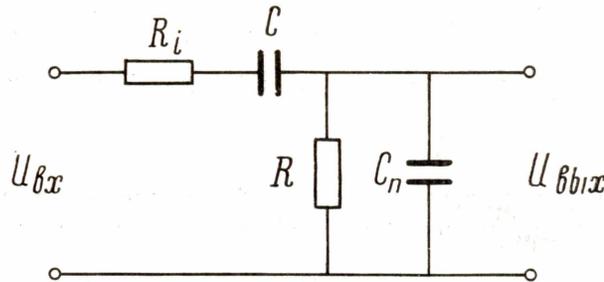


Рис. 1

3. Пульсирующие с частотой сети знакопеременные, медленно затухающая составляющая скорости  $\omega_3(t)$  и  $\omega_4(t)$  — затухающая быстро.

Рассмотрим воздействие напряжений, пропорциональных этим составляющим скорости на пассивную емкостно-активную дифференцирующую цепочку «механоскопа» (рис. 1).

Дифференциальное уравнение для выходного напряжения при входном напряжении, изменяющемся соответственно  $\omega_1(t)$ , в операторной форме запишется в виде

$$U_{\text{ВЫХ}}(p) = \frac{U}{p^2 R_i C_{\Pi} + p \left( \frac{C_{\Pi}}{C} + \frac{R_i}{R} + 1 \right) + \frac{1}{RC}}$$

Решение этого уравнения будет содержать свободную и вынужденную составляющие

$$U_{\text{ВЫХ}}(t) = URC + Ae^{p_1 t} + B \cdot e^{p_2 t}. \quad (3)$$

Из уравнения (3) следует, что ошибка дифференцирования будет равна нулю в случае отсутствия свободной составляющей, т. е. если корни характеристического уравнения будут вещественны и равны.

Принимая в уравнении (3)  $C_{\Pi} = 0$ ,  $R_i = 0$  и  $C_{\Pi} = 0$ ;  $R_i = 0$ , получим выражения для выходного напряжения соответственно:

$$U_{\text{ВЫХ}}(t) = URC \left[ 1 - e^{-\frac{t}{(R + R_i) C}} \right] \quad (4)$$

$$U_{\text{ВЫХ}}(t) = URC \left[ 1 - e^{-\frac{t}{R(C+C_{\text{П}})}} \right] \quad (5)$$

$$U_{\text{ВЫХ}}(r) = URC \left( 1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right) \quad (6)$$

Уравнения (4), (5), (6) показывают, что внутреннее сопротивление источника приложенного напряжения и паразитная емкость приводят к увеличению постоянной времени дифференцирующей цепочки и тем самым к увеличению ошибки дифференцирования.

Поскольку амплитуда составляющих скорости двигателя  $\omega_3(t)$  и  $\omega_4(t)$  уменьшается относительно медленно в течение промежутка времени  $\pi/2$ , то будем считать ее постоянной при рассмотрении воздействия этих составляющих на цепочку  $R-C$ .

При воздействии напряжения, изменяющегося по закону

$$U_{\text{ВХ}} = R_e U \cdot e^{j(\omega_1 t + \varphi)}, \quad (7)$$

на цепочку  $R-C$  дифференциальное уравнение для выходного напряжения запишется в виде

$$U_{\text{ВЫХ}}(p) = U \cdot e^{j\varphi} \frac{p^2}{(p - j\omega_1) \left( \frac{1}{RC} + p \right)}, \quad (8)$$

и будет иметь решение

$$U_{\text{ВЫХ}}(t) = \frac{UR}{Z} \left[ \sin(\omega_1 t + \varphi - \gamma) - \frac{1}{\omega_1 RC} \cdot \cos(\varphi - \gamma) \cdot e^{-\frac{t}{RC}} \right]. \quad (9)$$

Для условия нулевого сдвига по фазе из (9) получим

$$\gamma = \frac{\pi}{2}. \quad (10)$$

Задавшись погрешностью по фазе  $\Delta\phi$ , можно по уравнению (9) определить также постоянную времени дифференцирующей цепочки

$$T = \frac{\text{tg } \Delta\phi}{\omega_1}. \quad (11)$$

При воздействии напряжения, пропорционального составляющей скорости  $\omega_2(t)$ , на цепочку  $R-C$  уравнение для выходного напряжения будет иметь вид

$$U_{\text{ВЫХ}}(t) = \frac{U}{\left( \frac{1}{RC} - \alpha \right)} \left( -\alpha \cdot e^{-\alpha t} + \frac{1}{RC} \cdot e^{-\frac{t}{RC}} \right). \quad (12)$$

Из выражений (3), (9) и (12) следует, что для уменьшения погрешности дифференцирования необходимо уменьшать постоянную времени дифференцирующей цепочки. Однако последнее приводит к уменьшению выходного напряжения и увеличению масштаба производной  $\mu$

$$\mu = \frac{U'_{\text{ВЫХ}}(t)}{U_{\text{ВЫХ}}(t)}, \quad (13)$$

где  $U'_{\text{ВЫХ}}(t)$  — выходное напряжение идеального дифференцирования;

$U_{\text{ВЫХ}}(t)$  — выходное напряжение реального дифференцирования.

Масштаб производной для выходных напряжений (3), (9) и (12) определится соответственно по выражениям

$$\mu_1 = \frac{1}{T}, \quad (14)$$

$$\mu_2 = \frac{Z \omega_1}{R} \approx \frac{1}{T}, \quad (15)$$

$$\mu_3 = \frac{1 - \alpha T}{T} \approx \frac{1}{T}. \quad (16)$$

Ошибка дифференцирования напряжений, пропорциональных составляющим скорости, является величиной переменной и уменьшается с течением времени дифференцирования. Однако при соответствующем выборе постоянной времени  $R-C$  цепочки, погрешности по амплитуде выходного напряжения можно свести к минимуму.

Относительная погрешность операции дифференцирования в соответствии с выражениями (3), (9) и (12) будет равна

$$\delta_2 = \delta_1 + 2\delta_2 + \delta_3, \quad (17)$$

$$\delta_1 = e^{-\frac{t}{T}}, \quad (18)$$

$$\delta_2 = \frac{1}{\omega_1 T} \cdot \frac{\cos(\varphi - \gamma)}{\sin(\omega_1 t + \varphi - \gamma)} \cdot e^{-\frac{t}{T}}, \quad (19)$$

$$\delta_3 = \frac{1}{\alpha T} \cdot e^{\left(\alpha - \frac{1}{T}\right)t}. \quad (20)$$

На рис. 2 приведена зависимость относительной погрешности  $R-C$  цепочки от времени, рассчитанная для случая:  $T = 0,0001$  сек;  $\alpha = 660 \frac{1}{\text{сек}}$ .

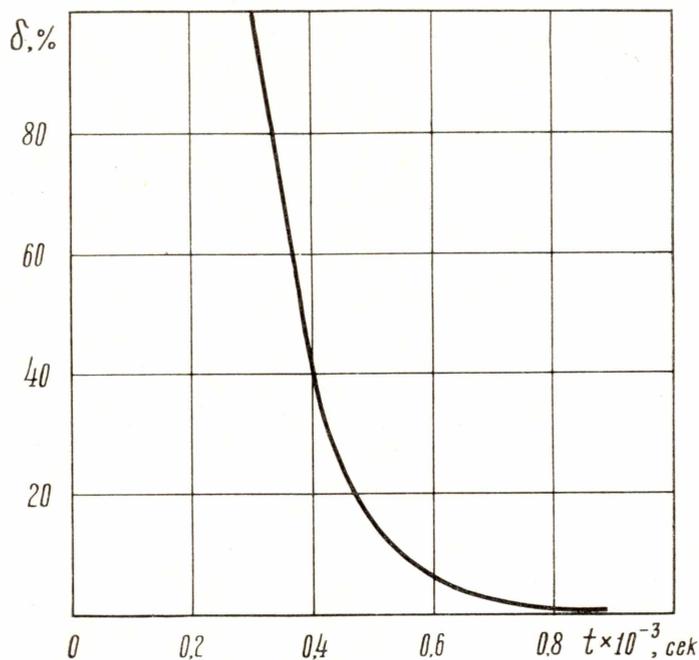


Рис. 2.

Из графика (рис. 2) видно, что относительная погрешность не превышает 1% по истечении времени 0,0008 сек. Сдвиг по фазе из (11) в этом случае равен  $1^\circ 48'$ .

### Выводы

1. Электрическая цепочка  $R-C$  дифференцирует напряжения, пропорциональные составляющим скорости с одним и тем же масштабом производной.

2. Для напряжений пропорциональных составляющим скорости  $\omega_2(t)$  и  $\omega_4(t)$  ошибка дифференцирования увеличивается соответственно в  $\frac{1}{\alpha T}$  и  $\frac{1}{\omega_1 T}$  раз.

3. В реальных условиях работы «механоскопа» средняя ошибка дифференцирования не превышает 1%.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. И. Зайцев, М. П. Табинский, А. С. Бобровский. Установка для снятия динамических механических характеристик асинхронного двигателя. «Известия ТПИ». т. 117, 1963.

2. Отчет по научно-исследовательской теме «Разработка, исследование и изготовление прибора для снятия механических характеристик электрических машин». Томск, 1968.

3. И. И. Петров, А. М. Мейстель. Специальные режимы работы асинхронного электропривода. «Энергия», 1968.

4. А. И. Зайцев, М. П. Табинский, О. Г. Макаренко. Исследование электромагнитных переходных процессов асинхронных электродвигателей. Доклады V научно-технической конференции по вопросам автоматизации производства, том 1, Томск, 1967.

---