

УДК 621.313.13–621.396.67

ИССЛЕДОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ БЕСКОЛЛЕКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ И СТАБИЛИЗАЦИИ АНТЕНН МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

Н.М. НАУМОВИЧ, О.С. МАЛЬЦЕВ, С.П. УРБАНОВИЧ, М.В. ДАВЫДОВ, Р.А. БОГДАНОВ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 12 октября 2016

Аннотация. Приведены результаты исследования возможности применения бесколлекторных двигателей в системах стабилизации сканирующих антенн миллиметрового диапазона бортового радиолокатора. Для этого, в ходе экспериментальных исследований, были изучены особенности изменения моментальной скорости вращения вала двигателя при различных значениях ускорения, а также проведено сравнение возможных рабочих режимов. Исследования производились с двигателями MAXON EC-max-2.

Ключевые слова: режимы работы бесколлекторных двигателей, стабилизация, антенная СВЧ-система.

Abstract. The results of the reserch of possibilities of using brushless motors in the stabilization systems of scanning antennas onboard millimeter wave radar are given. For this purpose, peculiarities of change of momentary motor shaft speed for various values of acceleration have been studied in the course of experimental studies, as well as a comparison of the possible operating modes have been complited. The reserch was carried out with engines MAXON EC-max-2 .

Keywords: working conditions of brushless motors, stabilization, microwave antenna system.

Doklady BGUIR. 2017, Vol. 103, No. 1, pp. 13-18

Research of modern brushless DC motors to use them in the system of control and stabilization of millimeter-wave antenna

N.M. Naumovich, O.S. Maltsev, S.P. Urbanovich, M.V. Davydov, R.A. Bogdanov

Введение

По результатам исследований международной организации гражданской авиации (ИКАО) одной из основных причин авиационных аварий и катастроф, в частности вертолетной авиации при полетах на малых высотах в условиях малой видимости, является отсутствие или недостаточная точность радиолокационных средств по предупреждению столкновений. Проведенный анализ показывает, что для радиолокационных станций (РЛС) предупреждения столкновений, которые должны устанавливаться на основной массе вертолетов, предпочтительным в настоящее время является использование системы механического сканирования лучом. Для нахождения труднообнаруживаемых препятствий, которыми являются провода и опоры линий электропередач, из-за столкновений с которыми происходит до 70 % аварий вертолетов [1], необходима антенна с узким лучом диаграммы направленности. Качание узкого луча в двух плоскостях с высокой скоростью (частота обновления кадра не менее 2–3 с), является до настоящего времени сложной научно-технической задачей, требующей рассмотрения ряда вопросов. Особенностью такой антенной системы является то, что она должна проводить в короткий промежуток времени обзор пространства в пределах 120 градусов по азимуту и 30 градусов по углу места. При этом обзор должен проводиться по курсу движения вертолета независимо от положения его корпуса, на

котором закреплен локатор. Таким образом, антенная система должна обеспечивать компенсацию траектории движения вертолета.

Сформулируем требования к системе управления лучом антенной системы:

- высокая точность позиционирования антенной системы;
- компенсация положения антенной системы в пространстве при движении носителя;
- надежность;
- простота эксплуатации и ремонта.

В данной работе проведен анализ современных бесколлекторных двигателей постоянного тока (БДПТ) и возможности их использования в системах управления антенной.

Постановка задачи и методика ее решения

Несмотря на интенсивное развитие электронных систем сканирования, до настоящего времени в радиолокации остается много задач, для решения которых, с точки зрения эксплуатационно-экономических показателей, актуальным остается применение механического сканирования. При управлении антенной СВЧ-диапазона в современных радиолокационных системах на первое место выходят точностные и скоростные характеристики антенного механизма. Связано это с малыми геометрическими размерами объектов, которые необходимо обнаружить. Также имеет значение величина сектора обзора РЛС, что при достаточно большом секторе его сканирование со скоростью, которая бы позволяла обновлять информацию в режиме реального времени, является достаточно сложной технической задачей.

К системам бортовой радиолокации предъявляется ряд требований, без выполнения которых обеспечение полноценной работы локатора невозможно. Такими требованиями являются:

- большая скорость обновления данных – порядка 1 с;
- ширина сектора обзора ~ 120 градусов × 30 градусов
- скорость сканирования.
- точность позиционирования антенны.

Основной вопрос, на который необходимо ответить в процессе проведения измерений: возможно ли применение бесколлекторных двигателей постоянного тока в качестве двигателей антенного механизма. Если возможно, то необходимо установить рабочие параметры системы.

Под рабочими параметрами системы понимается следующее:

- при каких ускорениях наиболее точно выдерживается необходимая траектория движения антенны;
- как быстро двигатель способен осуществить разгон/торможение;
- какие траектории ускорения/торможения подходят для решения поставленных задач.

Для исследования данных двигателей необходимо, чтобы двигатель при вращении на определенной скорости, обеспечивающей рабочий режим сканирования, изменил направление вращения и продолжил вращаться с начальной скоростью – симуляция движения антенны. Этот эксперимент проводится при различных значениях углового ускорения и траекториях изменения текущей скорости – синусоидальной и трапецеидальной. При максимально возможном периоде обновления информации в 1 с, допустимо принять время на реверс направления вращения 10 % времени – 0,1 с (данное значение было определено практическим путем).

Таким образом, требования к результатам измерений предъявляются следующие:

- двигатель должен выполнить реверс за время, равное либо меньше 0,1 с;
- траектория изменения значения скорости вращения должна максимально повторять заданную.

Для решения поставленной задачи авторами использовались двигателями MAXON [2] с драйвером EPOS 24/2 [3].

Экспериментальная часть

Рассмотрим возможные режимы работы EPOS2.

1. Режим позиции – установка двигателя в необходимое положение с помощью отсчета нужного количества позиций.

2. Режим скорости – вращение оси двигателя с определенной скоростью.

Для выбора рабочего режима рассмотрим следующие графики – на них изображено изменение скорости при вращении вала двигателя с постоянной скоростью с последующей остановкой в режимах скорости и позиции.

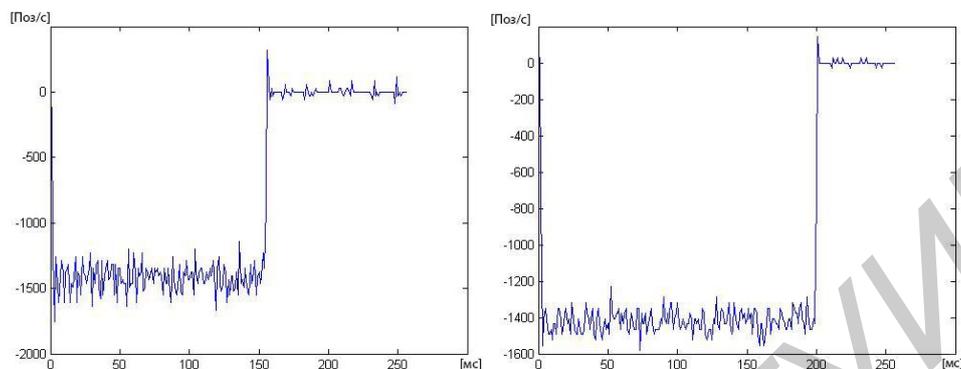


Рис. 1. Графики изменения скорости вала двигателя в режимах скорости (слева) и позиции (справа)

При сравнении графиков на рис. 1 видно, что девиация скорости менее равномерна при работе в режиме контроля скорости, и отклонения от заданного значения составляют: с 55–70 мс – 260 позиций/мс, на 140 мс – 360 позиций/мс, на 120 мс – 215 позиций/мс, при среднем значении порядка 120 позиций/мс. Изменение скорости при работе в режиме позиции более равномерно – максимальные отклонения – 180 позиций/мс на 51 мс и 80 мс, 150 позиций/мс на 157 и 160 мс, при среднем значении 80 позиций/мс.

На основании полученных данных проведено моделирование спектров вращения в указанных режимах в ПО Matlab.

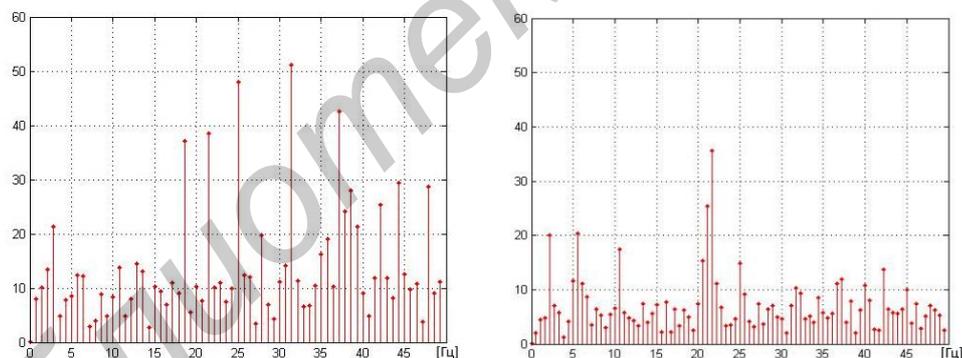


Рис. 2. Частотный спектр для режима скорости (слева) и для режима позиции (справа)

Из рис. 2 видно, что предпочтительнее использовать режим позиции, так как неравномерность его спектра ниже в сравнении со спектром режима скорости. Таким образом, определив наиболее подходящий режим работы, осуществим симуляцию движения антенны в широком диапазоне скоростей и различных траекторий изменения скорости вращения двигателя, оценив при этом время выполнения реверса и сравнив полученную траекторию изменения скорости с заданной. Первое значение ускорения, которое позволило осуществить реверс двигателя за необходимое время, составило 8000 позиций/с^2 .

Из рис. 3 видно, что предпочтительнее использование трапецидальной траектории изменения скорости, так как выполнение реверса двигателя происходит быстрее. Даже с учетом отклонений в начальный момент времени и компенсации торможением резкого увеличения скорости (после 60 мс), трапецидальная форма сохраняется достаточно точно, в то время как при использовании синусоидальной траектории реальная форма траектории повторяет синусоиду недостаточно точно.

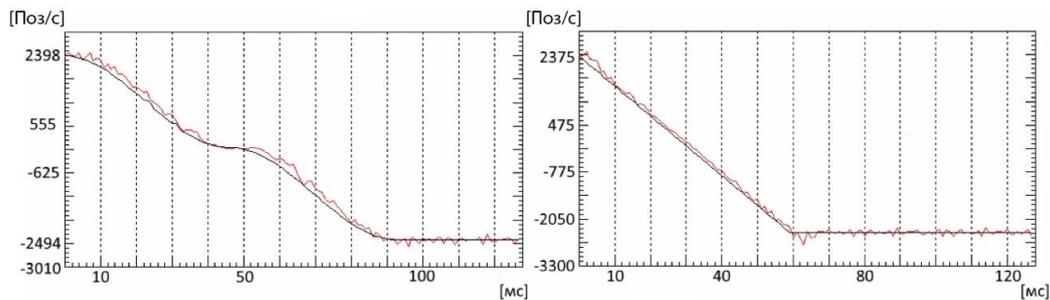


Рис. 3. Изменение скорости по синусоидальной траектории (слева) и по трапецеидальной траектории (справа) при ускорении 8000 позиций/с^2

Дальнейшее увеличение значения углового ускорения двигателя приводило к уменьшению времени выполнения реверса и дальнейшего искажения реальной траектории изменения скорости относительно заданной. Для иллюстрации рассмотрим графики при значениях ускорения $12000 \text{ позиций/с}^2$ и $16000 \text{ позиций/с}^2$.

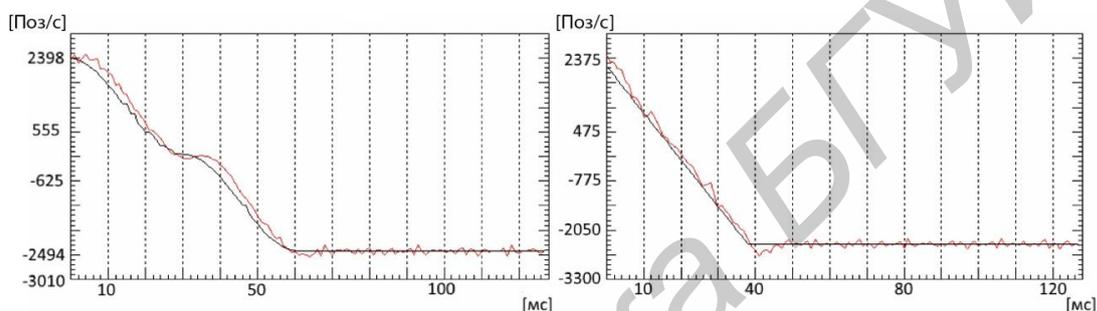


Рис. 4. Изменение скорости по синусоидальной траектории (слева) и по трапецеидальной траектории (справа) при ускорении $12000 \text{ позиций/с}^2$

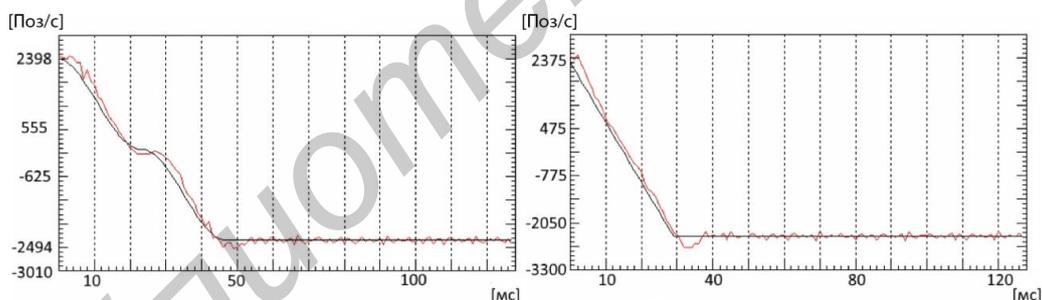


Рис. 5. Изменение скорости по синусоидальной траектории (слева) и по трапецеидальной траектории (справа) при ускорении $16000 \text{ позиций/с}^2$

Из рис. 4, 5 видно, что с увеличением значения углового ускорения уменьшается время выполнения реверса, но увеличивается число траекторных искажений. Иллюстрацией этого является резкое увеличение скорости вращения на 32 мс (рис. 5 (справа)). То есть реализация реверса заняла порядка 28 мс, но стабилизация скорости занимает порядка 8–10 мс, что на 25–33 % увеличивает фактическое время выполнения реверса.

Результаты измерения скорости вращения вала двигателя

Ускорение, позиций/с^2	Вид траектории	Время реверса, мс	Уровень выброса, позиций/с	Продолжительность выброса, мс	Продолжительность выброса, %
8000	Синусоидальная	90	121	8	8,8
8000	Трапецеидальная	60	375	7	11,6
12000	Синусоидальная	60	230	10	16,6
12000	Трапецеидальная	40	312	10	25
16000	Синусоидальная	44	302	10	23
16000	Трапецеидальная	28	312	10	35

Выводы

В результате экспериментального исследования работы двигателей MAXON EC–max-2 можно утверждать, что вышеуказанные двигатели обеспечивают выполнение требований, предъявляемых к двигателям механической системы управления и стабилизации антенн миллиметрового диапазона. Также были определены рабочие параметры для данных двигателей, а именно:

– рабочий режим – режим контроля позиции – так как данный режим обеспечивает лучшую стабилизацию значения скорости в сравнении с режимом скорости;

– вид траектории изменения скорости – трапецеидальный, так как этот вид траектории позволяет выполнить реверс двигателя за меньшее время;

– диапазон значений ускорения – от 8000 до 12000 позиций/с². Дальнейшее увеличение величины ускорения приводит к значительным отклонениям траектории изменения скорости от заданной. А уменьшение времени реверса двигателя не дает выигрыша, так как тогда общее время выхода на необходимую скорость вращения увеличивается еще на 25–35 % из-за стабилизации двигателя;

– программное управление двигателем позволяет минимизировать количество электронных компонентов в системе стабилизации и управления антенн, что повышает надежность и снижает массу и габариты конечного изделия.

Список литературы

1. Федеральное агентство воздушного транспорта РФ. Информация о случаях столкновения воздушных судов с проводами линий электропередачи. М., 2013. 20 с.
2. maxon DC motor and maxon EC motor Key information [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.maxonmotor.com/medias/sys_master/root/8815460712478/DC-EC-Key-Information-14-EN-42-50.pdf?attachment=true – Дата доступа 04.01.2016
3. ООО «Авитон» EPOS2 24/2 Контроллер положения. Руководство по аппаратной части. СПб, 2013.

References

1. Federal'noe agentstvo vozdušnogo transporta RF. Informacija o sluchajah stolknovenija vozdušnyh sudov s provodami linij jelektroperedachi. M., 2013. 20 s. (in Russ.)
2. maxon DC motor and maxon EC motor Key information [Electronic resource]. – Access mode: http://www.maxonmotor.com/medias/sys_master/root/8815460712478/DC-EC-Key-Information-14-EN-42-50.pdf?attachment=true. – Date of access: 04.01.2016.
3. ООО «Aviton» EPOS2 24/2 Kontroller polozhenija. Rukovodstvo po apparatnoj chasti. SPb, 2013. (in Russ.)

Сведения об авторах

Наумович Н.М., к.т.н., директор Центра 1.6 НИЧ Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Мальцев О.С., инженер НИЧ Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Богданов Р.А., инженер-схемотехник НИЧ Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Урбанович С.П., ведущий инженер НИЧ Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Давыдов М.В., к.т.н., доцент, доцент кафедры электронной техники и технологии Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Information about the authors

Naumovich N.M, PhD, Head of the Center 1.6 of R&D Department of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Maltsev O.S., engineer of R&D Department of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Bogdanov R.A., circuit engineer of R&D Department of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Urbanovich S.P., senior engineer of R&D Department of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Davydov M.V., PhD, assistant professor, assistant professor of Fundamental Electrical Engineering of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. П. Бровка, д. 6,
Белорусский государственный
университет информатики и радиоэлектроники
тел. +375-33-358-08-57;
e-mail: maltsev@bsuir.by;
Мальцев Олег Сергеевич

Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,
Minsk, P. Brovka st., 6,
Belarusian State University of
Informatics and Radioelectronics
tel. +375-33-358-08-57;
e-mail: maltsev@bsuir.by;
Maltsev Oleg Sergeyevich