

УДК 621.313.292

И.С.Федосова, Д.П. Киселёв, О.А. Киселёва
**СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ БЕСКОНТАКТНОГО ДВИГАТЕЛЯ
ПОСТОЯННОГО ТОКА ПРИ ФОРМИРОВАНИИ БАЗОВОГО
ВЕКТОРА**

Воронежский государственный технический университет

В работе проводятся исследования процессов по схемам замещения бесконтактного двигателя постоянного тока при формировании базового вектора. Рассматриваются системы управления электроприводов, как с датчиками положения ротора, так и с использованием наблюдателей состояния. Получены уравнения составляющих токов, протекающих в обмотках статора, в виде многофункциональной зависимости от параметров обмотки и начальных состояний системы.

Ключевые слова: базовый вектор, схема замещения, бесконтактный двигатель постоянного тока.

Электропривода с бесконтактными двигателями постоянного тока (БДПТ) при импульсном управлении можно проектировать как с датчиками положения ротора (ДПР), так и без них, используя наблюдатели состояния (НС) [1]. В любом случае при формировании первого импульса возникают проблемы, связанные с определением пространственного положения ротора. В электроприводах с ДПР задача ограничивается наличием чувствительных элементов, обеспечивающих информацию о положении ротора дискретно, через определенный угол φ_c [2]. Рассмотрим два варианта для сигнального угла φ_c :

- положение ротора в одном из $m \cdot p$ секторов $\varphi_c = \frac{2\pi}{m \cdot p}$,
где m - число фаз, p – число пар полюсов;
- положение ротора в момент включения не определено в системе управления с НС, тогда $\varphi_c = 2\pi$.

Момент троганья определим из условия $\frac{d\omega}{dt} > 0$. Для обеспечения $\frac{d\omega}{dt} > 0$ необходимо учитывать, что могут возникнуть ограничения, так как электромагнитный момент является функцией угла θ между полем ротора и статора

$$\mu_{эм}(t, \theta) = C_M \cdot i_1(t) \cdot \sin \theta, \quad (1)$$

$$\text{а } i_1(t) \leq i_{\max}.$$

Значит, за время импульса максимальный момент будет равен при $\theta = 90^\circ$:

$$\mu_{эм}(T_H, \theta) = C_M \cdot i_{\max} \cdot \sin \theta, \quad (2)$$

откуда:

$$C_M \cdot i_{\max} \cdot \sin \theta - \mu_H \geq 0. \quad (3)$$

Условие (3) может не выполняться для первого импульса, в связи с тем, что угол между полем ротора и статора θ может изменяться в большом диапазоне.

В установившемся режиме, когда частота вращения не равна нулю, схема замещения имеет вид, представленный на рис.1.

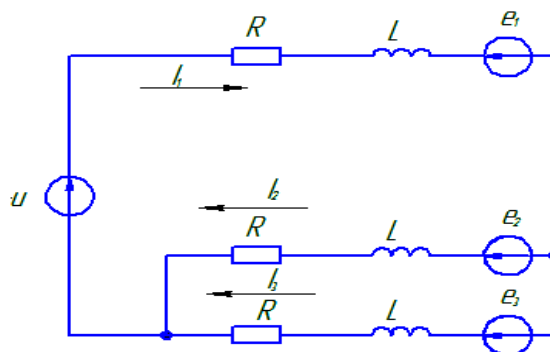


Рис.1 – Схема замещения БДПТ в установившемся режиме при подключении импульса напряжения

В преобразователях частоты, используемых для управления БДПТ векторными методами, диапазон частот лежит в широких пределах, например, от 2 кГц до 20 кГц. Значит, период широтно-импульсной модуляции лежит в пределах от $0,5 \cdot 10^{-3}$ до $0,5 \cdot 10^{-4}$ с. Длительность импульса меньше периода, а это значит, что за время существования импульса ротор может пройти угол менее градуса. Погрешность расчета в этом случае будет невелика (не более 0,01%), если принять ЭДС постоянной и равной:

$$e_1 = C_e \cdot \omega \cdot \sin \theta, \quad (4)$$

$$e_2 = C_e \cdot \omega \cdot \sin(\theta - 120^\circ), \quad (5)$$

$$e_2 = C_e \cdot \omega \cdot \sin(\theta + 120^\circ) \quad (6)$$

на время существования импульса для схемы замещения, представленной на рис.1 или схемы замещения для паузы, представленной на рис.2.

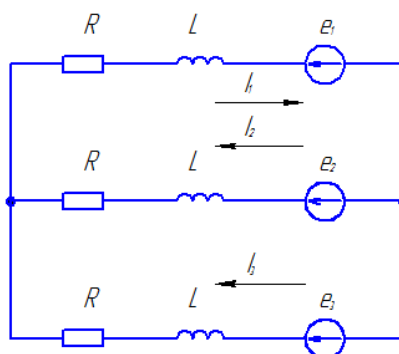


Рис. 2 – Схема замещения БДПТ в установившемся режиме в режиме паузы

Для БДПТ выполняется условие:

$$e_1 + e_2 + e_3 = 0, \quad (7)$$

поэтому схему, представленную на рис.2, можно рассматривать как трехфазную симметричную, но с ненулевыми начальными условиями. Рассмотрим операторную схему замещения, представленную на рис. 3.

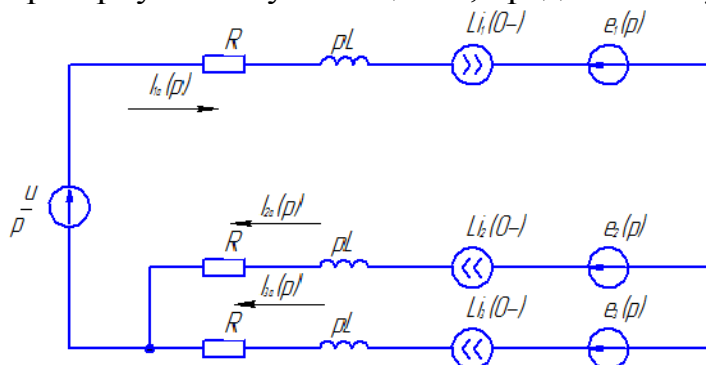


Рис. 3 – Операторная схема замещения БДПТ в установившемся режиме

Токи, протекающие в обмотках БДПТ можно представить как сумму токов, рассчитанных методом наложения:

$$I_1(p) = I_{1\bar{o}}(p) + I_{1\bar{e}}(p) + I_{1\bar{z}}(p), \quad (8)$$

$$I_2(p) = I_{2\bar{o}}(p) + I_{2\bar{e}}(p) + I_{2\bar{z}}(p), \quad (9)$$

$$I_3(p) = I_{3\bar{o}}(p) + I_{3\bar{e}}(p) + I_{3\bar{z}}(p). \quad (10)$$

Токи с индексами \bar{o} , \bar{e} и \bar{z} протекают в схемах, представленных на рис. 4 – 6.

Используя метод наложения для операторной схемы, изображенной на рис. 3, представим её в виде трёх схем. На рис. 4 изображена схема с источником сигнала равного напряжению питания.

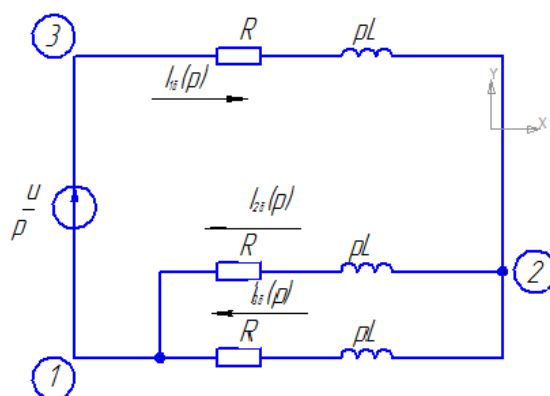


Рис.4 – Схема замещения при наличии только источника питания

Для схемы, представленной на рис. 4, решение в операторном виде

$$\varphi_3(p) - \varphi_1(p) = \frac{U}{p}, \quad (11)$$

$$I_{1\sigma}(p) = \frac{2U}{3p \cdot z(p)}, \quad (12)$$

$$I_{2\sigma}(p) = \frac{U}{3p \cdot z(p)}, \quad (13)$$

$$I_{3\sigma}(p) = \frac{U}{3p \cdot z(p)}, \quad (14)$$

где $z(p) = R + pL$.

На рис. 5 представлена схема, учитывающая ненулевые начальные условия.

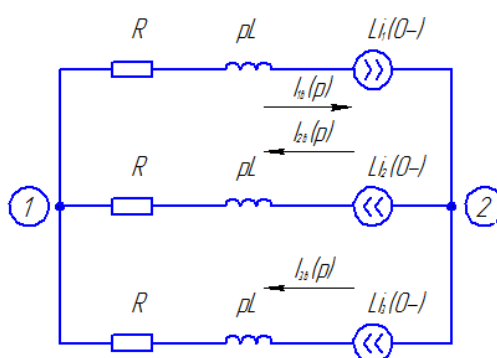


Рис.5 – Схема замещения БДПТ, учитывающая ненулевые начальные условия

Для схемы, представленной на рис. 5, решение в операторном виде:

$$Li_1(0-) + Li_2(0-) + Li_3(0-) = 0, \quad (15)$$

то $\varphi_2(p) = \varphi_1(p)$, значит токи:

$$I_{1_6}(p) = \frac{Li_1(0-)}{z(p)}; \quad (16)$$

$$I_{2_6}(p) = \frac{Li_2(0-)}{z(p)}; \quad (17)$$

$$I_{3_6}(p) = \frac{Li_3(0-)}{z(p)}. \quad (18)$$

На рис. 6 представлена схема с операторными источниками в виде наведенной ЭДС. Решение в операторном виде

$$e_1(p) + e_2(p) + e_3(p) = 0, \quad (19)$$

то $\varphi_1(p) = \varphi_2(p)$ и токи:

$$I_{1_2}(p) = -\frac{e_1(p)}{z(p)}, \quad (20)$$

$$I_{2_2}(p) = \frac{e_2(p)}{z(p)}, \quad (21)$$

$$I_{3_2}(p) = \frac{e_3(p)}{z(p)}. \quad (22)$$

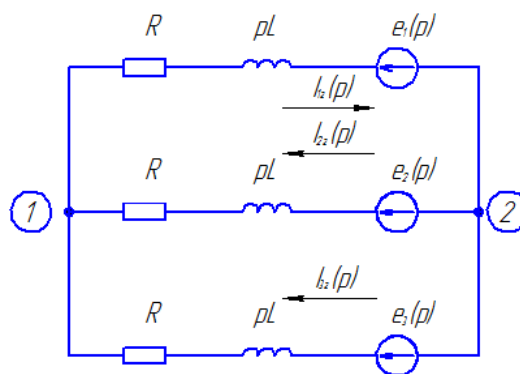


Рис. 6 – Схема замещения БДПТ с операторными источниками ЭДС

Для схемы, представленной на рис.4, где $\tau = -\frac{L}{R}$;

$$i_{1_6} = \frac{2U}{3R} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right), \quad (23)$$

$$i_{2_6} = \frac{U}{3R} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right); \quad (24)$$

$$i_{3\sigma} = \frac{U}{3R} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right). \quad (25)$$

Для схемы, представленной на рис.5:

$$i_{1\sigma} = i_1(0-) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad (26)$$

$$i_{2\sigma} = i_2(0-) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad (27)$$

$$i_{3\sigma} = i_3(0-) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}. \quad (28)$$

Для схемы, представленной на рис. 6, будем считать, что за время одного импульса ЭДС изменится на угол φ_H , и выполнится условие:

$$e_m \sin(\theta + \varphi_H) - e_m \sin \theta < \varepsilon, \quad (29)$$

где ε - определит допустимую ошибку расчета, то можно принять:

$$e_1(p) = \frac{e_m}{p} \sin \theta; \quad (30)$$

$$e_2(p) = \frac{e_m}{p} \sin(\theta - 120^\circ); \quad (31)$$

$$e_3(p) = \frac{e_m}{p} \sin(\theta + 120^\circ); \quad (32)$$

Токи, протекающие в схеме, представленной на рис. 6:

$$i_{1\sigma}(t) = \frac{e_m}{R} \sin \theta \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right); \quad (33)$$

$$i_{2\sigma}(t) = \frac{e_m}{R} \sin(\theta - 120^\circ) \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right); \quad (34)$$

$$i_{3\sigma}(t) = \frac{e_m}{R} \sin(\theta + 120^\circ) \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right). \quad (35)$$

Отсюда следует, что токи, протекающий в обмотке в момент формирования базового импульса, можно определить по оригиналам формул (8-10). Каждая составляющая тока может быть определена по формулам (23-25), (26-28) и (33–35). Как видно из этих соотношений базовый вектор будет являться функцией скалярных величин токов $i_j(t) = f(U, L, R, w, \theta)$, которые в свою очередь являются многофункциональной зависимостью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Киселёва О.А. Моделирование наблюдателя состояния в электромеханической системе на базе бесконтактного двигателя постоянного тока/ О.А. Киселёва, Д.П. Киселёв // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. Научный журнал - 2014.- №3(6) . <http://moit.vivt.ru/>
2. Киселёв Д.П. Моделирование адаптивного управления в электромеханической системе/ Д.П. Киселёв, О.А. Киселёва// Моделирование, оптимизация и информационные технологии. Научный журнал -2014.- №3(6) . <http://moit.vivt.ru/>

I.S. Fedosova, D.P. Kiselev, O.A. Kiseleva
**EQUIVALENT CIRCUIT CONTACTLESS DIRECT CURRENT
MOTOR IN FORMATION OF THE BASE VECTOR**

Voronezh State Technical University

In this paper we study the processes of equivalent circuits of contactless DC motor in the formation of the base vector. Systems of management of electric drives with rotor position sensor and using status observers. The equations of the components of the currents flowing in the stator windings in the form of multi-functional depending on winding parameters and initial conditions of the system.

Keywords: base vector, equivalent circuit, contactless DC motor.