

является наиболее ярко. В частности, исследовано влияние резистора, включенного в цепь моста возвратного тока.

На рис. 1 показаны временные диаграммы скорости и момента для процессов частотного пуска и торможения под нагрузкой. На рис. 1 обозначено: ω_s — частота статора, $M_{\Sigma 1}$, ω_{r1} — электромагнитный момент и угловая скорость ротора при сопротивлении в цепи возвратного моста $R_0 = 0$, $M_{\Sigma 2}$, ω_{r2} — то же при $R_0 = 0,075 \text{ Ом}$.

Проведенные расчеты показали, что сопротивление в цепи возвратных диодов оказывает существенное влияние на процессы пуска и торможения. При увеличении R_0 уменьшается колебательность момента двигателя и частоты его вращения. Это проявляется в наибольшей степени при частотном торможении, когда в R_0 происходит гашение части возвращаемой в фильтр энергии, что благоприятно сказывается на работе фильтра.

При расчетах использованы следующие параметры: $M_c = 100 \text{ Н}\cdot\text{м}$, момент инерции на валу $I = 0,3 \text{ кг}\cdot\text{м}$, каталожные данные Т-образной схемы замещения АД 4А180М4УЗ номинальной мощностью $P = 30 \text{ кВт}$: активное сопротивление статора $R_s = 0,132 \text{ Ом}$, активное сопротивление ротора $R_r = 0,069 \text{ Ом}$, полная индуктивность статора $L_s = 0,045 \text{ Гн}$, то же для ротора $L_r = 0,04563 \text{ Гн}$, индуктивность от главного магнитного потока $L_m = 0,04423 \text{ Гн}$. Для расчетов были использованы паспортные данные серийно выпускаемого преобразователя ЭКТ-63.

ЛИТЕРАТУРА

1. Структуры систем управления автоматизированными электроприводами / О.П.Ильин, В.И.Панасюк, Ю.Н.Петренко и др. — Минск: Наука и техника, 1978. — 367 с. 2. И л ь и н О.П., П е т р е н к о Ю.Н., П а м ф и л о в В.Н. Построение цифровой модели частотного электропривода. — Электротехническая промышленность. Электропривод, 1981, № 5, с. 1—4. 3. Ш у п Т, Решение инженерных задач на ЭВМ. — М.: Мир, 1982. — 235 с.

УДК 621.333.3

О.П.ИЛЬИН, канд.техн.наук,
О.А.ГОЛОВАЧ (ПО "Выч.техника")

СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ШИМ В ЦЕПИ СТАТОРА

1. Статические характеристики разомкнутой системы. Из гармонического анализа напряжения на выходе регулятора с симметричной ШИМ [1] известно выражение

$$U = U_m \sum_{i=1}^{\infty} \left\{ \frac{2ma}{\pi} \sin \omega t - A_i \sin(2mi-1)\omega t + A_i \sin(2mi+1)\omega t \right\}, \quad (1)$$

где $A_i = (-1)^i \frac{\sin 2mi\alpha}{i\pi}$; m — число импульсов на полупериоде; U — мгновенное значение фазного напряжения на выходе регулятора; U_m — амплитуда указанного напряжения; α — угол регулирования; $i = 1, 2, 3 \dots$. Действующее значение равно, как известно, корню квадратному из суммы квадратов действующих значений отдельных гармоник:

$$U_d = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{4m^2\alpha^2}{\pi^2} + \frac{2}{\pi^2} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{\sin^2 2mi\alpha}{i^2}}. \quad (2)$$

Сумму ряда в подкоренном выражении можно записать в замкнутом виде

$$\sum_{i=1}^{\infty} \frac{\sin^2 2mi\alpha}{i^2} = \frac{\pi - 2m\alpha}{2} 2m\alpha. \quad (3)$$

Подставив (3) в (2), получим

$$U_d = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{4m^2\alpha^2}{\pi^2} + \frac{2(\pi - 2m\alpha)m\alpha}{\pi^2}} \quad \text{или} \quad U_d = U_m \sqrt{\frac{m\alpha}{\pi}}.$$

Действующее значение напряжения первой гармоники можно определить из (1)

$$U_{d1} = \frac{2m\alpha U_m}{\pi \sqrt{2}} \quad \text{или} \quad U_{d1} = U_{дн} \frac{2m\alpha}{\pi}, \quad (4)$$

где $U_{дн}$ — действующее значение номинального синусоидального напряжения.

При питании асинхронного двигателя несинусоидальным напряжением вида (1) момент двигателя можно представить как сумму составляющих, образуемых отдельными гармониками:

$$M = M_1 + \sum_{i=1}^{\infty} (M_{2mi+1} - M_{2mi-1}).$$

Необходимо отметить следующее. Моменты, создаваемые высшими гармониками напряжения, малы, во-первых, вследствие малости действующего значения напряжения этих гармоник, во-вторых, близлежащие гармоники напряжения имеют равные амплитуды при любом угле регулирования, а значит, моменты от этих гармоник близки по значению ($S_{2mi+1} \approx S_{2mi-1} \approx 1$, где S_{2mi+1} , S_{2mi-1} — скольжения для высших гармоник) и противоположны по знаку, т.е. они частично компенсируются. Поэтому можно принять с большой достоверностью, что момент двигателя определяется моментом от первой гармоники напряжения, а так как момент пропорционален квадрату напряжения, то можно записать при $n = \text{const}$

$$\frac{M}{M_e} = \frac{U_d'^2}{U_{дн}^2} \quad \text{или} \quad M = M_e \frac{4m^2\alpha^2}{\pi^2}, \quad (5)$$

где M_e — момент двигателя на естественной механической характеристике при данной скорости n .

Таким образом, благодаря тому что действующее значение напряжения при ШИМ управлении определяется только углом регулирования и не зависит от нагрузки (скольжения), то построение статических характеристик разомкнутой системы значительно упрощается по сравнению, например, с фазовым управлением, где требуются трудоемкие построения зависимостей

$$U_{д1} = \bar{f}(\alpha, S), \quad \text{где } S \text{ — скольжение.}$$

В то же время точность возрастает, так как суммарный момент высших гармоник близок к нулю.

Обратимся теперь к построению скоростных характеристик, которые позволяют судить о нагреве двигателя в различных режимах. Из теории электропривода известно, что при $n = \text{const}$

$$\frac{U_{д1}}{U_{дн}} = \frac{I_{д1}}{I_{де}},$$

где $I_{д1}$ — действующее значение тока первой гармоники; $I_{де}$ — действующее значение тока при $U_{д1} = U_{дн}$. Откуда, учитывая (4), можно записать

$$I_{д1} = \frac{2m\alpha}{\pi} I_{де}. \quad (6)$$

Таким образом, для построения скоростных характеристик достаточно иметь зависимость $I_{ге} = f(S)$.

2. Статические характеристики системы с обратной связью (ОС) по скорости. Функциональная схема системы изображена на рис. 1. Установим вначале связь между сигналом управления U_y и углом регулирования α . Из рис. 2, где $U_{о1}$ — опорное напряжение, $U_{y \max}$ — напряжение управления, соответствующее $\alpha = 0$, можно записать

$$\frac{2m\alpha}{\pi} = \frac{U_{y \max} - U_y}{U_{y \max}}$$

или

$$U_y = U_{y \max} - \frac{2m\alpha}{\pi} U_{y \max}. \quad (7)$$

Предположим, необходимо получить статическую характеристику привода, проходящую через точки А и В (рис. 3) с заданным перепадом скорости $\Delta n = n_2 - n_1$ при отклонении момента нагрузки, где n_2 — скорость АД на желаемой механической характеристике при минимальном угле регулирования α_{\min} , соответствующем минимальной нагрузке; n_1 — то же, при работе на естественной характеристике.

Задача состоит в определении коэффициента ОС по скорости λ , коэффициента усиления промежуточного усилителя K_y , а также

напряжения задания U_3 . Угол регулирования α_{\min} можно принять равным $0,1\pi/m$, что соответствует $U_{д1} = 0,2U_{дн}$, так как дальнейшее уменьшение $U_{д1}$ не имеет смысла ввиду малости момента, развиваемого двигателем. Согласно рис. 1,

$$U_y = K_y(U_3 - \lambda n). \quad (8)$$

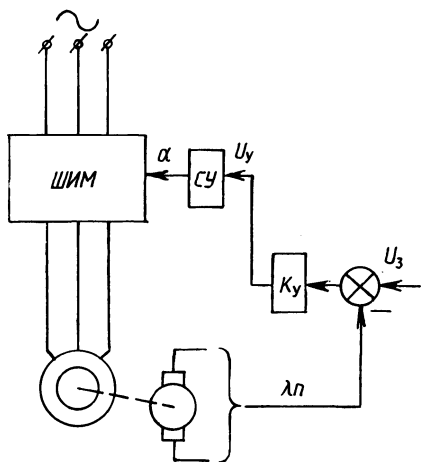


Рис. 1. Функциональная схема электропривода с отрицательной ОС по скорости.

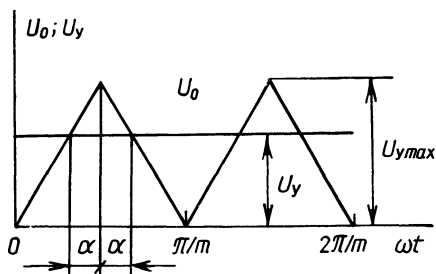


Рис. 2. Диаграмма формирования управляющих импульсов.

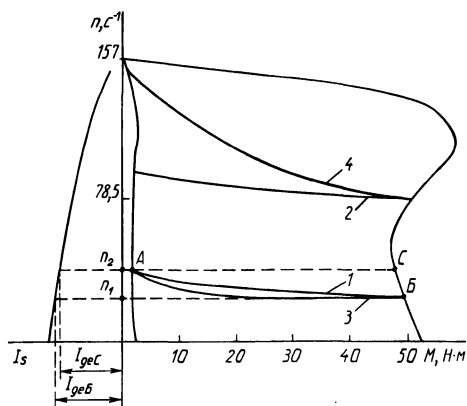


Рис. 3. Статические характеристики асинхронного электропривода с ШИМ в цепи статора: 1, 2 — система с ОС по скорости; 3, 4 — система с ОС по току.

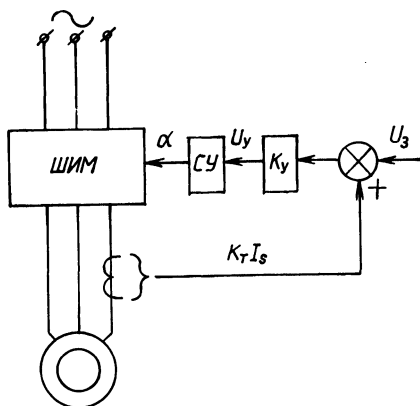


Рис. 4. Функциональная схема электропривода с положительной ОС по току.

Подставив (7) в (8), получим

$$K_y(U_3 - \lambda n) = U_{y \max} - \frac{2m\alpha}{\pi} U_{y \max} \quad (9)$$

при $n = \bar{n}_1$, $\alpha = \pi/2m$ и (9) можно записать

$$U_3 - \lambda n_1 = 0; \quad (10)$$

при $n = n_2$, $\alpha = 0,1\pi/m$,

$$K_y(U_3 - \lambda n_2) = 0,8U_{y \max}. \quad (11)$$

Решая совместно (10) и (11), получим

$$K_y = \frac{-0,8U_{y \max}}{\lambda(n_2 - n_1)}; \quad U_3 = \lambda n_1.$$

Для построения статических характеристик в (9) подставляем α , выраженное из (5), и решаем полученное выражение относительно M , в итоге получим

$$M = M_e \left[\frac{U_{y \max} - K_y(U_3 - \lambda n)}{U_{y \max}} \right]^2. \quad (12)$$

Таким образом, выражение (12) позволяет непосредственно строить механические характеристики системы с отрицательной ОС по скорости.

3. Статические характеристики системы с ОС по току. Предположим, необходимо обеспечить работу привода с рассмотренной выше желаемой статической характеристикой в системе с положительной ОС по току. Функциональная схема системы изображена на рис. 4. Задача заключается в определении требуемого коэффициента ОС по току K_T , коэффициента усиления K_y , а также напряжения задания U_3 . Предполагается известной зависимость $I_{де} = f(n)$, т.е. известны значения $I_{деБ}$; $I_{деС}$ (рис. 3), а значение $I_{д1А}$ при $\alpha = 0,1\pi/m$ определится согласно (6) $I_{д1А} = 0,2I_{деС}$. Согласно рис. 4, можно записать

$$(U_3 + K_T I_{д1}) K_y = U_{y \max} - \frac{2m\alpha}{\pi} U_{y \max} \quad (13)$$

или

$$\begin{cases} (U_3 + K_T I_{д1А}) K_y = 0,8U_{y \max}, \\ (U_3 + K_T I_{деБ}) K_y = 0. \end{cases} \quad (14)$$

Решая систему (14), получаем необходимые выражения

$$K_y = \frac{0,8U_{y \max}}{K_T(I_{деБ} - I_{д1А})}; \quad U_3 = -K_T I_{деБ}.$$

Для построения статических характеристик запишем (13) с учетом (6) и (5)

$$U_3 K_y + K_y K_T \sqrt{\frac{M}{M_e}} I_{де} = U_{y \max} - \sqrt{\frac{M}{M_e}} U_{y \max} .$$

Решив это выражение относительно M , получим

$$M = M_e \left[\frac{U_{y \max} - U_3 K_y}{U_{y \max} + K_T K_y I_{де}} \right]^2 \quad (15)$$

Выражение (15) позволяет непосредственно строить механические характеристики асинхронного электропривода с положительной ОС по току. По предложенной методике рассчитаны статические характеристики электропривода с отрицательной ОС по скорости и с положительной по току (рис. 3) для двигателя 4А 100L4УЗ. Причем коэффициенты ОС рассчитаны по желаемой характеристике АБ. В системе с ОС по скорости жесткость характеристик остается постоянной во всем диапазоне регулирования. Однако организация обратной связи по скорости обычно вызывает затруднения. Проще в реализации ОС по току. При этом можно получить любую жесткость характеристики в расчетной точке, однако при изменении напряжения задания жесткость меняется, можно даже получить отрицательный наклон характеристик. Таким образом, для поддержания требуемой жесткости характеристик во всем диапазоне регулирования необходим переменный коэффициент передачи по току. Это существенный недостаток, однако такие системы могут найти применение в механизмах со ступенчатым регулированием скорости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ильин О.П., Беляев В.П., Головач О.А. Анализ гармонического состава напряжения трехфазной ШИМ переменного тока. — В кн.: Научные и прикладные проблемы энергетики. Минск: Выш. шк., 1981, вып. 8, с. 106—111.

УДК 533.73

В.Н.ПАПКОВИЧ, Ю.А.МАЛЕВИЧ, канд. техн.наук,
С.А.ФЕДЮШИН, канд.техн.наук, Ж.М.КУКЕВИЧ (БПИ)

ОБ ОДНОМ РЕШЕНИИ НЕЛИНЕЙНОГО УРАВНЕНИЯ ДИФФУЗИИ

Известно, что многие задачи конформационной статистики формально эквивалентны задачам диффузии в многомерном пространстве. Постановка задачи о релаксации макромолекул, описанная в [1], привела к уравнению