

ПЕРЕДАТОЧНЫЕ ФУНКЦИИ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПРИ ДВУХКАНАЛЬНОМ УПРАВЛЕНИИ

В. А. БЕЙНАРОВИЧ, А. И. САПОЖНИКОВ, В. К. СМИРНОВ,
В. М. СТЕПАНОВ

(Представлена научно-техническим семинаром НИИ АЭМ)

Исследованию систем автоматического управления с двигателями постоянного тока при двухканальном управлении посвящено большое число работ, например [2, 3, 4]. Однако в этих работах не учтено демпфирующее влияние вихревых токов в массивных частях магнитопроводов электродвигателей, которые оказывают существенное влияние на протекание переходных процессов в быстродействующих приводах с двигателями средней и большой мощности. Некоторые авторы учитывают действие вихревых токов введением электромагнитной постоянной времени контура вихревых токов T_K , определяемой по формуле Рюденберга [3], которая дает значительно завышенные значения T_K . Наиболее точный динамический расчет системы получается при учете действия контура вихревых токов по методике Жица [5]. Однако при использовании методики [5] значительно усложняется выражение передаточной функции двигателя, что затрудняет проведение расчетов.

В настоящей работе выводится передаточная функция двигателя при управлении по цепи обмотки возбуждения. Уравнения обмотки возбуждения составлены на основании схемы замещения (рис. 1) электромагнитной цепи обмотки возбуждения с учетом вихревых токов и потоков рассеяния [4]. В этой схеме потоки рассеяния обмотки возбуждения учитываются индуктивностью $L_{св}$, а эквивалентный контур вихревых токов, приведенный к обмотке возбуждения, учитывается сопротивлением $r_{кв}$, которое целесообразно вычислять по методике [1].

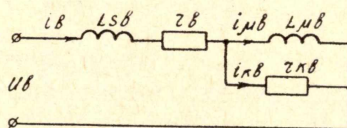


Рис. 1. Электромагнитная цепь обмотки возбуждения.

При составлении уравнений двигателя с учетом вихревых токов в массивных частях магнитопровода, потоков рассеяния и индуктивности цепи якоря были приняты следующие допущения:

характеристики линеаризуются в области малых отклонений от состояния установившегося режима работы;

индуктивности обмоток якоря и возбуждения не изменяются;

размагничивающее действие реакции якоря компенсируется потоком дополнительных полюсов;
 потоки рассеяния пропорциональны току возбуждения;
 размагничивающее действие вихревых токов пропорционально скорости изменения основного потока;
 взаимоиנדукция обмоток возбуждения, дополнительных полюсов и якоря не учитывается.

При этом уравнения электромагнитной цепи обмотки возбуждения можно записать в следующем виде (рис. 1):

$$U_B = i_B (r_B + pL_{SB}) + r_{KB} \cdot i_{KB}, \quad (1)$$

$$pL_{\mu B} \cdot i_{\mu B} = r_{KB} \cdot i_{KB}; \quad (2)$$

$$i_B = i_{KB} + i_{\mu B}, \quad (3)$$

где

U_B, i_B, r_B — напряжение, ток и сопротивление цепи возбуждения;

$i_{\mu B}$ — намагничивающий ток цепи возбуждения;

i_{KB} — ток эквивалентного контура вихревых токов, приведенный к обмотке возбуждения;

$L_{\mu B}, L_{SB}$ — индуктивность намагничивания и индуктивность рассеяния цепи возбуждения.

По уравнениям (1), (2) и (3) построена структурная схема цепи обмотки возбуждения, которая приведена на рис. 3, а. Передаточная функция для цепи возбуждения двигателя запишется:

$$W_i(p) = \frac{\Delta i_{\mu B}(p)}{\Delta U_B(p)} = \frac{1/r_B}{1 + pT_{SB} + pT_{\mu B} + pT_{KB} + p^2 T_{SB} \cdot T_{KB}}, \quad (4)$$

где

$$T_{SB} = \frac{L_{SB}}{r_B}; \quad T_{\mu B} = \frac{L_{\mu B}}{r_B}; \quad T_{KB} = \frac{L_{\mu B}}{r_{KB}}.$$

Схема замещения якорной цепи компенсированного двигателя постоянного тока параллельного возбуждения с учетом вихревых токов и потоков рассеяния приведена на рис. 2. В этой схеме потоки рассеяния

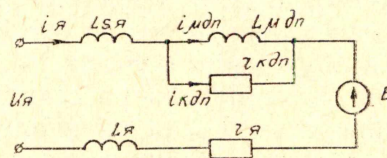


Рис. 2. Электромагнитная цепь якоря двигателя.

учитываются индуктивностью $L_{\mu\alpha}$, а эквивалентный контур вихревых токов учитывается сопротивлением, определяемым аналогично сопротивлению r_{KB} . Схема замещения якорной цепи описывается следующими уравнениями:

$$U_{\alpha} = i_{\alpha} [r_{\alpha\alpha} + p(L_{\mu\alpha} + L_{\alpha})] + i_{\kappa\delta\pi} \cdot r_{\kappa\delta\pi} - E; \quad (5)$$

$$pL_{\mu\delta\pi} \cdot i_{\mu\delta\pi} = i_{\kappa\delta\pi} \cdot r_{\kappa\delta\pi}; \quad (6)$$

$$i_{\alpha} = i_{\kappa\delta\pi} + i_{\mu\delta\pi}, \quad (7)$$

где

$U_{\alpha}, i_{\alpha}, r_{\alpha\alpha}$ — напряжение питания, ток и суммарное сопротивление якорной цепи;

$i_{\mu\delta\pi}$ — намагничивающий ток дополнительных полюсов;

$I_{кдп}$ — ток эквивалентного контура вихревых токов;
 $L_{удп}$, $L_{я}$ — индуктивность намагничивания дополнительных полюсов и индуктивность якоря двигателя;
 E — э. д. с. вращения.

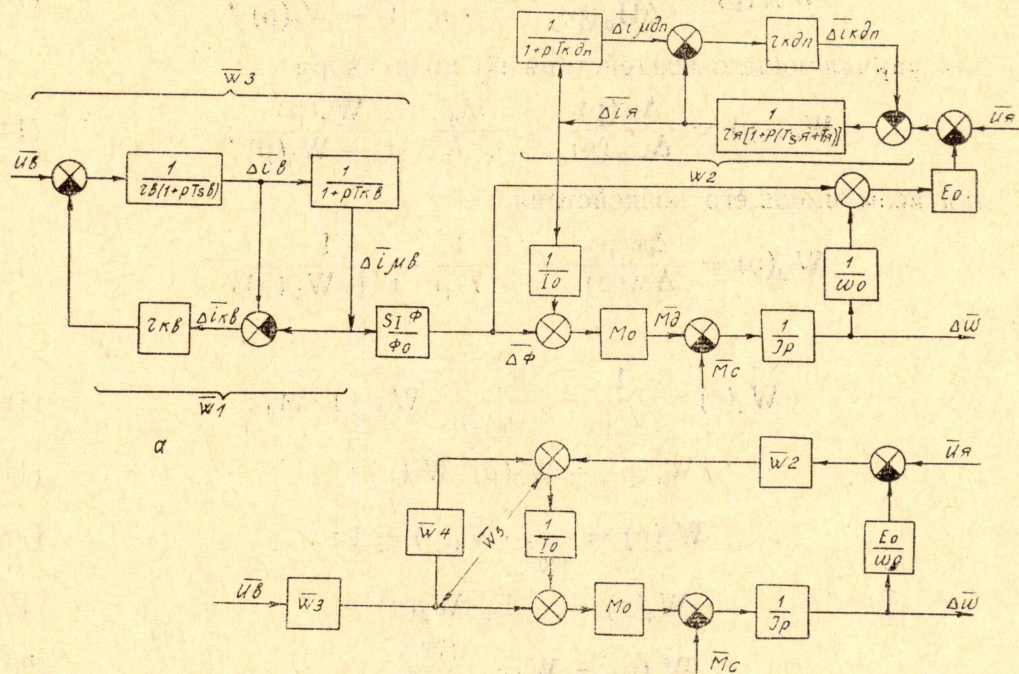


Рис. 3. Структурные схемы электродвигателя параллельного возбуждения при двухканальном управлении.

По уравнениям (5), (6), (7) построена структурная схема цепи якоря электродвигателя (рис. 3, а). После преобразования структурной схемы (рис. 3, а) к одноконтурной передаточная функция якорной цепи двигателя запишется в виде:

$$W_2(p) = \frac{\Delta i_{я}(p)}{\Delta U_{я}(p)} = \frac{1 + p \cdot T_{кдп}}{\Gamma_{я\Sigma} [1 + p(T_{с\text{я}} + T_{я})](1 + pT_{кдп}) + pT_{кдп} \cdot \Gamma_{кдп}}, \quad (8)$$

где

$$T_{с\text{я}} = \frac{L_{с\text{я}}}{\Gamma_{с\text{я}}}; \quad T_{я} = \frac{L_{я}}{\Gamma_{я\text{я}}}; \quad T_{кдп} = \frac{L_{удп}}{\Gamma_{кдп}}.$$

Запишем операторные уравнения в приращениях для потока $\Delta\Phi$, э. д. с. вращения ΔE , электромагнитного момента ΔM и скорости $\Delta\omega$ электродвигателя [2].

$$\Delta\Phi(p) = S^{\Phi}_I \cdot \Delta i_{уб}(p); \quad (9)$$

$$\Delta E(p) = E_0 \left[\frac{\Delta\Phi(p)}{\Phi_0} + \frac{\Delta\omega(p)}{\omega_0} \right]; \quad (10)$$

$$\Delta M(p) = M_0 \left[\frac{\Delta\Phi(p)}{\Phi_0} + \frac{\Delta i_{я}(p)}{I_0} \right]; \quad (11)$$

$$\Delta\omega(p) = \frac{1}{Jp} [\Delta M(p) - \Delta M_H(p)]. \quad (12)$$

По формулам (1)–(3), (5)–(7) и (9)–(11) на рис. 3, а построена структурная схема электродвигателя параллельного возбуждения при

двухканальном управлении. Произведя преобразования структурной схемы к одноконтурной, передаточная функция двигателя запишется:

для управляющего воздействия по цепи возбуждения

$$W_{\text{об}}(p) = \frac{\Delta\omega(p)}{\Delta U_{\text{в}}(p)} = \frac{M_0}{I \cdot p} \cdot \frac{W_6(p)}{1 + W_7(p)}; \quad (13)$$

для управляющего воздействия по цепи якоря

$$W_{\text{ая}}(p) = \frac{\Delta\omega(p)}{\Delta U_{\text{я}}(p)} = \frac{M_0}{I_c \cdot I_p} \cdot \frac{W_2(p)}{1 + W_7(p)}; \quad (14)$$

для возмущающего воздействия

$$W_{\text{м}}(p) = \frac{\Delta\omega(p)}{\Delta M(p)} = -\frac{1}{I \cdot p} \cdot \frac{1}{1 + W_7(p)}, \quad (15)$$

где

$$W_7(p) = \frac{1}{I \cdot p} - \frac{E_0}{\omega_0} \frac{1}{I_0} \cdot W_2(p) \cdot M_0; \quad (16)$$

$$W_6(p) = W_3(p) \cdot W_5(p); \quad (17)$$

$$W_5(p) = \frac{1}{I_0} \cdot W_4(p) + 1; \quad (18)$$

$$W_4(p) = -E_0 \cdot W_2(p); \quad (19)$$

$$W_3(p) = W_1 p \frac{S_{\Phi_1}}{\Phi_0}. \quad (20)$$

Такие передаточные функции двигателя постоянного тока целесообразно использовать для исследования систем автоматического управления, в которых цепь якоря и возбуждения (или одна из них) питается от источника с пульсирующим напряжением, например, от тиристорного преобразователя. При этом вихревые токи в массивных частях магнитопровода электродвигателя оказывают существенное влияние на электромагнитные переходные процессы. Влияние вихревых токов изменяет характер протекания переходных процессов. Ток в цепи обмотки возбуждения при ступенчатом изменении напряжения в начале процесса изменяется интенсивнее, а магнитный поток и э. д. с. двигателя изменяются медленнее. В машинах с шихтованными магнитопроводами вихревые токи почти отсутствуют и поток возбуждения изменяется идентично с током возбуждения [6].

При питании цепи обмотки возбуждения и цепи якоря двигателя от общего источника с напряжением U структурную схему двигателя постоянного тока (рис. 3, а) можно привести к виду рис. 4. В таком случае передаточные функции двигателя запишутся:

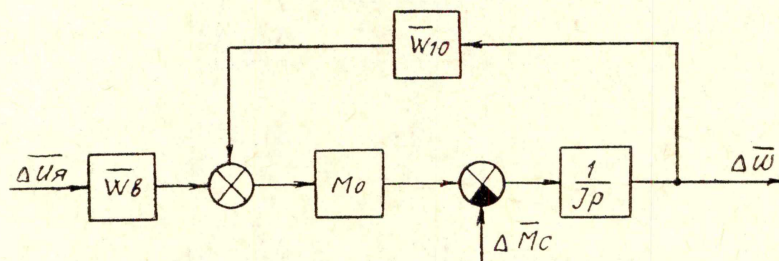


Рис. 4. Структурная схема электродвигателя параллельного возбуждения при питании цепи обмотки возбуждения и цепи якоря от общего источника.

по управляющему воздействию

$$W_y(p) = \frac{\Delta\omega(p)}{\Delta U(p)} = \frac{W_8(p) \cdot M^0}{I \cdot p [1 - W_{10}(p)]}; \quad (21)$$

по возмущающему воздействию

$$W_M(p) = \frac{\Delta\omega(p)}{\Delta M(p)} = \frac{1}{I \cdot p} \cdot \frac{1}{1 - W_{10}(p)}, \quad (22)$$

где

$$W_{10}(p) = \frac{M_0}{I \cdot p} \cdot W_9(p); \quad (23)$$

$$W_9(p) = \frac{1}{I_0} \cdot W_2(p) - \frac{E_0}{\omega_0}; \quad (24)$$

$$W_8(p) = \frac{1}{I_0} \cdot W_2(p) + W_4(p). \quad (25)$$

Приведенные передаточные функции позволяют исследовать системы электропривода с двигателями постоянного тока с учетом вихревых токов и потоков рассеяния при управлении по цепи возбуждения, по цепи якоря и управлении при совместном питании цепей возбуждения и якоря от общего источника, а также исследовать влияние возмущения по величине момента нагрузки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. А. Карпов. Метод учета вихревых токов при расчете переходных процессов. Доклады НТ конференции по итогам научно-исследовательских работ за 1966—67 гг. Секция электрификации и автоматизации промышленности и транспорта. Подсекция электрического транспорта. Труды МЭИ, М., 1967.
2. А. С. Шаталов. Структурные методы в теории управления и электроавтоматики. М.-Л., Госэнергоиздат, 1962.
3. Е. Д. Лебедев, В. Е. Неймарк, М. Я. Пистрак, О. В. Слежановский. Управление вентильными электроприводами постоянного тока. М., «Энергия», 1970.
4. Ю. А. Борцов, Г. В. Суворов. Методы исследования динамики сложных систем электропривода. М.-Л., «Энергия», 1966.
5. М. З. Жиц. Анализ переходных процессов в машинах постоянного тока. «Электротехника», 1965, № 9.
6. В. И. Архангельский. Системы реверсивных электроприводов. Киев, «Техника», 1972.