

ВЛИЯНИЕ ПОСТОЯННОГО ПОДМАГНИЧИВАНИЯ ОБМОТКИ УПРАВЛЕНИЯ ДВУХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ЕГО ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

В. А. ВОРОБЬЕВ, Г. П. ТАРАСОВ, Б. А. ХОМЯКОВ

(Представлена научным семинаром кафедры электрических машин.)

В приборных следящих системах переменного тока часто используются двухфазные асинхронные двигатели, обмотки возбуждения которых питаются напряжением от промышленной сети, а обмотки управления от маломощного электронного усилителя с значительным внутренним сопротивлением. Выходное напряжение усилителя имеет постоянную составляющую, вызывающую подмагничивание двигателя. В ряде работ [1, 3] исследовалось влияние большого активного сопротивления в цепи управляющей обмотки на динамические свойства двигателя. В них отмечается, что наличие указанного сопротивления значительно ухудшает динамические характеристики двигателя как элемента следящей системы. Ниже рассматривается влияние постоянного подмагничивания обмотки управления на механическую характеристику и динамические свойства двигателя.

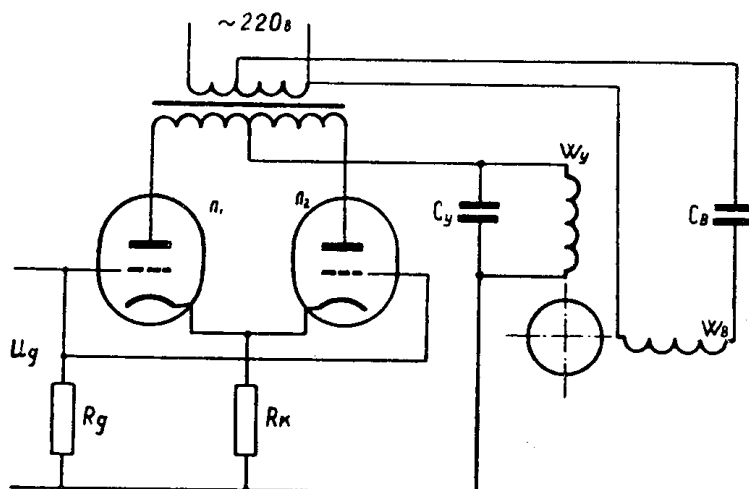


Рис. 1. Схема включения двигателя РД-09.

На рис. 1 изображена схема включения двигателя РД-09. В исследуемом режиме схему замещения двигателя и усилителя можно представить рис. 2. Электронный усилитель замещен двумя эквивалентными источниками э.д.с. с общим внутренним сопротивлением

$R_i: E_{y0}$ — источник э. д. с. постоянного тока, E_y — источник э. д. с. переменного тока (в силу фильтрующих свойств двигателя достаточно взять лишь первую гармонику). В линейном режиме для схемы замещения можно написать систему уравнений.

а) Уравнения цепей двигателя [1]:

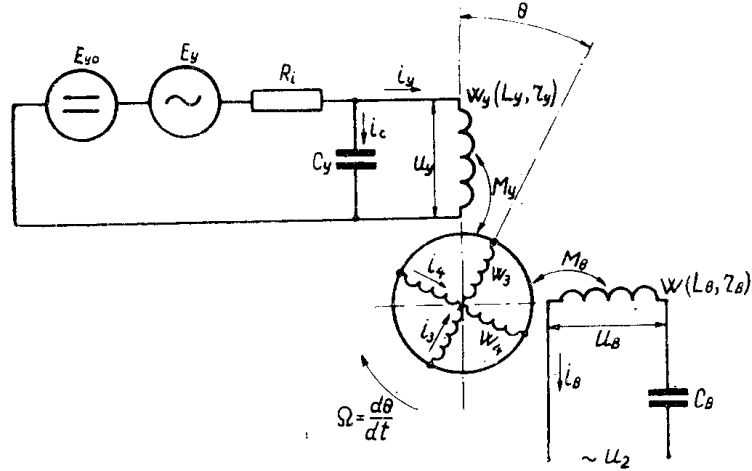


Рис. 2. Схема замещения двигателя и выходного каскада электронного усилителя.

$$\begin{aligned}
 L_y \frac{di_y}{dt} + r_y i_y + M_y \frac{di_a}{dt} &= u_y(t), \\
 L_B \frac{di_B}{dt} + r_B i_B + M_B \frac{di_6}{dt} &= u_B(t), \\
 L_p \frac{di_a}{dt} + r_p i_a + (L_p i_6 + M_B i_B) \Omega + M_y \frac{di_y}{dt} &= 0, \\
 L_p \frac{di_6}{dt} + r_p i_6 - (L_p i_a + M_y i_y) \Omega + M_B \frac{di_B}{dt} &= 0.
 \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь $i_a = i_3 \cos \Theta - i_4 \sin \Theta$ — ток в обмотках ротора, приведенный к оси обмотки управления.

$i_6 = i_3 \sin \Theta + i_4 \cos \Theta$ — ток в обмотках ротора, приведенный к оси обмотки возбуждения.

б) Уравнения цепей питания двигателя:

$$\begin{aligned}
 E_{y0} + E_y(t) &= E_r(t), \\
 R_i (i_c + i_y) + \frac{1}{C_y} \int i_c(t) dt, \\
 u_B(t) &= u_2(t) - \frac{1}{C_B} \int i_B(t) dt, \\
 u_y(t) &= u_c = \frac{1}{C_y} \int i_c(t) dt.
 \end{aligned} \quad (2)$$

в) Выражение среднего за период тока электромеханического момента двигателя [1]:

$$M_{cp} = Re (M_b i_a^* i_b - M_y i_y i_b^*). \quad (3)$$

Так как E_r и u_2 известны (рис. 1, 2), то система уравнений (1 – 2) может быть решена относительно токов. Будем искать решение в комплексной форме. Если обмотка возбуждения питается от промышленной сети, то можно принять

$$u_2(t) = U_{vm} \cos \omega t$$

или в комплексной форме

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_{vm}. \quad (4)$$

При условии учета лишь первой гармоники э. д. с. E_r эквивалентного генератора, от которого питается управляющая обмотка двигателя, получим

$$E_r(t) = E_{y0} + E_{ym} \cos(\omega t + \varphi) = E_{y0} \cos(\omega t - \omega t) + E_{ym} \cos(\omega t + \varphi)$$

или в комплексной форме:

$$\dot{E}_r = E_{y0} e^{-j\omega t} + E_{ym} e^{j\varphi}. \quad (5)$$

Здесь постоянная составляющая представлена вектором, вращающимся в обратную сторону относительно $e^{j\omega t}$. Упростив систему уравнений (1, 2), запишем:

$$\begin{aligned} (r_y + j\omega L_y) \dot{I}_y + j\omega M_y \dot{I}_a - \frac{1}{j\omega C_y} \dot{I}_c &= 0, \\ \left(r_b + j\omega L_b + \frac{1}{j\omega C_b} \right) \dot{I}_b + j\omega M_b \dot{I}_\delta &= \dot{U}_2, \\ (r_p + j\omega L_p) \dot{I}_a + L_p \Omega \dot{I}_\delta + M_b \Omega \dot{I}_b + j\omega M_y \dot{I}_y &= 0, \\ (r_p + j\omega L_p) \dot{I}_\delta - L_p \Omega \dot{I}_a - M_y \Omega \dot{I}_y + j\omega M_b \dot{I}_b &= 0, \\ R_i \dot{I}_y + \left(R_i + \frac{1}{j\omega C_y} \right) \dot{I}_c &= E_r. \end{aligned} \quad (6)$$

Решая эту систему относительно токов статора и ротора при скоростях вращения ротора $\Omega < \Omega_{синхр}$, мы можем пренебречь членами, пропорциональными Ω^2 ; решения будут иметь форму:

$$\begin{aligned} \dot{I}_y &= a_y \dot{E}_r + b_y \Omega \dot{U}_2, \\ \dot{I}_b &= a_b \dot{U}_2 + b_b \Omega \dot{E}_r, \\ \dot{I}_a &= a_a \dot{E}_r + b_a \Omega \dot{U}_2, \\ \dot{I}_\delta &= a_\delta \dot{U}_2 + b_\delta \Omega \dot{E}_r. \end{aligned} \quad (7)$$

Здесь a_i и b_i – комплексные величины; они определяются электрическими параметрами двигателя и усилителя.

Вычисляя по формуле (3) электромеханический момент двигателя, получим

$$M_{cp} = M_n - D\Omega, \quad (8)$$

где

$$M_n = K_1 U_b E_y, \quad (9)$$

$$D = K_2 \left(E_y^2 + \frac{1}{2} E_{y0}^2 \right) + K_3 U_b^2 \quad (10)$$

Коэффициенты K_i определяются электрическими параметрами двигателя усилителя и сдвигом фаз между \dot{U}_2 и \dot{E}_r ; E_y и U_b — действующие значения.

Анализируя выражения (8, 9, 10), можно сделать выводы:

1. Активная часть электромеханического момента M_n (пусковой момент) от подмагничивания постоянной составляющей не зависит.

2. Тормозной момент $M_r = D\Omega$ с ростом постоянного подмагничивания возрастает. Увеличение коэффициента демпфирования D с ростом подмагничивания частично компенсирует отрицательное влияние активного сопротивления в цепи управления.

Пример. Пусть двигатель РД-09 включен по схеме рис. 1 (стандартные усилители У-109, У-119). В этом случае подмагничивание из-

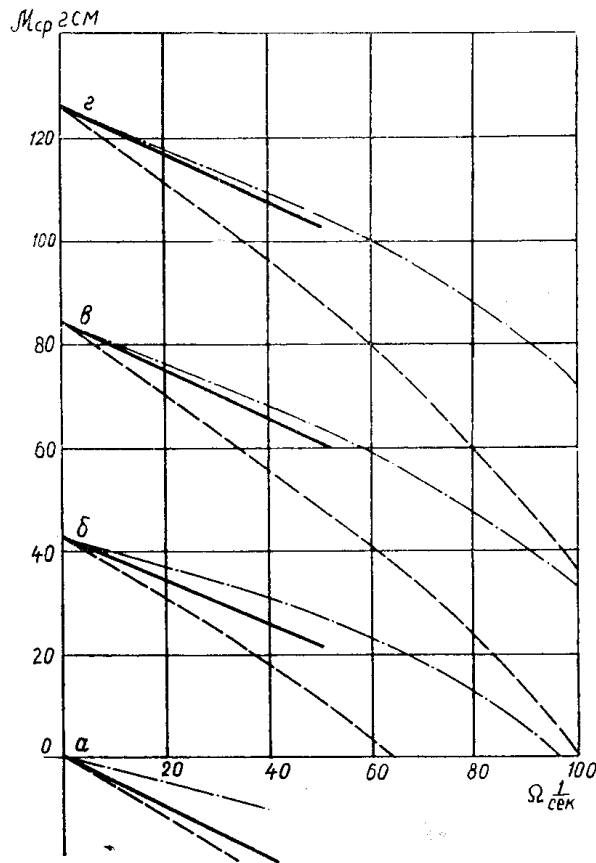


Рис. 3. Семейства механических характеристик двигателя РД-09: — при питании от генератора напряжения ($R_i=0$); - - - без подмагничивания ($R_i=6,5$ ком); — с подмагничиванием ($R_i=6,5$ ком);
 а — $E_y = 0$, $E_{y0} = 270$ в; б — $E_y = 70$ в,
 $E_{y0} = 205$ в; в — $E_y = 130$ в, $E_{y0} = 149$ в;
 г — $E_y = 205$ в, $E_{y0} = 83$ в.

меняется с изменением уровня сигнала. Э. д. с. эквивалентных источников определяется:

$$E_y = \frac{v}{\sqrt{2}} U_{\sigma} \quad (11)$$

$$E_{y0} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} (E_a - E_y), \quad (12)$$

где μ — коэффициент усиления лампы;

U_g — напряжение на сетках ламп;

E_a — анодное напряжение (примем $E_a = 300$ в и внутреннее сопротивление усилителя $R_i = 6,5$ к).

На рис. 3 изображены семейства механических характеристик двигателя РД-09. Пунктирной линией изображено семейство характеристик при питании двигателя от генератора напряжений без подмагничивания; штрихпунктирной — при наличии в контуре управления активного сопротивления $R_i = 6,5$ к подмагничивание также отсутствует. Сплошной — при питании от электронного усилителя, т. е. с подмагничиванием и при наличии в контуре управления сопротивления $R_i = 6,5$ к. Первые два семейства характеристик снимались экспериментально.

Последнее семейство получено расчетным путем, коэффициент демпфирования рассчитывался по формулам (10, 11, 12). Формулу (10) для удобства расчета можно преобразовать. Если D — коэффициент демпфирования при отсутствии подмагничивания определяется по второму семейству, то коэффициент демпфирования D^1 при наличии подмагничивания будет:

$$D' = D + \frac{1}{2} K_2 E_{y0}^2, \quad (13)$$

где $K_2 = 6 \cdot 10^{-6} \frac{\text{г см сек}}{\text{в}^2}$ для РД-09.

Данные расчетов коэффициента демпфирования, определяющего динамические свойства двигателя, сведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

ЭДС источников		Коэффициенты демпфирования	
переменного тока E_y [В]	постоянного тока E_{y0} [В]	без подмагничивания	с подмагничиванием
		$\frac{\text{г см сек}}{\text{в}^2}$	$\frac{\text{г см сек}}{\text{в}^2}$
0	270	0,27	0,49
70	205	0,28	0,41
130	149	0,34	0,42
205	83	0,44	0,46

Таким образом, в заключение можно подчеркнуть, что подмагничивание, изменяющееся с уровнем сигнала, увеличивает коэффициент демпфирования D^1 , особенно при малых сигналах (когда следящая система подходит к положению равновесия).

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. П. Власов. Теория линейных систем, работающих на переменном токе. Энергия, М., 1964.
2. Д. Б. Полонников. Электронные усилители автоматических компенсаторов. ФМ, 1960.
3. Е. И. Баранчук. Известия ВУЗов. Приборостроение № 5, 1963.