

УДК 621.34:62-50

**ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ
В АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ
ТИРИСТОРНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ
– СИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ**

Д. П. ПЕТЕЛИН, А. А. МАКАРОВ, Ю. Д. РУМЯНЦЕВ, Е. Л. ПИМЕНОВА

(Московский государственный текстильный университет им. А. Н. Косыгина)

При разработке систем частотного управления ТПЧ-СД важной задачей является обеспечение устойчивости процессов. В системе ТПЧ-СД возможны два вида колебательных процессов: самовозбуждение, по своей природе являющееся электромагнитной неустойчивостью при определенном соотношении индуктивного сопротивления статорной обмотки СД и емкостного сопротивления выходного каскада ТПЧ при определенных частотах $\nu = \frac{f}{f_n}$; самораскачивание системы с обратными связями по внутреннему углу поворота ротора θ_p двигателя и его производной.

Важно, чтобы колебательные процессы в системе ТПЧ-СД отсутствовали или были достаточно малыми и быстро затухали. Колебания возникают с большой скоростью нарастания амплитуды в течение нескольких периодов. Самовозбуждение колебательных процессов прекращается, когда в результате насыщения магнитной цепи индуктивные сопротивления СД изменяются таким образом, что нарушаются условия неустойчивости и система ТПЧ-СД переходит в режим автоколебаний из-за нелинейностей, свойственных системе ТПЧ-СД.

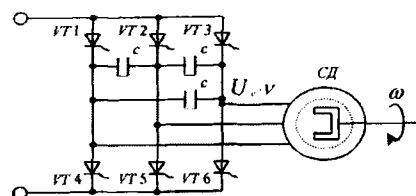


Рис. 1

Возможность самовозбуждения колебательных процессов в системе ТПЧ-СД связана с наличием правых корней в характеристическом уравнении. Условия самовозбуждения колебательных процессов определяются величиной емкостного сопротивления x_c (рис.1), параметрами двигателя x_d , x_q и частотой ν .

Другой вид колебательных процессов в системе проявляется в виде малых колебаний ротора и является самораскачиванием автоматической системы. Эти колебания могут длительно существовать при сохранении условий синхронизма СД и источника питания – ТПЧ. Условия самораскачивания зависят от структуры и параметров системы ТПЧ-СД с обратными связями.

При пренебрежении электромагнитными переходными процессами в статорной обмотке СД из-за их кратковременности упрощенные уравнения СД в соответствии с теорией двух реакций [1,2] в операторной форме запишем в виде:

$$\left. \begin{aligned} u_{dv} &= r i_{dv} + x_{qv} i_{qv}, \\ u_{qv} &= r i_{qv} + e_{dv} - x_{dv} i_{dv}, \\ K\Phi v &= e_{dv} = v e_d, \\ M_{cx} - M &= (e_{dv} - x_{dv} i_{dv}) i_{qv} + (x_{qv} i_{qv}) i_{dv} - M = -Jp^2 \theta_p, \end{aligned} \right\} (1)$$

где M_{cx} – синхронный электромагнитный момент; M – момент нагрузки; J – момент инерции привода; u_{dv} , u_{qv} – составляющие мгновенных напряжений на статоре при относительной частоте v по продольной оси d и поперечной оси q .

Уравнение движения двигателя можно записать следующим образом [3]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{u_{v0} K\Phi}{Z} \cos(\theta_{p0} + \psi_a) \Delta\theta_p + \\ + \frac{K\Phi}{Z} \sin(\theta_{p0} + \psi_a) \Delta u_v - \Delta M &= -Jp^2 \Delta\theta_p, \end{aligned} \right\} (2)$$

$$\text{где } x_{dv} = x_{qv} = x_v; \quad Z = \sqrt{r^2 + x_v^2}; \\ \cos \psi_a = \frac{x_v}{Z}; \quad \operatorname{tg} \psi_a = \frac{Z}{x_v}; \quad K\Phi = e_d.$$

Преобразовав уравнение (2), получим

$$\Delta\theta_p = -\frac{1}{Jp^2} (k_1 \Delta\theta_p + k_2 \Delta u_v - \Delta M), \quad (3)$$

$$\text{где } k_1 = \frac{u_{v0} e_d}{Z} \cos(\theta_{p0} + \psi_a);$$

$$k_2 = \frac{e_d}{Z} \sin(\theta_{p0} + \psi_a).$$

При частотном управлении СД по закону $\frac{u_v}{v} = \text{const}$ связь между напряжением u_v и частотой v при малых отклонениях переменных определяется как

$$\Delta u_v = k_3 \Delta v, \quad (4)$$

где k_3 – коэффициент пропорциональности.

Полагая безынерционными измерительные устройства угла θ_p и угловой скорости ротора двигателя, учитывая, что $\Delta v_p = -p\theta_p$, записываем

$$\left. \begin{aligned} \Delta v_{oc1} &= k_4 \Delta\theta_p, \\ \Delta v_{oc2} &= k_5 \Delta v_p = -k_5 p \Delta\theta_p, \end{aligned} \right\} (5)$$

где k_4 , k_5 – коэффициенты усиления измерительных устройств.

Структурная схема системы управления СД с постоянными магнитами при малых отклонениях переменных с учетом (5) имеет вид (рис.2-а).

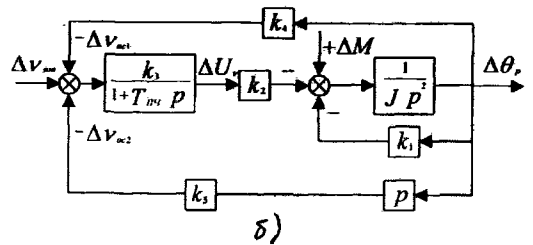
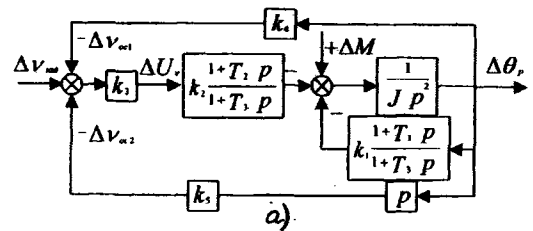


Рис. 2

Так как двойное интегрирующее звено $\frac{1}{Jp^2}$ охватывается отрицательной обратной связью оператором $k_1 \frac{1+T_1p}{1+T_3p}$, то эффект саморегулирования всегда существует независимо от закона частотного управления двигателем.

Динамика системы ТПЧ-СД в соответствии со структурой рис.2-а описывается уравнением третьего порядка.

Система устойчива, если

$$\left. \begin{aligned} T_1 - T_3 &> 0, \\ T_2 - T_3 &> 0. \end{aligned} \right\} (6)$$

При частотном управлении СД с постоянными магнитами при отсутствии обмотки возбуждения значения параметров $T_1 = 0$, $T_2 = 0$, $T_3 = 0$ и структура системы автоматического частотного управления

$$W_c(p) = \frac{\Delta\theta_p(p)}{\Delta v_{зад}(p)} = \frac{k_2 k_3}{(1 + T_{пч}p)(Jp^2 + k_1) + k_2 k_3 (k_4 + k_5 p)} \quad (7)$$

Характеристическое уравнение системы:

$$a_0 p^3 + a_1 p^2 + a_2 p + a_3 = 0, \quad (8)$$

где $a_0 = JT_{пч}$; $a_1 = J$; $a_2 = k_1 T_{пч} + k_2 k_3 k_5$; $a_3 = k_1 + k_2 k_3 k_4$.

Устойчивость системы по алгебраическому критерию оценивается неравенствами:

$$a_i > 0; a_1 a_2 - a_0 a_3 > 0.$$

С учетом выражений (8) имеем

$$\left. \begin{aligned} J(k_1 T_{пч} + k_2 k_3 k_5) - JT_{пч}(k_1 + k_2 k_3 k_4) > 0, \\ Jk_2 k_3 (k_5 - T_{пч} k_4) > 0. \end{aligned} \right\} (9)$$

Значение $Jk_2 k_3 > 0$, поэтому для устойчивости системы необходимо:

$$(k_5 - T_{пч} k_4) > 0. \quad (10)$$

Из условия (10) следует, что чем больше коэффициент обратной связи k_5 по производной угла θ_p и чем меньше постоянная времени ТПЧ $T_{пч}$, тем с большим запасом выполняется условие устойчивости. В случае безынерционного ТПЧ (при $T_{пч} = 0$), условия устойчивости (10) выполняются всегда.

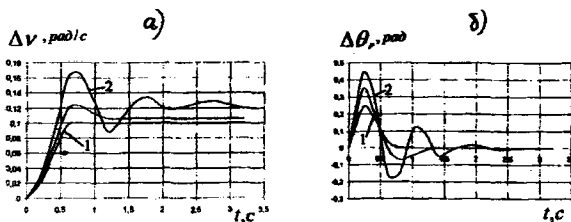


Рис. 3

На рис.3-а, б с помощью компьютерного моделирования структуры (при $T_{пч}=0,04$ с; $J=0,6$ кг·м²) (рис.2-б) изобра-

двигателя с учетом инерционности преобразователя частоты будет иметь вид, представленный на рис.2-б.

Передаточную функцию системы (рис.2-б) запишем в виде:

жены графики переходных процессов $\Delta v(t)$ и $\Delta\theta_p(t)$ при ступенчатом изменении $v_{зад}$ и различных коэффициентах усиления в цепях обратных связей: 1 – при k_{5max} и k_{4min} , 2 – при k_{5min} и k_{4max} .

Как видно из графиков на (рис.3), процессы в системе затухают быстрее всего при минимальных значениях k_4 и максимальных значениях k_5 .

ВЫВОДЫ

1. Рассмотрены колебательные процессы в автоматической системе управления приводом в экструдерно-формующей системе – самовозбуждение и самораскачивание и предложено математическое описание колебательных процессов в приводе данной системы, проведен анализ и определены условия их существования.

2. Установлено влияние обратных связей по углу θ_p и его производной на процессы самораскачивания автоматической системы управления приводом экструдерно-формующей системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горев А.А. Переходные процессы синхронных машин. – М.: Госэнергоиздат, 1950.
2. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. – М.: Высшая школа, 1978.
3. Петелин Д.П. Динамика синхронного привода поршневых компрессорных установок. – М.: Машиностроение, 1975.

Рекомендована кафедрой автоматики и промышленной электроники. Поступила 11.10.02.