

ОСОБЕННОСТИ ДВИГАТЕЛЕЙ ВОЗВРАТНО-ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ДЛЯ ПРИВОДА РУЧНОГО ИНСТРУМЕНТА

Филоменко А.А., ведущий инженер

Институт электродинамики НАН Украины

Вступление. Возвратно-вращательное движение (ВВД) используется во многих отраслях народного хозяйства и может быть реализовано с помощью механического преобразователя движения, вал которого кинематически соединен с вращающимся электродвигателем [1]. Вторым способом реализации привода ВВД является создание безредукторных электромеханических преобразователей энергии.

В машиностроении ВВД применяется для шлифовки и сварки трением, в текстильной и кабельной промышленности для раскладки нити или кабельной продукции при намотке на катушки. В испытательной технике ВВД применяется в калибровочных стендах, в испытаниях на прочность, в моделировании вибронагрузок и для измерения моментов инерции. В системах радиолокации применяют привода обеспечивающие ВВД перемещения антенны в пределах заданной зоны наблюдения, а в устройствах сканирования, например, в приводах оптических каналов системы ориентации космического аппарата. Это далеко не полный перечень областей техники, где применяются такой тип движения рабочего органа [2].

Такое разнообразие использования ВВД в хозяйстве можно было бы дополнить специальным режущим, шлифовальным и полировальным ручным инструментом, приборами медицинской практики для обработки послеоперационных рубцов и швов, для проведения процедур лимфодренажа, дерматонии и микрошлифовки кожи, а также в многофункциональных средствах аппаратной косметологии.

Режим ВВД электромеханической системы должен быть регулируемым потому, что правильный подбор его параметров существенно снижает усилие обработки, повышает стойкость инструмента, улучшает качество изделий и увеличивает производительность труда. Для достижения бесшумности работы, повышения безопасности применения таких систем, управления параметрами движения рабочего органа системы необходимо строить не прибегая к дополнительным механическим передачам.

Цель работы состоит в обзоре основных способов реализации ВВД вала электрических машин разных типов и реализации привода ВВД ручного инструмента на основе бесконтактного магнитоэлектрического двигателя (БМД).

Материалы и результаты исследований. Исходя из того, что характер движения магнитного поля машины обуславливает закон движения ротора, то для получения ВВД необходимо, чтобы обмотки, подключенные к источнику питания (тока или напряжения), создавали в воздушном зазоре машины качающееся магнитное поле. Магнитное поле называют качающимся, если

перемещение пространственного результирующего вектора потокосцепления можно описать периодическим законом [3].

В приводах замкнутого типа для реализации ВВД используются автоколебания, такие приводы с последовательно соединенными генератором и двигателем постоянного тока легко реализуются на серийных электрических машинах. Но они не могут обеспечить широких диапазонов регулирования параметров режима ВВД, и созданный таким способом движения являются квазисинусоидальными и не регулируются [4].

ВВД асинхронного двигателя может возникнуть при питании через конденсаторы; при питании двухфазных АД с использованием линейной фазовой модуляции; при разночастотном питании фаз, за счет непрерывного фазового сдвига между питающими напряжениями; при питании одной фазы постоянным током, а другой – переменным. Существенным недостатком подобных приводов является наличие большого числа звеньев преобразования энергии, что негативно влияет на энергетические показатели [4].

Перспективными, могут быть привода ВВД на основе машин двойного питания, у которых имеются на роторе две взаимно перпендикулярные обмотки, подключенные параллельно обмоток на статоре [2].

В синхронном двигателе ВВД достигается тем, что при питании одной из обмоток статора постоянным током, а другой – переменным, дополнительно измеряют переменные напряжения и ток второй обмотки и устанавливают величину постоянного тока в первой обмотке такой, при которой электрические колебания во второй обмотке находятся в резонансном режиме [5]. Такие приводы имеют хорошие моментные характеристики, но требуют сложной системы управления.

Для реализации возвратно-вращательного режима работы рабочего органа

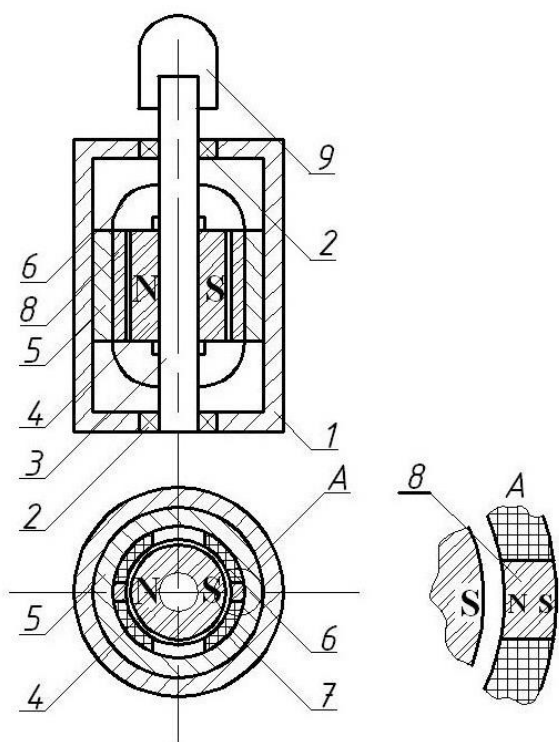


Рисунок 1 - Схема построения БМД ВВД

целесообразно применять исполнительный двигатель построенный по безконтактной магнитоэлектрической схеме.

Общая схема построения бесконтактного двигателя магнитоэлектрического типа, для реализации возвратно-вращательного движения ротора приведена на рис. 1 [6]. БМД ВВД представляет собой структуру, состоящую из беспазового статора в корпусе 1 с обмоткой из двух катушек 6 и 7, внешним массивным нешихтованным магнитопроводом 5 и дополнительным постоянным магнитом для реализации магнитной пружины 8, а также подвижного ротора на подшипниковых опорах 2 с

основным двухполюсным постоянным магнитом 4 на валу 3 которого прикреплен рабочий орган 9 (например, абразивная насадка)

Благодаря взаимодействию магнитных полей неподвижного магнита 8 и магнита ротора 4 при обесточенной обмотке достигается принудительная ориентация ротора в положение, при котором его полюса располагаются против активных частей катушек 6 и 7. Магнитное взаимодействие между магнитами ротора и статора обеспечивает упругую связь между ними, благодаря чему рассматриваемая магнитная система находится в положении устойчивого равновесия.

Пока обмотка не подключена к источнику питания, ротор занимает положение, соответствующее рис.1, при котором оси намагничивания магнитов ротора и статора расположены в одной плоскости. При подключении обмотки к источнику тока возникает электромагнитный момент, который выводит ротор из положения устойчивого равновесия, и отклоняет его на угол, при котором электромагнитный момент обмотки уравнивает момент магнитного взаимодействия ротора с магнитом статора. Для реализации принудительного ВВД в обмотке статора должен быть возбужден переменный ток, изменяющийся по периодическому закону. Изменение направления тока в обмотке приводит к отклонению ротора в противоположную сторону.

Математическая модель БМД ВВД описывается следующими уравнениями [7]:

$$L \frac{di}{dt} = -k_m \cdot \omega \cdot \cos \alpha - i \cdot R + U; \quad M_D = k_m \cdot i \cdot \cos \alpha; \quad M_B = k_B \cdot \omega; \quad M_\alpha = k_\alpha \cdot \sin \alpha;$$

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_D - M_B - M_\alpha - M_\Pi - M_H; \quad \frac{d\alpha}{dt} = \omega,$$

где ω , α – угловая скорость и угол поворота вала ротора; L , R – индуктивность и активное сопротивление обмотки статора; i , U – ток и управляющее напряжение статора, изменяющееся по гармоническому закону; k_m – коэффициент момента двигателя; J – момент инерции ротора; M_B , M_α , M_Π , M_H – моменты вязкого трения, упругости магнитной пружины, реактивный момент подшипников и момент нагрузки; k_B , k_α – коэффициенты вязкости и упругости.

Реактивный момент подшипников определяется по выражению $M_\Pi = k_\Pi \cdot \text{sign}(\omega)$, где k_Π – момент сопротивления подшипников. Механическая нагрузка БМД описывается зависимостью $M_H = k_H \cdot \omega$, где k_H – коэффициенты вязкой нагрузки двигателя.

Для иллюстрации работы БМД ВВД проведен расчет мгновенных значений переменных – управляющего напряжения u и тока i статора, а также угловой скорости ω и угла поворота вала ротора α при следующих параметрах системы $f=10\text{Гц}$, $U=14\text{В}$; $L=0,012\text{Гн}$; $R=40\text{Ом}$; $k_{m1}=0,125\text{Н}\cdot\text{м}/\text{А}$; $k_B=0,000065\text{Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}/\text{рад}$; $k_\alpha=0,0448\text{Н}\cdot\text{м}/\text{рад}$; $J=0,0000024\text{кг}\cdot\text{м}^2$; $k_\Pi=0,0002\text{Н}\cdot\text{м}$; $k_H=0,0017\text{Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}/\text{рад}$.

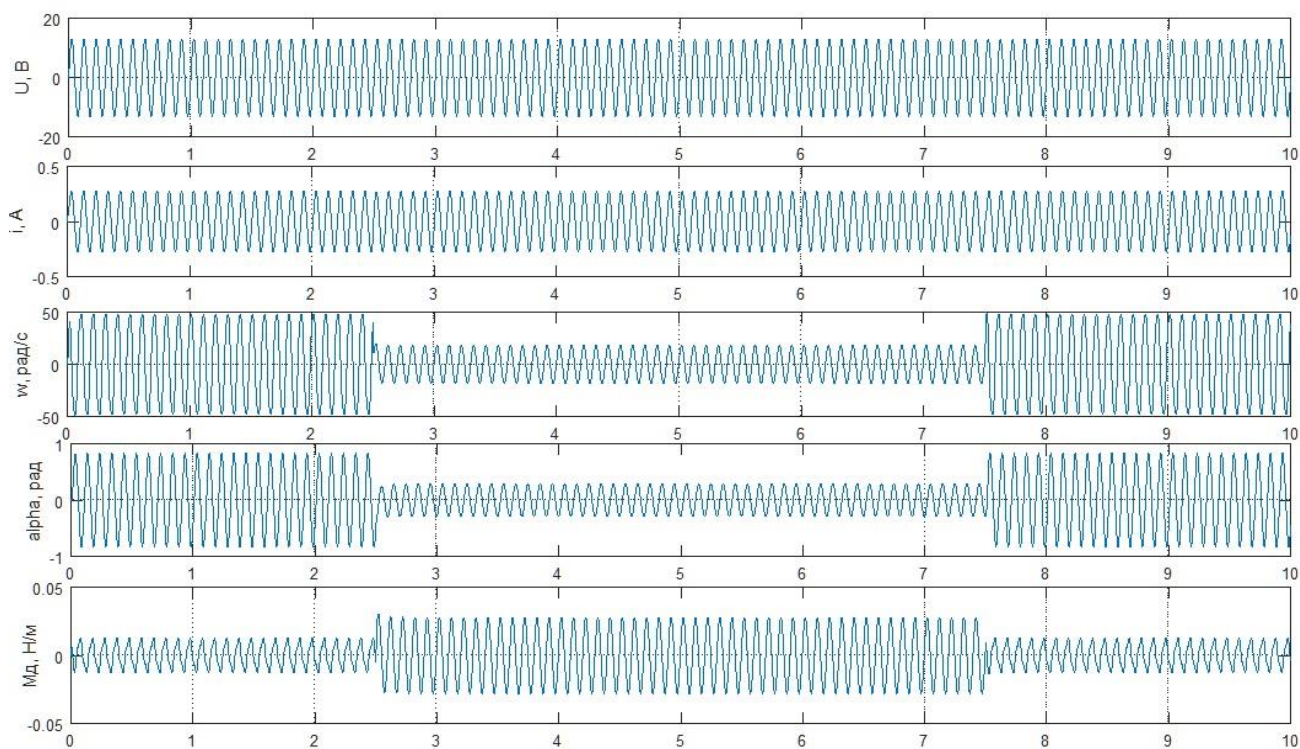


Рисунок 2 – Электромеханические характеристики БМД ВВД

Выводы. БМД ВВД имеет простую структуру построения, которая включает постоянные магниты, что улучшает его технологические и энергетические показатели, управление формой питающего гармонического напряжения позволяет добиваться необходимых параметров движения, магнитная пружина на статоре позволяет работать на резонансных частотах и фиксировать ротор в положении нейтрали.

Перечень ссылок

1. Григорьев И.Ю., Васин В.А., Ивашов Е.Е., Степанчиков С.В. Проектирование механических устройств сканирования с электроприводами малой мощности (часть 1) // Антенны, выпуск 3(178), 2012. С.61-66.
2. Аристов А.В. Современное состояние и перспективы развития машин двойного питания в составе электропривода колебательного движения // Известия Томского политехнического университета. 2004. т. 307. № 6. с. 135-139.
3. Черных Д.В. Разработка и математическое моделирование замкнутых колебательных асинхронных электромеханических систем с частотным управлением.: Автореф. дис. канд. техн. наук. Воронеж. 2001. 24 с.
4. Луковников В.И. Электропривод колебательного движения. М.: Энергоатомиздат, 1984. 152 с.
5. Копейкин А.И., Малафеев С.И., Способ управления синхронным двигателем в режиме колебаний. Патент РФ № 2025890. 1991.
6. Антонов А.Е., Петухов И.С., Филоменко А.А. Магнитоэлектрический двигатель возвратно-вращательного движения с упругой связью ротора // Технічна електродинаміка. 2013. №1. С. 49–55.
7. Акинин К.П., Киреев В.Г., Филоменко А.А., Лавриненко, Е.М. Михайлик Исследование электромеханических характеристик бесконтактных магнитоэлектрических двигателей возвратно-вращательного движения // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. Київ: ІЕД НАН України, 2019. Вип. 54. С. 47-51.