интервале 0–1 нормального распределения. Все свойства и характеристики этого распределения, в частности среднее квадратическое отклонение $\sigma_{ки}$, определяются одним параметром – генеральным средним коэффициентом использования $k_{ио}$. Наибольшее значение $\sigma_{ки}$ $\sigma_{ки\,max} = 0{,}2$ имеет симметричное распределение $k_и$, отвечающее $k_{ио} = 0{,}5$. При отклонении $k_{ио}$ от значения 0,5 распределение $k_и$ становится асимметричным и $\sigma_{ки}$ уменьшается (рис. 2, б).

Литература

1. Электрические нагрузки промышленных предприятий/ С.Д.Волобринский, Г.М.Каялов, П.Н.Клейн, Б.С.Мешель. – Л., 1971. 2. Методические указания по обследованию электрических нагрузок промышленных предприятий. – М., 1963. 3. Каялов Г.М., Гродский С.Е. Исследование электрических нагрузок механических цехов тракторного завода. – Электричество, 1961, № 3. 4. Смирнов Н.В., Дунин–Барковский И.В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений. – М., 1969. 5. Князевский Б.А., Лившиц В.С. О коэффициенте использования мощности промышленных электроприемников. – Электричество, 1968, № 1.

УДК 62–82:621.313.3

О.П.Ильин, Г.А.Баханович

РАСЧЕТ УГЛА РАССОГЛАСОВАНИЯ СИНХРОННО–СИНФАЗНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ПЕРЕКРЕСТНЫМИ ОБРАТНЫМИ СВЯЗЯМИ

В ряде промышленных установок часто требуется синхронно-синфазное движение рабочих органов. Обеспечение синхронно-синфазного движения возможно на базе электропривода как постоянного, так и переменного тока.

Наиболее перспективным является электропривод на синхронных двигателях (СД) с автоматическим регулированием возбуждения (АРВ) в функции угла рассогласования θ.

Вопросы АРВ синхронных двигателей в функции угла θ рассматривались в ряде работ [1, 2, 3], где показана возможность (за счет применения АРВ) повышения динамической устойчивости и быстрого гашения качаний при резкопеременной нагрузке. В то же время вопросы динамики синхронно-синфазных систем на синхронных двигателях с использованием АРВ в функции угла θ еще недостаточно изучены.

Как показали теоретические и экспериментальные исследования, обеспечение синфазности и эффективное гашение качаний синхронно-синфазного с идентичными каналами электропривода может быть достигнуто введением

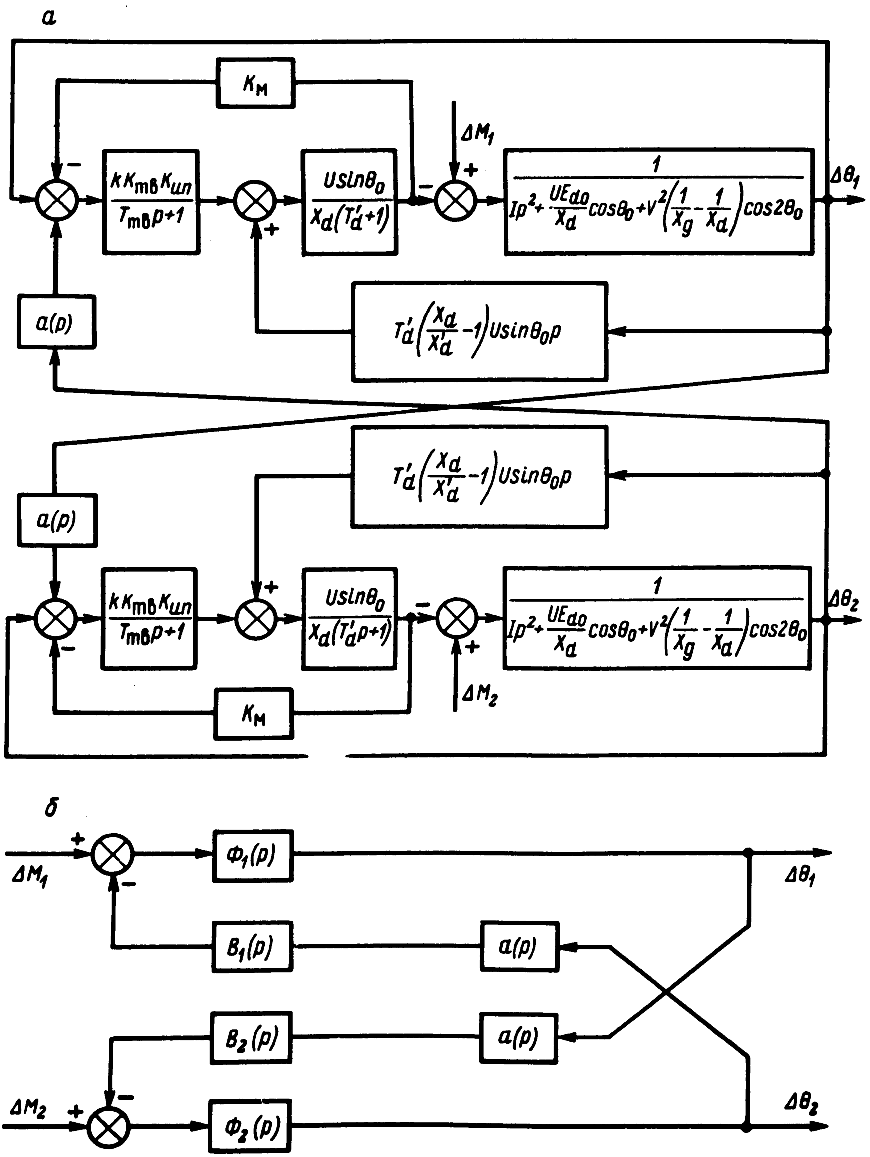

Рис. 1. Структурная схема синхронно-синфазного электропривода с симметричными перекрестными связями.

перекрестных связей $a(p)$ по углу рассогласования, а также введением обратных связей по активной составляющей тока статора СД—$K_М$. В этом случае линеаризованная структура синхронно-синфазного электропривода при возмущающем воздействии показана на рис. 1, а. Здесь, кроме общепринятых [3] обозначений, обозначено: $K_{тв}$, $T_{тв}$ — коэффициент усиления и постоянная времени возбудителя; $K_{ип}$ — коэффициент усиления измерительного преобразователя угла θ.

Обозначим

$$kK_{тв}K_{ип} = K'.$$

Преобразуем структурную схему (рис. 1, а) к виду рис. 1, б. Передаточная функция по возмущению каждого из каналов системы

$$\Phi_1(p) = \Phi_2(p) = \frac{b_o p^2 + b_1 p + b_2}{a_o p^4 + a_1 p^3 + a_2 p^2 + a_3 p + a_4},$$

где $b_o = x_d T_{тв} T'_d$;

$$b_1 = x_d(T_{тв} + T'_d);$$

$$b_2 = x_d + K'K_М U \sin\theta_o;$$

$$a_o = Jx_d T_{тв} T'_d;$$

$$a_1 = Jx_d(T_{тв} + T'_d);$$

$$a_2 = Jx_d + K'K_М JU\sin\theta_o + T_{тв}T'_d UE_{do}\cos\theta_o +$$

$$+ T_{тв}T'_d x_d U^2\left(\frac{1}{x_g} - \frac{1}{x_d}\right)\cos 2\theta_o + T_{тв}T'_d\left(\frac{x_d}{x'_d} - 1\right)U^2\sin^2\theta_o;$$

$$a_3 = UE_{do}\cos\theta_o(T_{тв} + T'_d) + x_d U^2\left(\frac{1}{x_g} - \frac{1}{x_d}\right)\cos 2\theta_o(T_{тв} + T'_d) +$$

$$+ T'_d\left(\frac{x_d}{x'_d} - 1\right)U^2\sin^2\theta_o;$$

$$a_4 = UE_{do}\cos\theta_o + K'K_М U\sin\theta_o\frac{UE_{do}}{x_d}\cos\theta_o + x_d U^2\left(\frac{1}{x_g} - \frac{1}{x_d}\right)\cos 2\theta_o +$$

$$+ K'K_М U\sin\theta_o U^2\left(\frac{1}{x_g} - \frac{1}{x_d}\right)\cos 2\theta_o + K'U\sin\theta_o.$$

Передаточные функции звеньев в цепях перекрестных связей

$$B_1(p) = B_2(p) = \frac{K'U\sin\theta_o}{x_d(T_{тв}p+1)(T'_d p+1) + K'K_м U\sin\theta_o}.$$

Структурной схеме (рис. 1, б) соответствует следующая система уравнений, записанных в операторной форме:

$$\begin{cases} \Delta\theta(p) = \Phi_1(p)\,[\Delta M_1(p) - \Delta\theta_2(p) B_1(p) a(p)]; \\ \Delta\theta_2(p) = \Phi_2(p)\,[\Delta M_2(p) - \Delta\theta_1(p) B_2(p) a(p)]. \end{cases} \qquad (1)$$

Полученную систему уравнений приведем к виду

$$\begin{cases} \Delta\theta_1(p) + \Phi_1(p)\Delta\theta_2(p) B_1(p) a(p) = \Phi_1(p)\Delta M_1(p); \\ \Delta\theta_2(p) + \Phi_2(p)\Delta\theta_1(p) B_2(p) a(p) = \Phi_2(p)\Delta M_2(p). \end{cases} \qquad (2)$$

Введем обозначения

$$\Phi_1(p) B_1(p) a(p) = \alpha_1(p);$$

$$\Phi_2(p) B_2(p) a(p) = \alpha_2(p);$$

$$\Phi_1(p) = \beta_1(p);$$

$$\Phi_2(p) = \beta_2(p).$$

С учетом введенных обозначений система уравнений (2) запишется

$$\begin{cases} \Delta\theta_1(p) + \alpha_1(p)\Delta\theta_2(p) = \beta_1(p)\Delta M_1(p); \\ \Delta\theta_1(p)\alpha_2(p) + \Delta\theta_2(p) = \beta_2(p)\Delta M_2(p). \end{cases} \qquad (3)$$

Рассмотрим матрицы

$$C(p) = \begin{bmatrix} 1 & \alpha_1(p) \\ \alpha_2(p) & 1 \end{bmatrix}; \qquad D(p) = \begin{bmatrix} \beta_1(p) & 0 \\ 0 & \beta_2(p) \end{bmatrix}$$

и векторы

$$\Delta\bar{\theta}(p) = \begin{bmatrix} \Delta\theta_1(p) \\ \Delta\theta_2(p) \end{bmatrix}; \qquad \Delta\bar{M}(p) = \begin{bmatrix} \Delta M_1(p) \\ \Delta M_2(p) \end{bmatrix}.$$

Тогда систему уравнений (3), описывающих динамику синхронно-синфазной системы, можно записать в векторной форме

$$C(p)\Delta\bar{\theta}(p) = D(p)\Delta\bar{M}(p). \tag{4}$$

Найдем зависимость вектора координат регулируемого параметра объекта от вектора возмущающих воздействий.

Умножим уравнение (4) слева на матрицу $C^{-1}(p)$

$$\Delta\bar{\theta}(p) = C^{-1}(p)D(p)\Delta\bar{M}(p). \tag{5}$$

Введем в рассмотрение матрицу

$$N(p) = C^{-1}(p)D(p), \tag{6}$$

тогда зависимость вектора координат регулируемого параметра от вектора возмущающих воздействий запишется

$$\Delta\bar{\theta}(p) = N(p)\Delta\bar{M}(p). \tag{7}$$

Как видно из выражения (7), каждому значению вектора возмущающих воздействий $\Delta\bar{M}(p)$ ставится в соответствие вектор координат на выходе системы $\Delta\theta(p)$.

Принимая во внимание, что

$$C^{-1}(p) = \frac{1}{|C|}\begin{bmatrix} 1 & -\alpha_1(p) \\ -\alpha_2(p) & 1 \end{bmatrix},$$

получим

$$N(p) = \frac{1}{1-\alpha_1(p)\alpha_2(p)}\begin{bmatrix} \beta_1(p) & \alpha_1(p)\beta_2(p) \\ \alpha_2(p)\beta_1(p) & \beta_2(p) \end{bmatrix}. \tag{8}$$

Из условия идентичности каналов

$$\begin{cases} \alpha_1(p) = \alpha_2(p) = \alpha(p); \\ \beta_1(p) = \beta_2(p) = \beta(p), \end{cases} \tag{9}$$

тогда выражение (7) с учетом (8) и (9) запишется

$$\Delta\theta(p) = \frac{\beta(p)\,[1-\alpha(p)]\,\Delta M_1(p) - \beta(p)\,[1-\alpha(p)]\,\Delta M_2(p)}{1-\alpha^2(p)} \quad (10)$$

В частном случае при $\Delta M_1 = \Delta M_2$ рассогласование между роторами синхронных двигателей $\Delta\theta$ в соответствии с выражением (10) равны нулю.

В случае использования асимметричных перекрестных связей, когда $B_1(p) = -B_2(p)$, результирующее рассогласование синхронных двигателей

$$\Delta\theta(p) = \frac{\beta(p)\,[1-\alpha(p)]\,\Delta M_1(p) - \beta(p)\,[1-\alpha(p)]\,\Delta M_2(p)}{1+\alpha^2(p)} \quad (11)$$

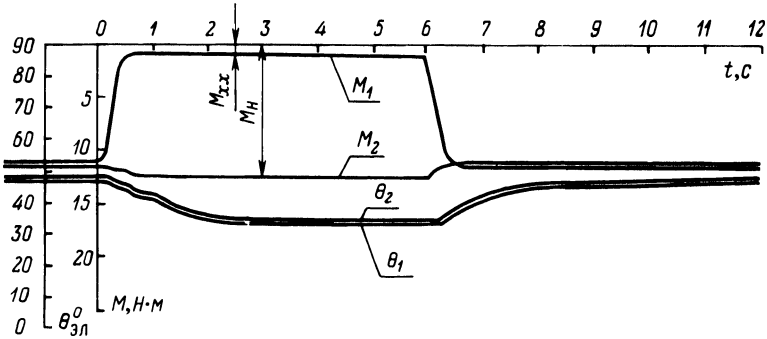

Рис. 2. Осциллограмма переходных процессов синхронно-синфазного электропривода с антисимметричными перекрестными обратными связями.

Как видно из выражения (11) при асимметричной перекрестной связи синхронно-синфазный электропривод обладает статической ошибкой.

На рис. 2 показана осциллограмма переходных процессов синхронно-синфазного электропривода с асимметричными перекрестными связями.

Приведенные в работе выражения (10) и (11) могут быть использованы при проектировании и расчете синхронно-синфазных электроприводов.

Литература

1. Ботвинник М.М. Регулирование возбуждения и статическая устойчивость синхронной машины. — М. — Л., 1950. 2. Невраев В.Ю., Петелин Д.П. Системы автоматизированного электропривода переменного тока. — М. —Л., 1964. 3. Петелин Д.П. Динамика синхронного привода поршневых компрессорных установок. — М., 1976.