

О ДИНАМИКЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРИ ИМПУЛЬСНОМ РЕГУЛИРОВАНИИ СКОРОСТИ

А. П. ЗАЙЦЕВ, А. И. ЗАЙЦЕВ

(Представлено научным семинаром электромеханического факультета)

Рассматриваемый в данной работе импульсный режим работы двигателя постоянного тока с независимым возбуждением характеризуется тем, что напряжение, подводимое к якору, имеет прерывный (импульсный) характер. Для приводов средней и большой мощности генератором импульсного напряжения может служить управляемый ионный выпрямитель. При многофазном выпрямлении можно приближенно считать, что импульсы выпрямленного напряжения имеют прямоугольную форму, что значительно упрощает анализ работы привода.

Ввиду того, что к якору подводится импульсное напряжение, скорость вращения двигателя имеет колебательный характер. На рис. 1

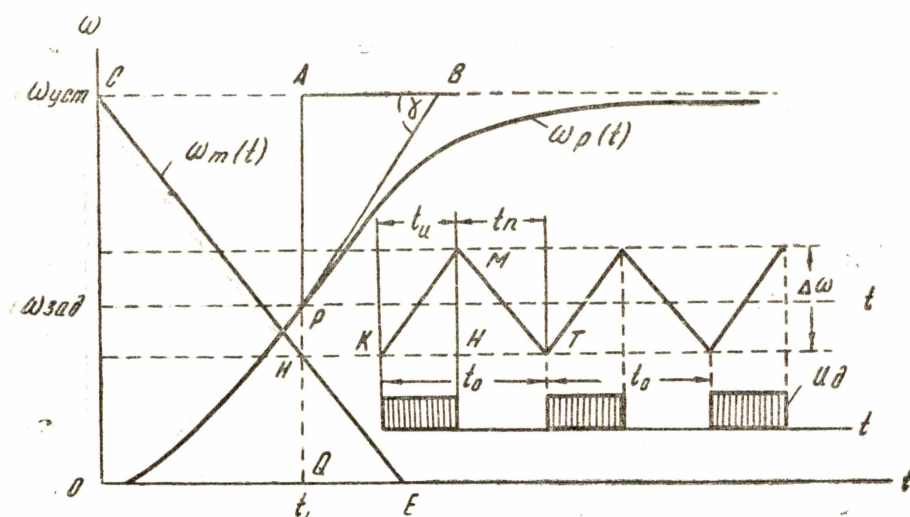


Рис. 1.

изображены кривая разгона $\omega_p(t)$ и прямая торможения двигателя $\omega_t(t)$ для случая постоянства статического момента сопротивления M_c на валу. Уравнение кривой разгона двигателя имеет вид:

$$\omega_p(t) = c_1 e^{\alpha_1 t} + c_2 e^{\alpha_2 t} + \omega_{уст}, \quad (1) \quad [1]$$

где $\omega_{уст}$ — установившееся значение скорости при нагрузке M_c ;
 c_1, c_2 — постоянные интегрирования, определяющиеся начальными условиями;

$$\alpha_{1,2} = -\frac{1}{2T_{я}} \pm \frac{1}{2T_{я}} \sqrt{1 - \frac{4T_{я}}{T_{м}}} \text{ — корни характеристического уравнения;}$$

$T_{я}$ — электромагнитная постоянная времени цепи якоря двигателя;

$T_{м}$ — механическая постоянная времени привода.

Уравнение прямой торможения определяется из выражения

$$-M_c = j \frac{d\omega_m(t)}{dt} \quad (2) \quad [1]$$

Разделив в (2) переменные и учитывая начальные условия при интегрировании, получим искомое уравнение

$$\omega_m(t) = \omega_{уст} - \frac{M_c}{j} t, \quad (3)$$

где t — время, отсчитываемое с момента начала торможения;

M_c — статический момент сопротивления на валу двигателя;

J — момент инерции привода.

Во время работы в импульсном режиме двигатель последовательно проходит участки кривой разгона и прямой торможения, ограниченные шириной зоны колебания скорости $\Delta\omega$. Во время приложения к якорю импульса напряжения двигатель разгоняется (участок КМ), а во время паузы тормозится под действием статического момента сопротивления M_c (участок МТ).

При достаточно малом отклонении скорости от заданной можно считать, что действительная скорость изменяется по прямой, параллельной прямой торможения и касательной к кривой разгона в точке пересечения с горизонтальной прямой $\omega_{зад}$, соответствующей заданной скорости.

Введем обозначения:

$KN = t_u$ — время приложения импульса напряжения к якорю двигателя;

$NT = t_n$ — время паузы (отсутствия импульса);

$KT = KN + NT = t_u + t_n = t_o$ — продолжительность периода импульсов напряжения;

$MN = \Delta\omega$ — динамический перепад скорости (зона колебания скорости);

$$\frac{t_u}{t_u + t_n} = \frac{t_u}{t_o} = \varepsilon, \quad (4) \text{ — относительная продолжительность включения.}$$

Производим вспомогательные построения. К кривой разгона двигателя в точке P (точка пересечения $\omega_p(t)$ и $\omega_{зад}$) проводим касательную до пересечения с линией $\omega_{уст}$. Из этой же точки проводим перпендикуляр к линии $\omega_{уст}$. Построенный таким образом $\triangle ABP$ подобен $\triangle KNM$ по условию параллельности всех сторон. По той же причине $\triangle OCE$ подобен $\triangle NMT$. Из вышесказанного следует

$$\frac{AP}{AB} = \frac{MN}{KN}, \quad (5)$$

$$\frac{CO}{OE} = \frac{MN}{NT} \quad (6)$$

Отношение

$$\frac{AP}{AB} = \operatorname{tg} \gamma = \frac{d\omega_p(t)}{dt} = c_1 \alpha_1 e^{\alpha_1 t} + c_2 \alpha_2 e^{\alpha_2 t} \quad (7)$$

определяется как производная от уравнения кривой разгона в точке О. Отрезок OE представляет полное время торможения от $\omega_m(t) = \omega_{уст}$ до $\omega_m(t) = 0$ и определяется из (3)

$$OE = t_{\text{торм}} = \frac{J \omega_{уст}}{M_c} \quad (8)$$

Подставляя в (5) и (6) соответствующие значения отрезков и отношений, получим

$$\frac{d\omega_p(t)}{dt} = \frac{\Delta\omega}{t_u} \quad (9)$$

$$\frac{\omega_{уст}}{t_{\text{торм}}} = \frac{\Delta\omega}{t_u} \quad (10)$$

Из (7), (9) и (10) относительная продолжительность включения

$$\varepsilon = \frac{M_c}{M_c + J(c_1 \alpha_1 e^{\alpha_1 t} + c_2 \alpha_2 e^{\alpha_2 t})} \quad (11)$$

Из (9) и (10) ускорение привода во время приложения импульса напряжения

$$\tau_p = \left| \frac{\omega_{уст} t_u}{t_{\text{торм}} t_u} \right| = \left| \frac{\omega_{уст} (1 - \varepsilon)}{t_{\text{торм}} \varepsilon} \right| = a_m \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} \quad (12)$$

где $a_m = \frac{\omega_{уст}}{t_{\text{торм}}} = \frac{M_c}{J}$ — замедление привода во время паузы. (13)

Из (7), (9), (10) и (11) определяем динамический перепад скорости

$$\Delta\omega = \frac{M_c}{J} \cdot \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} \cdot t_u \quad (14)$$

или

$$\Delta\omega = \frac{M_c}{J} \cdot t_u \quad (15)$$

Выводы

1. Привод работает в непрерывном режиме ускорений и замедлений, которые действуют поочередно с определенной частотой, зависящей от M_c , J и $\omega_{зад}$. Величина ускорения зависит от относительной продолжительности включения ε , а величина замедления постоянна и зависит только от M_c , J .

2. Величина динамического перепада скорости $\Delta\omega$, характеризующая динамические качества привода, зависит от M_c , J и ε при неизменном времени импульса напряжения t_u . Поэтому при небольшой скорости $\omega_{зад}$, когда относительная продолжительность включения ε мала, получается большая пульсация скорости, ограничивающая нижний предел регулирования скорости импульсным методом.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Т. Голован. Основы электропривода. ГЭИ, 1959.

Поступила в редакцию
в мае 1962 г.