

ОПТИМИЗАЦИЯ ГЛАВНЫХ РАЗМЕРОВ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ПРИВОДА АНТЕННО-ФИДЕРНОЙ СИСТЕМЫ

В.Я. Геча, А.Б. Захаренко, С.А. Мартынова, Н.А. Красова

Главные размеры электродвигателя определяются электромагнитным моментом и выбираются, как правило, исходя из формулы для постоянной Арнольда. При проектировании антенно-фидерных систем (АФС), в том числе опорно-поворотных устройств, необходимо учитывать ограничения, накладываемые требованиями к жёсткости конструкции бортовой аппаратуры КА. Поэтому конструкция АФС определяет конфигурацию и диаметр встраиваемого приводного электродвигателя. Поскольку диаметр электродвигателя, являющегося основанием антенно-фидерной системы, определяется диаметром кольцевой фермы АФС, его величина выбирается исходя из максимизации значения нижней резонансной механической частоты АФС. Предложена методика выбора оптимального диаметра электродвигателя для прямого электропривода антенно-фидерной системы с учётом её механических характеристик. Методика апробирована на примере встраиваемого электродвигателя с дискретно-распределёнными обмотками для электропривода антенно-фидерной системы K_a -диапазона.

Ключевые слова: магнитоэлектрическая машина, методика выбора главных размеров магнитоэлектрической машины, антенно-фидерная система, электропривод.

Наиболее актуальным в настоящее время является создание высокоскоростных радиолиний космических аппаратов (КА) на основе направленных антенно-фидерных систем. Характерным для АФС K_a -диапазона является то, что сверхвысокочастотный (СВЧ) сигнал может распространяться при относительно низких потерях только по жёстким кабелям или волноводам. Нацеливание АФС на наземные станции приёма осуществляется электроприводными опорно-поворотными устройствами [1].

При проектировании АФС, в том числе опорно-поворотных устройств, кроме величины управляющего момента необходимо учитывать ограничения, накладываемые требованиями к бортовой аппаратуре КА:

- с одной стороны, суммарная масса антенно-фидерной системы должна быть снижена;
- с другой стороны должна быть обеспечена достаточная жёсткость конструкции АФС, которая не должна иметь резонансных механических частот ниже 40 Гц.

Следует отметить, что наибольшую вероятность безотказной работы обеспечивает прямой электропривод, построенный на основе многополюсной синхронной электромашин. При классическом проектировании внешний диаметр электродвигателя определяется электромагнитным моментом и выбирается исходя из формулы для постоянной Арнольда [2], либо в соответствии с известной «привязкой» высоты оси вращения электродвигателя к мощности.

Задачей настоящей статьи является обоснование выбора внешнего диаметра встраиваемого электродвигателя с дискретно-распределёнными обмотками исходя из максимизации нижней резо-

нансной механической частоты антенно-фидерной системы, основанием которой он является.

На рис. 1 показан магнитоэлектрический двигатель, аналогичный реактивному, описанному в патенте [3], размещённый на технологическом основании. Для снижения массы конструкции диаметр его подшипника D_n , приблизительно равный диаметру внешнего ротора, соответствует диаметру кольцевой фермы АФС, основанием которой он является. Этот диаметр подлежит оптимизации по критерию максимизации нижней резонансной механической частоты ($D_n = var$).

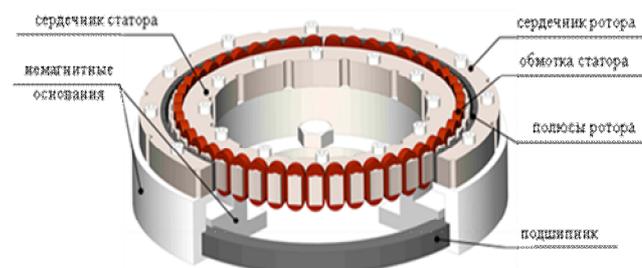


Рис. 1. Эскиз электродвигателя для азимутального привода направленной антенно-фидерной системы бортовой информационной системы сантиметрового диапазона (БИС-СМ)

Активная длина электродвигателя может быть выбрана с использованием формулы для постоянной Арнольда исходя из необходимости обеспечения заданного пускового момента $M_{п}$, т. е. для преодоления момента трения покоя электропривода с квалификационным запасом:

$$l_{\delta 1} = \frac{M_{\Pi}}{30 D_i^2 \pi \alpha_{\delta} \tau A B_{\delta}},$$

где D_i – внутренний диаметр ротора электродвигателя; $\alpha_{\delta} \tau$ – абсолютная длина полюсной дуги; A – линейная токовая нагрузка; B_{δ} – магнитная индукция в воздушном зазоре. При этом

$$D_i = D_{\Pi} - 2(h_a + h_m),$$

где h_a – высота яра ротора; h_m – высота постоянного магнита.

Методика выбора оптимального диаметра электродвигателя. Для оптимизации диаметра D_{Π} подшипника электродвигателя необходимо рассчитать резонансные механические частоты конструкции АФС БИС-СМ перспективного космического аппарата. Для этой цели создана конечно-элементная модель (рис. 2). Крепление к корпусу КА осуществляется диском 1.

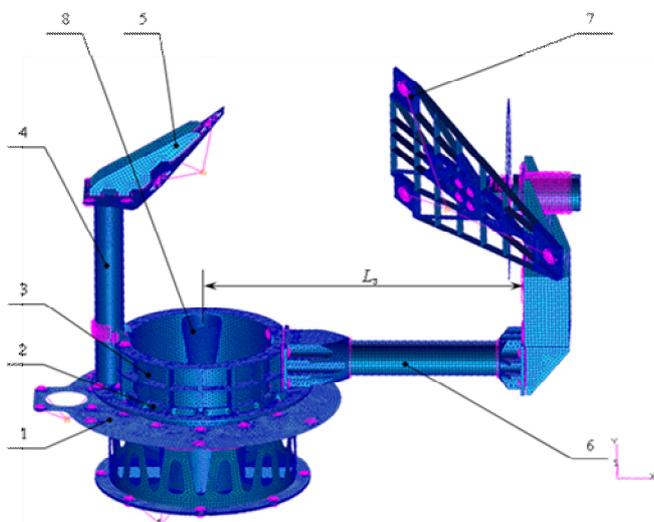


Рис. 2. Конечно-элементная модель электропривода антенно-фидерной системы

Прямой электропривод поворота по углу азимута приводится во вращение многополюсным электродвигателем с дискретно-распределёнными обмотками и внешним ротором [3], который находится у основания 2 кольцевой фермы 3. Диаметр подшипника D_{Π} электродвигателя приблизительно равен диаметру кольцевой фермы 3 АФС. К кольцевой ферме 3 крепятся кронштейн 4 контррефлектора 5 и кронштейн 6 крепления рефлектора 7. Электродвигатель 2 поворачивает на заданный угол места

контррефлектор 5 и узел крепления рефлектора 7 вокруг оси облучателя 8, жёстко закреплённого на волноводе. Второй электродвигатель поворачивает на заданный угол места узел крепления рефлектора 7.

Размер L_3 (см. рис. 2), определяющий расстояние между рефлектором и контррефлектором, должен остаться неизменным при оптимизации ($L_3 = \text{const}$).

Для наглядного обозрения переменных оптимизации на рис. 3 изображён ряд полученных упрощённых конструкций. Далее методом конечных элементов необходимо провести расчёты резонансных механических частот ряда конструкции АФС. По результатам расчётов необходимо выбрать конструкцию АФС с наибольшей нижней резонансной механической частотой, у этой конструкции будет оптимальный диаметр D_{Π} .

Результаты выбора оптимального диаметра электродвигателя. Анализ упрощённых моделей АФС (рис. 3) говорит о том, что с увеличением диаметра D_{Π} :

- жёсткость кольцевой фермы уменьшается;
- длина кронштейна уменьшается, а его жёсткость увеличивается;
- изгибающий момент, действующий на кронштейн (в связи с уменьшением плеча, т. е. длины кронштейна) также уменьшается.

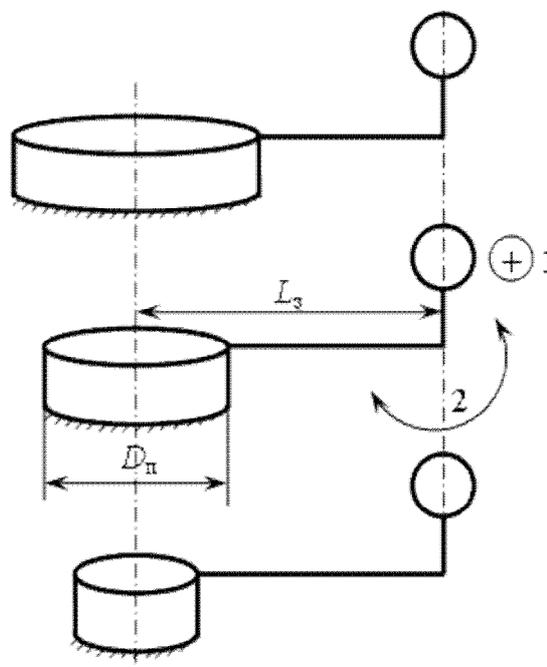


Рис. 3. Упрощённые модели АФС, применяемые при оптимизации диаметра D_{Π}

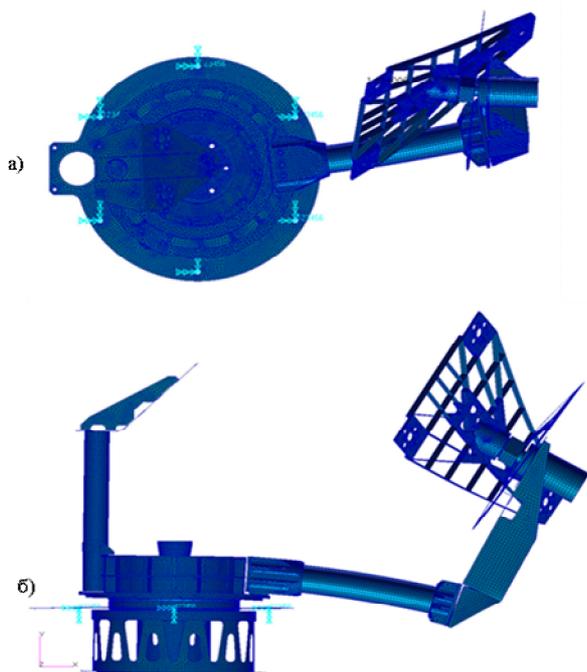


Рис. 4. Поперечная (а) и продольная (б) формы колебаний АФС

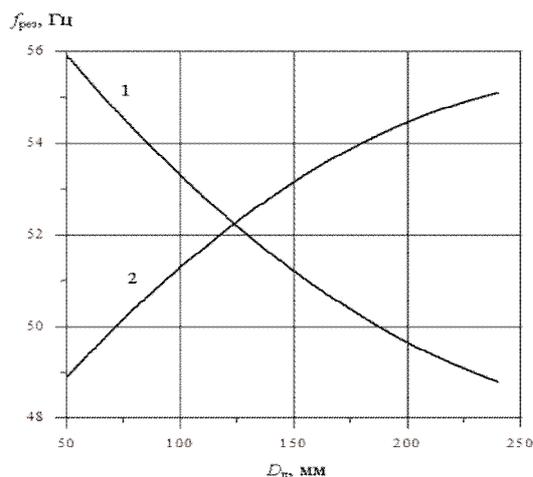


Рис. 5. Зависимости частот низших форм колебаний от диаметра подшипника электродвигателя

Поступила в редакцию 18.04.2016

Проведённые расчёты показали, что низшими формами колебаний являются: поперечная 1 и продольная 2 (рис. 5), которые поясняются рис. 4.

В связи с вышеперечисленным, при изменении диаметра D_n низшие формы колебаний меняются местами (рис. 4 и 5). Таким образом, наиболее оптимальным является диаметр $D_n = 120$ мм, при котором наблюдается максимум низших резонансных механических частот.

Выводы

1. Актуальным в настоящее время является создание высокоскоростных радиолиний космических аппаратов на основе направленных антенно-фидерных систем.
2. Предложена методика выбора оптимального диаметра встраиваемого электродвигателя и его активной длины для прямого электропривода антенно-фидерной системы.
3. Предложенная методика апробирована на примере электродвигателя для электропривода антенно-фидерной системы K_a -диапазона.

Литература

1. Устройство АФС1 БИС-СМ космического аппарата «Метеор-М» № 3. Направленная двухзеркальная антенна. Оценка влияния теплового расширения на электрические характеристики АФС1 БИС-СМ и выбор материала узла крепления рефлектора. Технический отчёт ТАИК.001226.387 на 12 л.
2. Проектирование электрических машин: учебник для бакалавров / Копылов И. П., Клоков Б. К., Морозкин В. П., Токарев Б. Ф. / под ред. И. П. Копылова. – М. : Юрайт, 2015. – 767 с.
3. Патент N02K19/10. Синхронный реактивный электродвигатель / Дульцев А. А., Мартынова С. А. Захаренко А. Б. : АО «Корпорация «ВНИИЭМ». – № 2551640 (РФ); Заявка № 2014116841; Оpubл. 27.05.2015, Бюлл. № 15.

Владимир Яковлевич Геча, д-р техн. наук, заместитель генерального директора, т. (495) 365-26-69.

Андрей Борисович Захаренко, д-р техн. наук, начальник отдела, т. (495) 366-26-44.

Светлана Андреевна Мартынова, научн. сотрудник, аспирант, т. (495) 366-28-22.

Наталья Алексеевна Красова, младший научн. сотрудник, аспирант, т. (495) 366-33-61.

E-mail: safonskaya@ya.ru.
АО «Корпорация «ВНИИЭМ».

OPTIMIZATION of MAJOR DIMENSIONS of ELECTRIC MOTORS for ANTENNA-FEEDER SYSTEM DRIVES

V.Ya. Gecha, A.B. Zakharenko, S.A. Martynova, N.A. Krasova

Major dimensions for electric motors are determined by electromagnetic torques and are often selected using formula for calculation of Arnold constant. In the design of antenna-feeder systems (AFS), including positioning mounts, requirements specified for structural rigidity of SC on-board equipment shall be observed. So configuration and diameter of build-in electric drive motors are determined by the AFS structure. Considering that diameter of electric motor which serves as a basis for antenna-feeder system is defined by diameter of AFS ring girder, its size shall be selected on the basis of the maximum value of the AFS lowest mechanical resonant frequency. Method for selection of the optimal diameter of electric motor using direct antenna-feeder system drive with regard to its mechanical characteristics has been suggested. The method has been tested on a build-in electric motor with discretely distributed windings for K_a -band antenna-feeder system.

Key words: magneto-electric machine, method for selection of basic sizes for magneto-electric machine, antenna-feeder system, electric drive.

List of References

1. Configuration of the AFS1 BIS-SM for Spacecraft 'Meteor-M' No.3. Dual-reflector beam antenna. Estimation of heat expansion effect on electrical characteristics of the AFS1 BIS-SM and selection of mount fitting material for reflector. Technical report ТАИК.001226.387, 12 p.
2. Engineering of electrical machines: Learning guide for bachelors / Kopylov I. P., Klokov B. K., Morozkin V. P., Tokarev B. F. / Edited by I. P. Kopylova. – M. : Юрайт, 2015. – 767 p.
3. Patent H02K19/10. Synchronous electric motor / Dultsev A.A., Martynova S.A., Zakharenko A.B.: JC 'VNIEM Corporation'. – № 2551640 (RF); Application No. 2014116841; Published on 27.05.2015, Bulletin No. 15.

*Vladimir Yakovlevich Gecha, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.),
Deputy Director General. T.: (495) 365-26-69.*

*Andrey Borisovich Zakharenko, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.),
Head of Department. T.: (495) 366-26-44.*

*Svetlana Andreevna Martynova, Researcher,
Ph. D. Student. T.: (495) 366-28-22.*

*Natalia Alexeevna Krasova, Junior Researcher,
Ph. D. Student. T.: (495) 366-33-61.*

*E-mail: safonskaya@ya.ru.
JC 'VNIEM Corporation'.*