

УДК 621.313.292

О.А. Киселёва, С.А. Винокуров, Т.В. Попова

ДИСКРЕТНЫЙ ЭКВИВАЛЕНТ ИДЕАЛЬНОМУ ВЕКТОРНОМУ УПРАВЛЕНИЮ БЕСКОНТАКТНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Воронежский государственный технический университет

В работе рассматривается вопрос возможности технической реализации идеального векторного управления бесконтактным двигателем постоянного тока. Векторное управление строится на формировании управляющих векторов напряжения и рабочих векторов токов. Управляющие вектора представляют собой чередующиеся или пульсирующие базовые вектора напряжения. Проводится анализ дискретного векторного эквивалента идеальному управлению бесконтактным двигателем постоянного тока. Рассмотрены особенности формирования поля статора за счет использования чередующихся и пульсирующих векторов напряжения. Проведена оценка эффективности управляющих свойств векторов напряжения. Рассмотрен режим управления, повышающий энергетическую эффективность и надежность электропривода.

Ключевые слова: бесконтактный двигатель постоянного тока, дискретный эквивалент, идеальное векторное управление, чередующиеся и пульсирующие вектора напряжений, эффективность управляющих свойств вектора.

На современном этапе в литературе [1-3] рассмотрено много различных подходов к теории и практике импульсных систем управления электрическими двигателями. Эти методы реализованы как с помощью набора аналоговых компонент, микроконтроллеров и цифровых сигнальных процессоров с неизменяемой периферией, а так же на базе программируемых логических интегральных схем.

Направление исследований, в которых цифровые алгоритмы реализуются на основе программируемой логики, являются наиболее перспективными. Они позволяют разработать энергоэффективные алгоритмы импульсного управления с максимальной гибкостью, высокой надежностью. Варианты импульсного управления, которые обеспечивают систематизацию по виду статических характеристик, равномерности загрузки силовых ключей по току, можно реализовать, используя корректное математическое описание процессов, протекающих в бесконтактном двигателе постоянного тока (БДПТ) [4,5,6].

Технически реализовать идеальное векторное управление БДПТ по аналоговому принципу не позволяют возможности аппаратных и технических средств, поэтому необходимо синтезировать дискретный эквивалент идеальному векторному управлению с заранее заданной точностью.

Как было показано в работах [4,7,8] управление БДПТ строится на формировании управляющих векторов напряжения и рабочих векторов

токов.

Управляющие вектора представляют собой чередующиеся или пульсирующие базовые вектора напряжения, которые можно представить в виде

$$U_{\text{oid}} = U \sum_{k=0}^n (1(t - kT_n) - 1(t - (k + 1)T_n)); \quad (1)$$
$$t \in (0, T_0); \quad T_n \leq \frac{T_0}{n},$$

где n – число пульсирующих импульсов одного базового вектора.

Рабочие токи, создающие электромагнитный момент, протекают как при наличии базового вектора, так и в большинстве ситуации при равенстве их нулю в момент паузы. Ток, протекающий в момент паузы, является векторной величиной и его положение в пространстве является функцией последнего ненулевого базового вектора. Непрерывность тока зависит от частоты широтно-импульсной модуляции и электромагнитной постоянной времени.

Каждый базовый вектор может работать в режиме пульсаций. Длительность существования этого вектора и пространственное расположение относительно поля ротора будет характеризовать эффективность управляющих свойств вектора напряжений.

Каждый вектор из шести базовых будет иметь свой угол θ_i с полем ротора (Рисунок 1). Работать будет только один базовый вектор. Напряжение U будет рассчитываться для всех векторов и расчет проводится в относительных единицах.

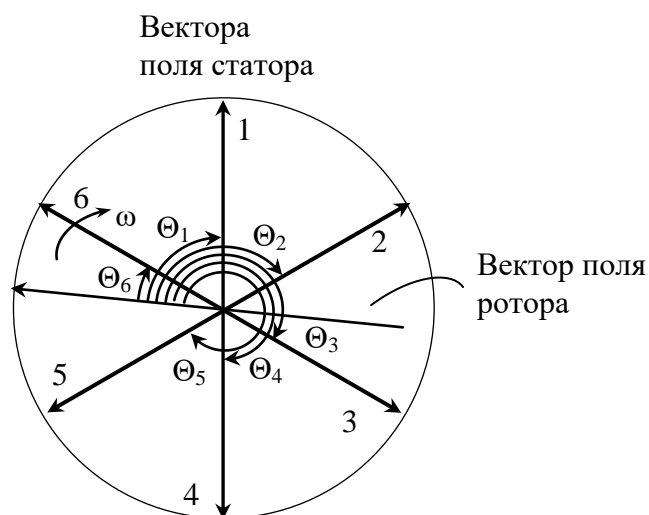


Рисунок 1

Эффективность управляющих свойств вектора напряжения обозначим ξ и рассчитаем площадь импульса с учетом пространственного расположения

$$\xi = \omega \int_0^{T_{\xi}} \sin(\omega t - \Theta_k) dt = -2 \sin\left(\frac{\omega T_{\xi}}{2} - \Theta\right) \cdot \sin \frac{\omega T_{\xi}}{2}. \quad (2)$$

Величина ξ зависит от выбора вектора, что определяется величиной

$$\Theta_k = \{\Theta_1, \Theta_2, \Theta_3, \Theta_4, \Theta_5, \Theta_6\},$$

$$\text{где } \Theta \in [0, 2\pi].$$

Также она зависит от длительности импульса $T_{\text{и}}$, поэтому анализ лучше вести используя относительную длительность импульса γ

$$T_{\xi} = \gamma T_0 \quad (3)$$

и количество импульсов за один оборот

$$n = \frac{T}{T_0}, \quad (4)$$

где T - время одного оборота,

T_0 - период широтно-импульсной модуляции.

Тогда

$$\frac{\omega T_{\xi}}{2} = \frac{2\pi f \gamma T_0}{2} = \frac{\pi \gamma T_0}{T} = \frac{\pi \gamma}{n}. \quad (5)$$

Откуда эффективность управляющих свойств импульса (ЭУСИ)

$$\xi = 2 \sin\left(-\frac{\pi \gamma}{n} + \Theta\right) \cdot \sin \frac{\pi \gamma}{n}. \quad (6)$$

Тогда эффективность дискретного управления ЭДВУ БДПТ можно

представить

$$\Xi = \sum_{\substack{k=1 \\ e=0}}^6 \xi_{ke}, \quad (7)$$

где k – номер базового вектора,
 e – номер пульсации k базового вектора.

Как видно из Рисунке 1 эффективность управляющих свойств вектора напряжений может быть не только положительной, поэтому при использовании этих свойств необходимо решать вопрос о следующем этапе преобразования – это формирование рабочих векторов токов.

При идеальном векторном управлении угол сдвига фаз между напряжением и током определяется, как

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{\omega L}{R}. \quad (8)$$

Величина среднего значения тока должна обеспечивать электромагнитный момент, компенсирующий момент нагрузки. Разность между ними определит ускорение $\frac{d\omega}{dt}$.

Стремление $\frac{d\omega}{dt} \rightarrow 0$, требует постоянства произведения тока на создаваемый ротором поток.

Отсюда следует, что рабочий вектор тока, создаваемый эффективным дискретным управлением БДПТ должен быть эквивалентен вектору идеального управления. Как известно, идеальное векторное управление формируется аналоговыми синусоидальными сигналами, которые становятся векторными за счет их пространственного формирования.

Рабочий вектор тока, формируемый дискретными управляющими импульсами должен быть:

- непрерывным по амплитуде;
- пульсации относительно среднего значения сведены к минимуму;
- запаздывание вектора тока, относительно управляющего напряжения должны быть минимально возможные.

На Рисунке 2 приведены зависимости максимальных значений ЭУСИ от числа импульсов за оборот, а на Рисунке 3 значение оптимального угла сдвига от числа импульсов.

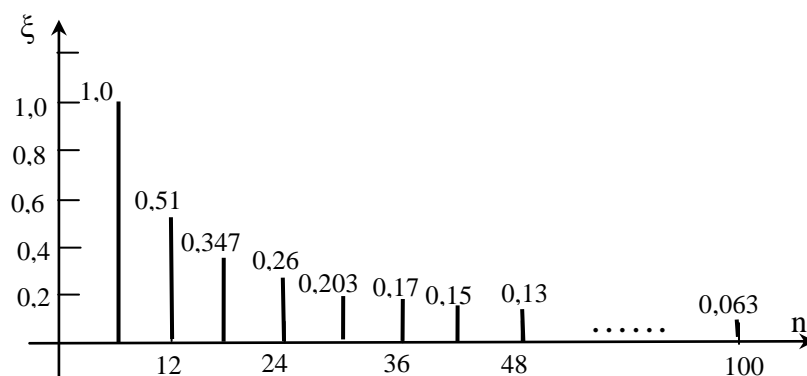


Рисунок 2

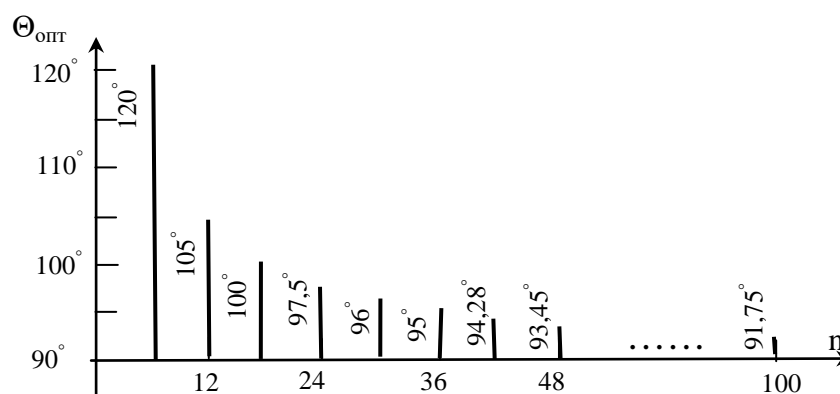


Рисунок 3

Исходя из того, что в электроприводе с БДПТ любая система управления, инвертор и сам электродвигатель обладают определенной чувствительностью, то можно определить границы частоты коммутации и относительной длительности импульсов.

Это необходимо обеспечить в системе управления БДПТ, так как уменьшение числа коммутаций силовых элементов инвертора ведет к повышению энергоэффективности электропривода и его надежности.

Такое ограничение не повлияет на положительные свойства рабочих векторов токов, а наоборот, защитит их от высокочастотных помех.

ЛИТЕРАТУРА

1. Винокуров С.А. Дискретно-непрерывные системы управления в электроприводах с бесконтактными двигателями постоянного тока/С.А. Винокуров, О.А. Киселёва, В.Е. Букатова //Системы управления и информационные технологии. 2009. Т. 35. № 1.1. С.205-208.

2. Киселёва О.А. Синтез детерминированной дискретной логико-динамической системы с бесконтактным двигателем постоянного тока/ Киселева, В.Е. Букатова, Т.В. Попова // Электротехнические комплексы и системы управления.- 2009.- №4- с. 11-14.
3. Киселёва О.А. Математическая модель системы управления бесконтактным двигателем постоянного тока при наличии запаздываний по состоянию и управлению/ О.А. Киселёва, Т.В. Попова, В.Е. Букатова // Электромеханические комплексы и системы управления. -2010. - №1. – с.15-19.
4. Киселёва О.А. Функции регулятора тока системы управления бесконтактным двигателем постоянного тока/ О.А. Киселёва, Д.П. Киселёв, Т.В. Попова// Моделирование, оптимизация и информационные технологии, 2015. №1 (8). С.7.
5. Киселёва О.А. Исследование электроприводов с бесконтактными двигателями постоянного тока с позиции методологии логико-динамических систем/ О.А. Киселёва, С.А. Винокуров, В.Е. Букатова // Системы управления и информационные технологии. 2008. Т. 33. № 3. С.89-93.
6. Винокуров С.А. Адаптивная идентификация электромеханических систем с бесконтактными двигателями постоянного тока/ С.А. Винокуров. О.А. Киселёва, В.Е. Букатова// Вестник Воронежского государственного технического университета. 2007. Т.3. № 5. С. 99-102.
7. Киселёва О.А. Математическая модель управления дискретной системой с бесконтактным двигателем постоянного тока/О.А. Киселёва, Т.В.Попова, В.Е. Букатова // Электротехнические комплексы и системы управления.- 2009.- №3 - с. 43-46.
8. Киселёв Д.П. Моделирование адаптивного управления в электромеханической системе/ Д.П. Киселёв, О.А. Киселёва// Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2014. №3(6). С.1.

O.A. Kiseleva, S.A. Vinokurov, T.V. Popova
**DISCRETE EQUIVALENT TO IDEAL VECTOR CONTROL OF
THE CONTACTLESS ENGINE OF THE DIRECT CURRENT**

Voronezh state technical university

In work the question of a possibility of technical realization of ideal vector control of the contactless engine of a direct current is considered. Vector management is based on formation of the operating vectors of tension and working vectors of currents. Managing directors of a vector represent the alternating or pulsing basic tension of a vector. The analysis of a discrete vector equivalent to ideal control of the contactless engine of a direct current is carried out. Features of formation of the field of the stator due to use of the alternating and pulsing tension vectors are considered. The assessment of efficiency of the operating properties of vectors of tension is carried out. The control mode increasing power efficiency and reliability of the electric drive is considered.

Keywords: the contactless engine of a direct current, a discrete equivalent, ideal vector management alternating and pulsing a vector of tension, efficiency of managing properties of a vector.

REFERENCES

1. Vinokurov S.A. Diskretno-nepreryvnye sistemy upravleniya v elektroprivodakh s beskontaktnymi dvigatelyami postoyannogo toka/S.A. Vinokurov, O.A. Kiseleva, V.E. Bukatova //Sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii. 2009. Vol. 35. No. 1.1. pp.205-208.
2. Kiseleva O.A. Sintez determinirovannoy diskretnoy logiko-dinamicheskoy sistemy s beskontaktnym dvigatelem postoyannogo toka/ Kiseleva, V.E. Bukatova, T.V. Popova // Elektrotekhnicheskie kompleksy i sistemy upravleniya.- 2009.- No.4- pp. 11-14.
3. Kiseleva O.A. Matematicheskaya model' sistemy upravleniya beskontaktnym dvigatelem postoyannogo toka pri nalichii zapazdyvaniy po sostoyaniyu i upravleniyu/ O.A. Kiseleva, T.V. Popova, V.E. Bukatova // Elektromekhanicheskie kompleksy i sistemy upravleniya. -2010. - No.1. – pp.15-19.
4. Kiseleva O.A. Funktsii regulatora toka sistemy upravleniya beskontaktnym dvigatelem postoyannogo toka/ O.A. Kiseleva, D.P. Kiselev, T.V. Popova// Modelirovanie, optimizatsiya i informatsionnye tekhnologii, 2015. No.1 (8). p.7.
5. Kiseleva O.A. Issledovanie elektroprivodov s beskontaktnymi dvigatelyami postoyannogo toka s pozitsii metodologii logiko-dinamicheskikh sistem/ O.A. Kiseleva, S.A. Vinokurov, V.E. Bukatova // Sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii. 2008. Vol. 33. No. 3. pp.89-93.
6. Vinokurov S.A. Adaptivnaya identifikatsiya elektromekhanicheskikh sistem s beskontaktnymi dvigatelyami postoyannogo toka/ S.A. Vinokurov. O.A.

- Kiseleva, V.E. Bukatova// Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2007. Vol.3. No. 5. pp. 99-102.
7. Kiseleva O.A. Matematicheskaya model' upravleniya diskretnoy sistemoy s beskontaktnym dvigatelem postoyannogo toka/O.A. Kiseleva, T.V.Popova, V.E. Bukatova // Elektrotekhnicheskie komplekсы i sistemy upravleniya.- 2009.- No.3 – pp. 43-46.
 8. Kiselev D.P. Modelirovanie adaptivnogo upravleniya v elektromekhanicheskoy sisteme/ D.P. Kiselev, O.A. Kiseleva// Modelirovanie, optimizatsiya i informatsionnye tekhnologii. 2014. No.3(6). p.1.