УДК 621.313

ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОМЕНТНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С ОГРАНИЧЕННЫМ УГЛОМ ПОВОРОТА РОТОРА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СОСТАВЕ САУ ГТД

В.А. Матусевич, гл. констр., А.Н. Гетя, аспирант, нач. бюро,

Государственное предприятие «Харьковское агрегатное конструкторское бюро», г. Харьков, Украина

В топливном насосе-дозаторе НР9В-3Б разработки ГП «ХАКБ » для системы автоматического управления газотурбинным двигателем (САУ ГТД) вспомогательной силовой установки АИ9-3Б самолета АН-140 используется одноканальный поляризованный поворотный электромагнит ПЭМ-300/3К, у которого магнитная система выполнена по мостовому типу с почти полным разделением пути поляризующего и рабочего потока [1]. Его внешний вид представлен на рис. 1, а в таблице приведены его характеристики.

В настоящее время у разработчика ВСУ рассматривается вопрос создания двухканальной САУ ГТД ВСУ АИ9-3Б. С учетом этого в ГП «ХАКБ» разработан двухканальный моментный электродвигатель с ограниченным углом поворота ротора, в конструкции которого применены современные высококоэрцитивные постоянные магниты, что позволяет получить высокие удельные весовые характеристики. Его конструктивная схема приведена на рис. 2. Расчет электродвигателя был выполнен по методике, изложенной в [2].

Моментный электродвигатель состоит из ротора 1 с закрепленными на нем сегментными постоянными магнитами 2 и двухканальной обмотки управления 3, установленной в корпусе 4. В качестве материала постоянного магнита применен сплав NdFeB с остаточной магнитной индукцией 1,15Тл, коэрцитивной силой по индукции 860кА/м, по намагниченности 1800кА/м и магнитной энергией 240кДж/м^3 [3]. Ротор 1 жестко закреплен на валу 5, который одновременно является возвратной пружиной (торсионом). Вал 5 неподвижно закреплен в щите 6. В качестве дополнительной опоры в целях устранения прогиба торсиона применяется подшипник 7.

Рис. 1. Внешний вид электромагнита ПЭМ-300/3К

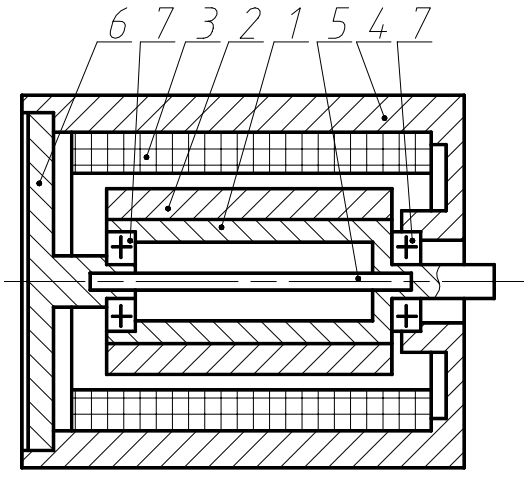

Рис. 2. Конструктивная схема моментного электродвигателя

Расчет торсиона, изготовленного из стали 60С2ХФА, выполнен по известным зависимостям расчета круглых стержней на кручение, приведенным в работах [4], [5]. Его размеры следующие: диаметр d=1,3мм и длина L_T=40мм.

В ряде работ, например в [6], рассматривались вопросы применения моментных электродвигателей в

системах автоматики, однако динамические характеристики реальных конструкций моментных электродвигателей в таких работах освещены недостаточно, а для многоканальных электродвигателей такие характеристики не приводились. В данной работе проведено исследование динамических характеристик разработанного двухканального моментного электродвигателя в целях определения возможности его использования в САУ ГТД.

Сравнительные характеристики поворотного электромагнита ПЭМ-300/3К и двухканального моментного электродвигателя разработки ГП «ХАКБ» приведены в таблице.

Таблица

Наименование параметра	ПЭМ-300/3К	Моментный электродвигатель	
		Основной канал	Резервный канал
Ток возбуждения, А	0,1	0,1	0,1
Максимальный крутящий момент, г·см	300	300	300
Электромагнитная постоянная времени, мс	5,588	$2{,}01\cdot10^{-3}$	$2{,}3\cdot10^{-3}$
Механическая постоянная времени, мс	0,982	3,64	4,32
Момент инерции ротора, кг·мм^2	0,542	3,744	
Сопротивление обмотки, Ом	68	84	100
Индуктивность обмотки, Гн	0,38	$1{,}69\cdot10^{-3}$	$2{,}29\cdot10^{-3}$
Угол поворота ротора	3°		
Коэффициент жесткости пружины, Н·м/рад	0,561		
Коэффициент момента, Н·м/А	0,3	0,3	0,3
Суммарная масса преобразователя, кг	0,23	0,2	

Как видно из таблицы, ротор моментного электродвигателя имеет момент инерции больший, чем ротор электромагнита и большую механическую постоянную времени. Однако за счет применения современных магнитных материалов отношение крутящего момента к току возбуждения выше. Также у моментного электродвигателя значительно ниже индуктивность обмотки и ниже электромагнитная постоянная времени.

Математическая модель электромеханического преобразователя имеет вид:

$$\begin{aligned} J_{пр}\frac{d^2\alpha}{dt^2} &= M - M_C - K\cdot\alpha;\\ U &= I\cdot R + L\frac{dI}{dt} + C_e\frac{d\alpha}{dt};\\ M &= K_M\cdot I, \end{aligned} \qquad (1)$$

где $J_{пр}$ – приведенный момент инерции вращающихся частей;

M – электромагнитный момент;

M_C – момент сопротивления;

K – коэффициент жесткости пружины;

I – ток возбуждения;

U – напряжение питания;

L, R –индуктивность и сопротивление обмотки;

C_e – коэффициент противоЭДС;

K_M – коэффициент момента;

α - текущий угол поворота ротора.

Системе уравнений (1) соответствует передаточная функция электромеханического преобразователя

$$W(p) = \frac{K_{дв}}{T_M(T_E p^3 + p^2 + C_{пр}) + (T_M T_E C_{пр} + 1)p},$$

где T_M – механическая постоянная времени;

T_E – электромагнитная постоянная времени;

$K_{пр}$ – коэффициент жесткости возвратной пружины;

f – частота управляющего сигнала.

На рис. 3 и 4 представлены логарифмические амплитудные и фазовые частотные характеристики электромагнита ПЭМ-300/3К, а также основного и резервного каналов моментного электродвигателя с ограниченным углом поворота ротора.

Цифрами обозначены: 1 – характеристики ПЭМ-300/3К, 2 – основной канал управления и 3 – резервный канал управления моментного электродвигателя.

Анализируя графики, приведенные на рис. 3 и 4, можно видеть, что ПЭМ-300/3К до частоты управляющего сигнала 60 Гц ведет себя как устойчивое

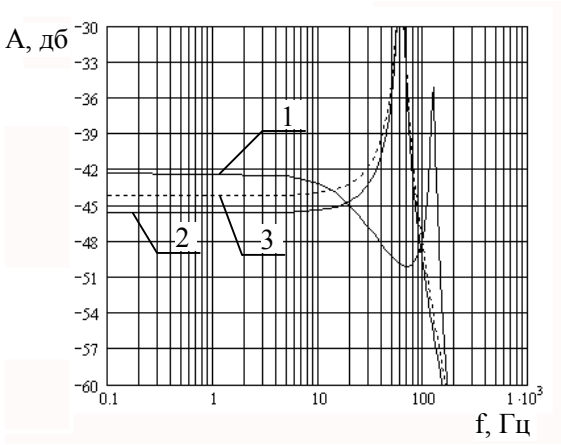

Рис. 3. Амплитудные частотные характеристики

А – амплитуда

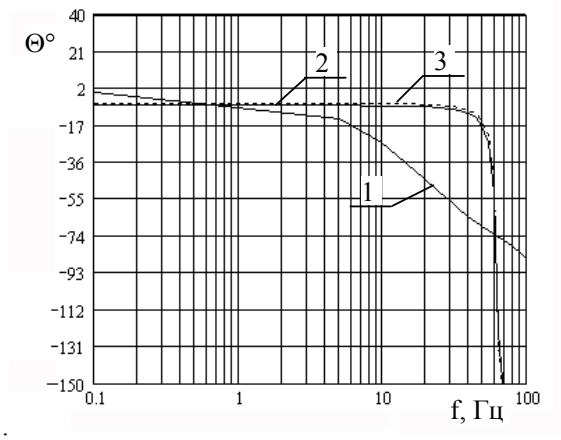

Рис. 4. Фазовые частотные характеристики

Θ - фазовый сдвиг

апериодическое звено, а на более высоких частотах - как колебательное. Моментный электродвигатель ведет себя как колебательное звено. Полоса пропускания моментного электродвигателя по сдвигу фаз 90° сигнала управления равна 60 Гц, а полоса пропускания ПЭМ-300/3К - 100 Гц.

Полоса пропускания по изменению амплитуды 3 дб при 10% входном сигнале равна 20 Гц для ПЭМ-300/3К и 30 Гц для моментного электродвигателя. Эти характеристики удовлетворяют требованиям, предъявляемым к исполнительным устройствам САУ ГТД.

Различие в амплитудных частотных характеристиках основного и резервного каналов моментного электродвигателя вызвано конструктивным расположением каналов (один над другим) и, следовательно, разной магнитной индукцией в зазоре. Различие в значениях магнитной индукции определяет различие в числе витков каждого канала, что влечет за собой различие в сопротивлении и индуктивности обмотки каждого канала.

Полученные в данной работе сравнительные результаты динамических характеристик используемого электромагнита и вновь разработанного электродвигателя позволяют сделать заключение о возможности использования двухканального моментного электродвигателя в разрабатываемых САУ ГТД.

Литература

1. Гордон А.В., Сливинская А.Г. Поляризованные электромагниты.- М.: Энергия, 1964.- 119 с.

2. Матусевич В.А., Гетя А.Н. Выбор оптимальных параметров моментного электродвигателя для исполнительных механизмов САУ ГТД // Авиационно-космическая техника и технология: Сб. науч. тр.- Харьков: ХАИ, 2002.– Вып. 30. Двигатели и энергоустановки.– С. 223-225.

3. ТУ МАЕР.680093.001 Материалы магнитотвердые спеченные на основе неодима с железом и бором. Технические условия.

4. Сопротивление материалов / Г.С. Писаренко, В.А. Агарев, А.Л. Квитка, В.Г. Попкова, Э.С. Уманский.- К.: Вища шк., 1973.– 670 с.

5. Основы конструирования: Справочно-методическое пособие в 2-х книгах. В 2 Кн.- кн. 2.- М.: Машиностроение, 1988.– 542 с.

6. Столов Л.И., Афанасьев А.Ю. Моментные двигатели постоянного тока.- М.: Энергоатомиздат, 1989.– 224 с.

Поступила в редакцию 19.07.03

Рецензенты: канд. техн. наук, зам. Главного конструктора Е.В. Павлюк, ГП “ХАКБ”, г. Харьков; канд. техн. наук, доц. каф. “Конструкции и прочности авиадвигателей” Ю.А. Гусев, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”, г. Харьков.