

УДК 629.7.05

ПРЕЦИЗИОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД СКАНЕРА РАДИОМЕТРА

В.Я. Авербух, Ю.Н. Прохоров, В.В. Федоров
(ФГУП «НПП ВНИИЭМ»)

Рассматриваются вопросы построения прецизионного электропривода сканера радиометра для космического аппарата метеорологического назначения. Приводятся структурная схема и основные технические характеристики.

Ключевые слова: прецизионный электропривод.

К электроприводу сканера радиометра предъявляются высокие требования:

- работа во всем диапазоне бортового питающего напряжения 27_{-3}^{+7} В;
- температура мест крепления от 0 до +40 °С ;
- условия воздействия вакуума $10^{-4} - 10^{-6}$ мм рт. ст.;
- ионизирующее излучение космического пространства;
- пусковой момент не менее 0,8 Н·м;
- момент сопротивления нагрузки до 0,23 Н·м;
- возмущающие воздействия со стороны вращающихся масс сканера не должны превышать 0,1 Н·м·с в установленном режиме работы;
- момент инерции вращающихся масс до 2 кг·м²;
- ресурс непрерывной работы электропривода в натуральных условиях должен быть не менее 45000 ч (5 лет);
- период вращения антенн сканера от 1,5 до 3 с (в зависимости от орбиты);
- электропривод сканера радиометра должен обеспечивать равномерное круговое вращение антенного блока с погрешностью поддержания периода не более 0,01%.

Такие качественные показатели можно получить используя бесконтактные двигатели постоянного тока с цифровыми или импульсными астатическими системами управления. К достоинствам цифровых систем управления можно отнести их способность обеспечивать высокую точность управления при пуске и торможении. Эти системы работают от цифровых многозарядных датчиков углов. Такие датчики – это сложные и дорогие устройства, особенно в дублированном исполнении. Более простые в изготовлении инкрементные датчики, с которыми работают импульсные системы [1]. Они позволяют легко осуществить дублирование датчика. Поэтому импульсные системы, использующие принцип фазовой автоподстройки частоты, получили наибольшее признание во всем мире.

Для сканера-зондировщика МТВЗА-ОК был разработан электропривод, удовлетворяющий вышеуказанным требованиям.

Электропривод состоит (рисунок) из электро-механического блока (ЭМ) и блока управления. Нагрузкой электропривода служит антенный блок (АБ) радиометра, а также вращающееся контактное устройство ВКУ [2].

Электро-механический блок включает электродвигатель и электронику датчиков положения (ЭДП). Блок управления для повышения надежности выполнен дублированным и имеет два идентичных канала – основной и резервный.

Переход на основной канал или на резервный осуществляется подачей команд ОКП или РКП на соответствующие реле.

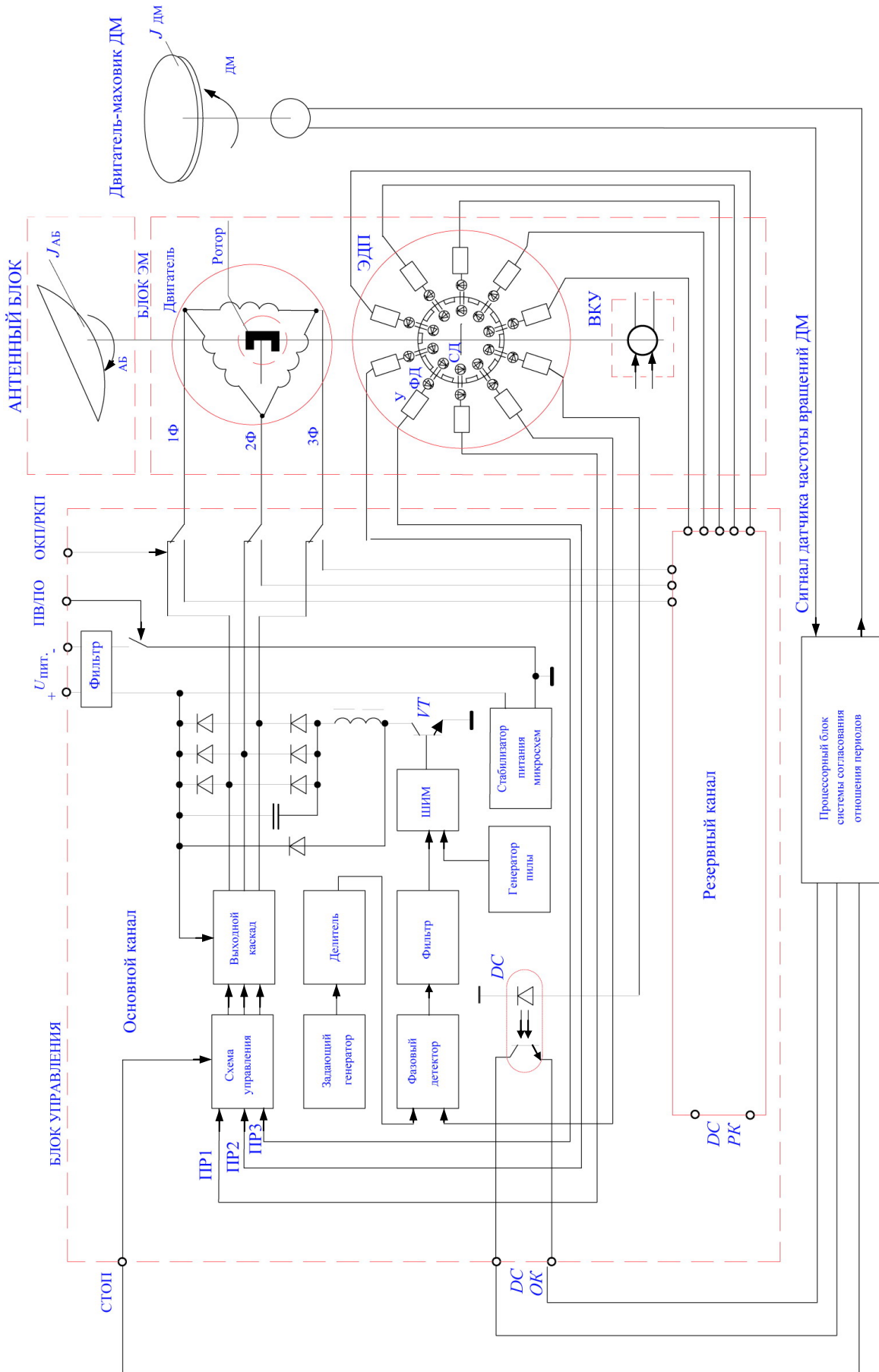
Включение или отключение привода осуществляется подачей команд ПВ или ПО на реле включения. В качестве электродвигателя используется трехфазный бесконтактный двигатель постоянного тока с ротором содержащим 12 магнитов NdFeB.

Применена беспазовая конструкция статора, что позволяет исключить зубцовые реактивные моменты двигателя и повысить плавность его вращения.

В качестве датчиков положения ротора, датчика скорости и датчика выходного вала используются оптопары – излучающий диод и фотодиод, в зазоре между которыми расположен экран.

Каждая оптопара дублирована (основной и резервный канал).

Расположение оптронных пар датчика положения вала и датчика положения ротора жестко привязано к началам секций обмоток двигателя, а отверстия и шторки экрана – к положению постоянных магнитов.



Структурная схема электропривода сканера радиометра

Излучающий диод СД засвечивает фотодиод ФД. Сигнал фотодиода усиливается усилителем У и поступает в виде сигнала ПР (1, 2, 3) на схему управления. Схема управления по сигналам ПР1, ПР2, ПР3 формирует закон переключения силовых транзисторов выходного каскада.

Выходной каскад выполнен по схеме трехфазного мостового инвертора, нагрузкой которого являются обмотки электродвигателя 1Ф, 2Ф, 3Ф.

Задающий генератор с кварцевой стабилизацией частоты и делитель частоты определяют опорную частоту, которая на фазовом детекторе сравнивается с частотой, поступающей от датчика скорости ДС. Этот датчик вырабатывает за оборот $Z_{ДС}$ импульсов.

Таким образом, частота с датчика скорости ДС в $Z_{ДС}$ раз больше частоты вращения электродвигателя.

Когда частота с ДС достигнет опорной частоты, фазовый детектор будет выдавать сигнал пропорциональный разности фаз этих частот. Этот сигнал поступает сначала на фильтр, где сглаживается, а затем в широтно-импульсный модулятор (ШИМ).

На второй вход ШИМ подается сигнал от генератора пилообразного напряжения.

На выходе ШИМ получают сигнал, длительность которого пропорциональна разности фаз сравниваемых частот. Этот сигнал поступает на регулирующий транзистор VT , который задает напряжение на выходном инверторе.

Для питания всех микросхем используется стабилизатор напряжения, подключенный через сетевой фильтр.

Мощность потребления электропривода в установившемся режиме 4 Вт.

Для уменьшения воздействия со стороны вращающихся масс антенного блока на космический аппарат при разгоне и торможении применен двигатель-маховик (ДМ).

Сигналы датчика скорости ДС через развязывающие оптроны поступают на схему поддержания отношения частот вращения электродвигателя и ДМ.

Кинетический момент АБ и двигатель-маховика определяется соответственно:

$$K_{АБ} = J_{АБ} \Omega_{АБ}; K_{ДМ} = J_{ДМ} \Omega_{ДМ},$$

где $J_{АБ}$ – момент инерции АБ; $J_{ДМ}$ – момент инерции ДМ; $\Omega_{АБ}$ – угловая скорость АБ; $\Omega_{ДМ}$ – угловая скорость ДМ.

При наличии датчика частоты вращения у двигателя-маховика с числом импульсов на оборот

$Z_{ДМ}$, компенсация кинетического момента происходит если:

- оси вращения АБ и ДМ совпадают или параллельны;
- направления вращения противоположны;
- и выполняется соотношение:

$$J_{АБ}/J_{ДМ} = \Omega_{ДМ} / \Omega_{АБ}$$

или

$$T_{ДМ} = (J_{ДМ} Z_{ДС} / J_{АБ} Z_{ДМ}) T_{ДС},$$

где $T_{ДС}$ – период сигнала с ДС; $T_{ДМ}$ – период сигнала с ДМ.

При пуске и останове сканера необходимо поддерживать указанное соотношение (синхронизировать электродвигатели). Это достигается цифровой системой поддержания соотношения периодов. При пуске электропривод АБ подтормаживается, чтобы выдержать указанное соотношение скоростей. Это управление осуществляется по каналу СТОП. При останове ДМ удлиняет свой выбег в соответствии с сигналом, вырабатываемым системой поддержания соотношения периодов.

Неравномерность скорости вращения электропривода оценивалась на основании представления среднего квадрата вариации скорости вращения на интервале τ [3]:

$$D_{\omega}^2(\tau) = \frac{2}{(2\pi J_{АБ})^2} \sum_{k=1}^p \frac{a_k^2 + b_k^2}{(kv)^2} \sin^2(k\pi v\tau),$$

где a_k и b_k – спектральные составляющие момента $M(t)$ на частотах kv , ($k = 1, 2, \dots$), $v = 1/T$ – основная частота ряда Фурье функции $M(t)$, определенной на интервале T .

В спектре сигналов скорости вращения присутствует частота вращения, обусловленная остаточной несбалансированностью АБ, частота переключения обмоток двигателя и частота датчика скорости ДС.

Заметим также, что после проведения статической и динамической балансировки антенны радиометра низкочастотные составляющие спектра момента были почти полностью устранены.

Максимальный уровень полученной зависимости $D_{\omega}(\tau)$ снизился примерно на порядок и составил 0,03%. Период частоты вращения составил $2,8796 \pm 0,0005$ с.

В [4] приводятся данные по компенсации кинетических моментов, измеренные на специализированном стенде.

Измеренный на силоизмерительной платформе нескомпенсированный кинетический момент сканера в стационарном режиме составил $\pm 0,08 \text{ Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}$.

Приведенные данные показывают возможность получения приемлемых качественных показателей электропривода сканера радиометра при использовании простых инкрементных датчиков углов.

Литература

1. Федоров В.В. Синхронизированный тихоходный привод с бесконтактным двигателем постоянного тока / В.В. Федоров // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – М., 1987. – Т. 83. – С. 116 – 119.

2. Вращающееся контактное устройство с длительным ресурсом работы / В.Я. Авербух, К.А. Гамыгин, Е.М. Гнутов [и др.] // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – М.: ФГУП «НПП ВНИИЭМ», 2008. – Т. 107.

3. Измерение неравномерности угловой скорости вращения / Е.Е. Малаховский, В.В. Федоров // Электротехника. – 2001. – №3. – С. 55 – 60.

4. Определение динамических характеристик электроприводов космического назначения на специализированном стенде / В.Я. Авербух, А.Н. Аронзон, В.Я. Геча [и др.] // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – М.: ФГУП «НПП ВНИИЭМ», 2005. – Т. 102. – С. 40 – 50.

Поступила в редакцию 22.04.2008

Владимир Яковлевич Авербух, канд. техн. наук, зам. главного конструктора, т. 366-32-44.

Юрий Николаевич Прохоров, ведущий конструктор, т. 994-53-23.

Владимир Васильевич Федоров, канд. техн. наук, начальник лаборатории, т. 366-20-56.

E-mail: vniiem@vniiem.ru.