

ОПТИМИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД С ПЕРЕМЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Рассмотрены методы стабилизации показателей качества электропривода с переменными параметрами. Обосновано применение эталонной модели. Рекомендуется корректирующее устройство форсирующего типа.

Оптимальная система, электрический привод, стабилизация, переменные параметры, робастное управление.

Проектирование систем управления электроприводами механизмов связано с учетом того, что в процессе их эксплуатации могут изменяться как внутренние параметры системы электропривода (постоянные времени и коэффициенты передачи отдельных звеньев), так и внешние воздействия (статические моменты нагрузки, колебания напряжения сети и т.д.). Кроме того, на качество управления влияют и неточности измерения управляемых координат электропривода. Это приводит к тому, что показатели качества электропривода искажаются, если применяется «жесткая» настройка классических регуляторов, устанавливаемых в прямой цепи системы управления конкретным электроприводом.

В общем случае электропривод описывается системой уравнений (1)

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= A(t)x(t) + B(t)u(t) + f(t); \\ y(t) &= Cx(t) + v(t), \end{aligned} \quad (1)$$

где $A(t)$, $B(t)$, C – матрицы соответственно системы, управления и наблюдения; $f(t)$ и $v(t)$ – возмущения и погрешности измерения.

В приведенной системе уравнений (1) матрица $A(t)$ зависит от параметров отдельных элементов и структуры электропривода. Это приводит к тому, что показатели качества электропривода искажаются, если применяется жесткая настройка классических регуляторов, установленных в прямой цепи системы управления конкретным электроприводом. Поэтому в конечном итоге требуется синтез матрицы $B(t)$, и, кроме того, необходима компенсация влияния на показатели качества внешних возмущающих воздействий $f(t)$.

Решением данной проблемы может служить введение эффективного механизма адаптации управлением электроприводом, позволяющего как изменять настройки классических регуляторов, так и обеспечивать стабильность его работы при всевозможных (внутренних и внешних) возмущающих воздействиях. Возможно совместное использование как классических регуляторов с жесткой настройкой параметров, рассматриваемых в работах [1, 2], так и современных методов адаптации с применением эталонных моделей, различных идентификаторов и наблюдателей, комбинированного управления [3, 4]. Другими словами, может быть достигнута инвариантность и робаст-

ность управления электроприводами производственных механизмов.

Для примера возьмем следящий электропривод с единичной обратной связью переменного тока с параметрами двигателя (4A180S4Y3) и преобразователя:

$$\begin{aligned} K_{пч} &= K_v \cdot K_n / R_\phi = 1,15 U_{дн} / U_y = 1,15 \cdot 380 / 10 = 43,7; \\ T_{пч} &= T_B + R_\phi C_\phi = 0,01 \text{ с}; \\ K_d &= \omega_0 / U_{дн} = 157 / 380 = 0,4131; \\ \beta &= 2 \cdot M_k / (\omega_0 \cdot s_k) = 2 \cdot M_n \cdot m_k / (\omega_0 \cdot s_k) = \\ &= 2 \cdot 149,91 \cdot 2,3 / 157 \cdot 0,14 = 29,91; \\ T_3 &= 1 / (\omega_0 \cdot s_k) = 1 / (157 \cdot 0,14) = 0,0455; J = 0,19. \end{aligned}$$

Настроим контур скорости с ПИД-регулятором на модульный оптимум для одноконтурной системы. Передаточная функция обобщенного двигателя по управляющему воздействию имеет вид

$$W_d(p) = \frac{K_d}{(JT_3 / \beta)p^2 + (J / \beta)p + 1}$$

Примем передаточную функцию идеального ПИД-регулятора в виде

$$W_{ПИД}(p) = \frac{(JT_3 / \beta)p^2 + (J / \beta)p + 1}{T_{ИР}}$$

Тогда передаточная функция разомкнутой системы электропривода, настроенного на модульный оптимум, примет вид

$$W_{MP} = \frac{1}{2T_{пч} p (T_{пч} p + 1)} = \frac{1}{0,02 p (0,01 p + 1)}. \quad (2)$$

Структурная схема одноконтурного электропривода с «жесткой» настройкой (2) представлена на рис. 1.

Исследования влияния различных изменений переменных параметров в объекте управления (двигатель, преобразователь) и внешних воздействий на переходные процессы велись с помощью компьютерного моделирования в пакете Simulink. Они показали, что показатели качества управления значительно отличаются от требуемых, вплоть до потери устойчивости работы системы управления электроприводом.

Зная значение момента нагрузки M_c (рис. 1), полученного косвенным методом, возможно построение инвариантной системы, т.е. использование комбинированного управления. На рис. 2 представлена структурная схема для косвенного определения статической нагрузки M_c .

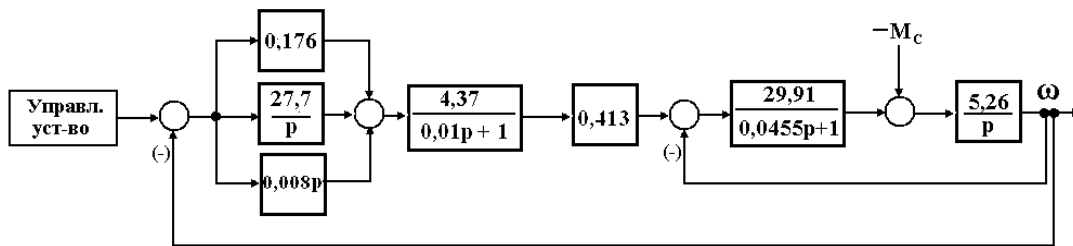


Рис. 1. Электропривод с ПИД-регулятором

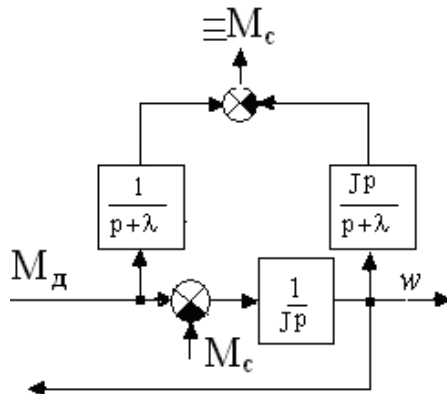


Рис. 2. Косвенный измеритель нагрузки

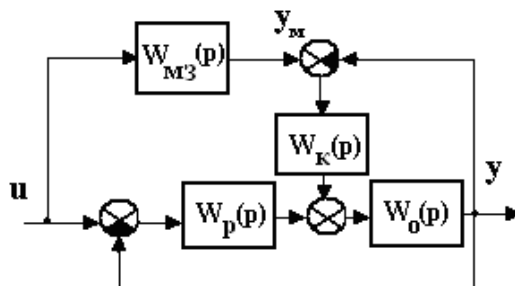


Рис. 3. Структурная схема с эталонной моделью

При аппаратной и программной реализации идентификатора M_c в схеме применено реальное дифференцирование с временным лагом (запаздыванием) λ . А если датчики тока и скорости имеют фильтры, то в идентификаторе следует учесть их постоянные времени. В этом случае сигнал, пропорциональный M_c , подается через компенсационный канал на вход преобразователя частоты электропривода. Исследование комбинированного управления для компенсации влияния изменения статического момента сопротивления на провалы скорости показало, что они существенно снижаются. Однако полной инвариантности не достигается. Кроме того, заметное влияние на переходные процессы по возмущению M_c оказывает приведенный переменный момент инерции механизма. Требуется дополнительный сигнал коррекции, компенсирующий это отрицательное влияние.

Возможно применение адаптивных и самонастраивающихся систем управления, в которых довольно часто используются эталонные модели [1]: модель замкнутой или разомкнутой системы; модель части системы, в которой находятся нестационарные параметры; задаются условия, являющиеся эталоном

для конкретных режимов работы нестационарной системы. В некоторых случаях модель может быть задана и не в явной форме. Известно также применение адаптивных систем с эталонными моделями, когда адаптация достигается с использованием поискового сигнала, но это для большинства систем неприемлемо.

На рис. 3 представлена в укрупненном виде простейшая структурная схема такой системы. Структурная схема приведена к системе с единичной обратной связью.

Сигнал y_m на выходе эталонной модели сравнивается с сигналом y на выходе системы. Эталонная модель замкнутой системы (3)

$$W_{M3} = \frac{1}{2T_{пч}^2 p^2 + 2T_{пч} p + 1} = \frac{1}{0.0002 p^2 + 0.02 p + 1} \quad (3)$$

может быть реализована как аппаратно, так и программно. При этом целесообразно в регуляторе $W_p(p)$ использовать интегральную составляющую, чтобы в установившемся режиме был реализован астатизм минимум первого порядка, позволяющий получить статическую ошибку, равную нулю. Объект управления включает в себя преобразователь частоты и асинхронный двигатель

$$W_o(p) = \frac{K_{ПЧ}}{T_{ПЧ}p+1} \cdot \frac{K_D}{(JT_э/\beta)p^2 + (J/\beta)p+1} \quad (4)$$

Корректирующее устройство $W_K(p)$ вырабатывает сигнал, пропорциональный разности $(y - y_m)$, который целесообразно добавить в систему управления. В [2] такая настройка получила название *сигнальной*. После получения передаточной функции замкнутой системы рис. 3.

$$W(p) = \frac{y(p)}{u(p)} = \frac{W_F(p)W_{ПЧ}(p)W_D(p) + W_K(p)W_{ПЧ}(p)W_D(p)W_{МЗ}(p)}{1 + W_F(p)W_{ПЧ}(p)W_D(p) + W_K(p)W_{ПЧ}(p)W_D(p)} = \frac{W_{МЗ}(p) + W_K(p)W_{ПЧ}(p)W_D(p)W_{МЗ}(p)}{1 + W_{МЗ}(p) + W_K(p)W_{ПЧ}(p)W_D(p)}, \quad (5)$$

где $W_{МЗ}(p)=W_F(p)$ $W_{ПЧ}(p)$ $W_D(p)$ – передаточная функция эталонной модели разомкнутой системы (2).

В [2] рекомендуется принять $W_K(p)=K_K$ и $K_K \rightarrow \infty$. Тогда передаточная функция системы $W(p)$ будет приближенно равняться передаточной функции модели $W_M(p)$ независимо от изменения $W_o(p)$. С этим утверждением стоит не согласиться.

Раскроем передаточную функцию (5), получим

$$W(p) = \frac{((J/\beta)p^2 + (J/\beta)p+1) + W_{МЗ}(p)K_K K_D 2T_{ПЧ}p}{(T_{ПЧ}p+1)((J/\beta)p^2 + (J/\beta)p+1) + W_K(p)K_{ПЧ}K_D 2T_{ПЧ}p}. \quad (6)$$

В зависимости от соотношения параметров реальных электроприводов можно предположить, что $W_K(p)$ должна иметь более сложную зависимость. Дальнейшие исследования показали, что для минимизации динамической ошибки в качестве корректирующего устройства $W_K(p)$ целесообразно использовать реальное форсирующее звено

$$W_K(p) = \frac{K_K(T_K p+1)}{(T_\mu p+1)}. \quad (7)$$

Параметры корректирующего устройства для приведенного выше электропривода в зависимости от требуемого быстродействия и соотношения компенсированных постоянных времени в объекте управления находятся в диапазоне: $K_K=(500-5000)$ и $T_K=(0.01-0.05)$. Постоянная времени T_μ должна быть для практической реализации на порядок меньше наименьшей постоянной времени электропривода. Такой вывод исходит из того, что кроме отклонения от задающего управляющего воздействия, необходимо использовать и ее первую производную (7). Наличие постоянной времени T_μ необходимо для практической реализации как аппаратной, так и программной требуемого корректирующего звена.

В качестве обоснованного анализа применения эталонных моделей совместно с сигнальной оптимизацией для получения требуемых показателей качества электроприводов целесообразно не только использовать само отклонение K_K , но и скорость этого отклонения (7). Использование же производных более высокого порядка не рекомендуется вследствие снижения помехозащищенности системы электропривода [3]. Моделирование также показало, что стабилизация параметров качества не нарушается, если имеется дрейф параметров и в двигателе и в преобразователе.

Литература

1. Белов, М. П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: учеб. пособие для вузов / М. П. Белов, В. А. Новиков, Л. Н. Рассудов. – Москва: Академия, 2004. – 576 с.
2. Башарин, А. В. Управление электроприводами: учеб. пособие для вузов / А. В. Башарин, В. А. Новиков, Г. Г. Соколовский. – Ленинград: Энергоиздат, 1982. – 392 с.
3. Бакаев, В. Н. Моделирование систем: учеб. пособие / В. Н. Бакаев. – Вологда: ВоГТУ, 2013. – 159 с.
4. Бакаев, В. Н. Теория автоматического управления: учеб. пособие / В. Н. Бакаев. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Вологда: ВоГТУ, 2004. – 190 с.

V.N. Bakaev

OPTIMISED MULTIVARIABLE ELECTRODRIVE

This article describes the methods of stabilization of multivariable electrodrive work. The application of the standard model is grounded. Correcting device accelerating type is recommended.

The optimal system, the electrodrive, stabilization, multivariability, robust control.