УДК 681.51 (075.8)

МАГНИТНАЯ ЛЕВИТАЦИЯ ДЛЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ СИСТЕМ КООРДИНАТ В ВАКУУМЕ

Карабан Г.А., Прохорович С.С.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Реализация движения в прецизионных системах координат в вакууме является важным аспектом для различных сфер производства и науки. К примеру, обладая техническим вакуумом и высокой точностью перемещения стола установки, становится возможным создание глубокого ультрафиолета (длина волны около 13.5 нм) для использования его в экстремальной литографии. На сегодняшний день, для реализации точно позиционирования в условиях вакуума разработан принцип магнитной левитации [1].

Магнитная левитация достигается активным контуром управления, в котором измеряется положение и управляются магнитные поля для подвешивания и позиционирования объекта. Эти системы нашли свое широкое применение в различных оптических установках, турбомолекулярных насосах и др.

Благодаря своей бесконтактной природе и совместимости с вакуумом активная магнитная левитация обещает стать технологией, подходящей для следующего поколения высокоточных позиционирующих машин. Об этом свидетельствует растущее число новых патентных заявок на данные системы.

Рассмотрим один из основных вариантов реализации магнитных приводов, которые применяются в системах точного позиционирования в вакууме – IU-модуль [2].

IU-модуль изначально разработан как электромагнитный привод с 2 степенями свободы для приведения в действие подвески и тягового усилия. Приводные усилия генерируются без каких-либо проводов, подсоединенных к подвижной части привода.

Благодаря своим беспроводным возможностям и компактному дизайну IU-модуль потенциально может стать модульным приводом, совместимым с вакуумом, для использования в прецизионных системах нового поколения.

Сила подвески генерируется силой противодействия, в то время как движущая сила использует силу Лоренца. Данный привод способен создавать 2 дополнительных крутящих момента, помимо сил инерции и тяги.

Принципиальная схема IU-модуля показана на рис. 1.

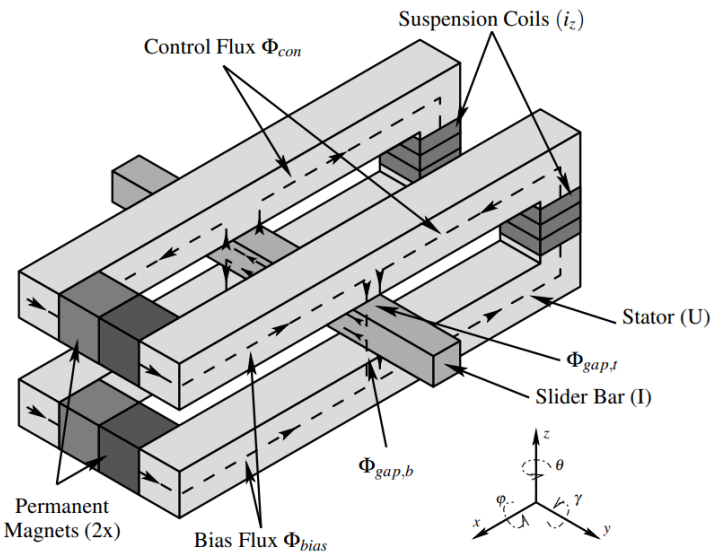

Рисунок 1 - IU-модуль, показывающий упрощенные траектории потока, влияющие на усилие подвески на ползунке.

На рисунке изображены I-образный ползун и U-образные стержни статора. Привод способен подвешивать I-образный стержень в направлении z и перемещать его в направлении движения x. IU-модуль способен генерировать усилие подвески в направлении z и толкающее усилие в направлении x на ползуне. Как ползун, так и статор изготовлены из ферромагнитных материалов.

Далее будет рассмотрен принцип действия IU-модуля. Траектории потока указаны на рис. 1.

$$F_z = \frac{1}{2}\frac{\Phi_{gap,t}^2 - \Phi_{gap,b}^2}{\mu_0 A_{gap}}$$

Постоянный магнит создает поток смещения Φ_{bias}, проходящий через стержни статора, проходящий через воздушные зазоры и попадающий в ползунок. Затем поток смещения проходит по длине ползунка и возвращается обратно через стержень статора на противоположной стороне IU-модуля. Аналогичная траектория потока на нижней стороне IU-модуля генерируется нижним постоянным магнитом. Ток i_z, проходящий через подвесные катушки, генерирует управляющий поток Φ_{con} на задней панели IU-модуля [3]. Этот поток проходит свой путь через стержни статора, проходит через зазор в ползунок и затем возвращается непосредственно через нижний стержень статора. Эта схема создает избыток потока в верхнем зазоре:

$$\Phi_{gap,t} = \Phi_{bias} + \Phi_{con}$$

При этом создается дефицит потока в нижнем зазоре:

$$\Phi_{gap,b} = \Phi_{bias} - \Phi_{con}$$

Результирующее усилие на каждой стороне ползунка приблизительно равно:

$$F_z = \frac{1}{2}\frac{\Phi_{gap,t}^2 - \Phi_{gap,b}^2}{\mu_0 A_{gap}}$$

где A_{gap} - площадь зазора, а где μ0 - проницаемость свободного пространства.

Поток смещения локально линеаризует усилие подвески F_z относительно управляющего тока i_z и z-положения подвески. Линеаризованное усилие в направлении подвески может быть описано формулой:

$$F_z = -k_{zz} \cdot z + h_{zz} \cdot i_{zz}.$$

Здесь k_{zz} и h_{zz} - константы жесткости и приведения в действие, зависящие от геометрии и свойств материала. Отрицательная жесткость, k_{zz}, в сочетании со смещением ползуна по z позволяет компенсировать статическую нагрузку без расхода энергии. Привод способен совершать небольшой ход в направлении z, составляющий до нескольких миллиметров. Точка приложения прижимной силы, F_z, перемещается вместе с ползунком, когда он перемещается в направлении движения по оси x.

Выводы:

1.реализовать перемещение в прецизионной системе координат в условиях вакуума возможно с помощью использования магнитной левитации;

2.IU-модуль - один из основных вариантов реализации магнитных приводов, которые применяются в системах точного позиционирования в вакууме;

3.был рассмотрен IU-модуль с 2 степенями подвижности и его принцип действия;

4.данный привод, помимо сил инерции и тяги, данный привод способен создавать 2 дополнительных крутящих момента.

1. A. Peijinenburg, J. Vermeulen, and J. Eijk. Magnetic levitation systems compared to conventional bearing systems Vol.83, No.4-9 – 2006. – 1375 c.
2. W. Kim and D. Trumper. High-precision magnetic levitationstage for photolithographym – 1998. – 650 c.
3. Prof.dr.ir. J. Eijk. Mechatronic Design of an electromagnetically Levitated Linear Positioning System / Prof.dr.ir. H. van Brussel, Dr.ir. A. Molenaar – Netherlands, 2009. – 230c.