

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ВОЗДУШНОГО ЗАЗОРА НА ВЕЛИЧИНУ СИЛЫ ОДНОСТОРОННЕГО ПРИТЯЖЕНИЯ РОТОРА К СТАТОРУ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ

Для вентильно-индукторной электрической машины приведены расчет и анализ данных по силе одностороннего притяжения ротора к статору, возникающей при неравномерном воздушном зазоре. Для компенсации отрицательного влияния такого приближения предлагается использовать возможности системы управления.

Для вентильно-індукційної електричної машини наведені розрахунок і аналіз даних щодо односторонньої сили притягування ротора до статора, яка виникає в результаті неоднакового повітряного проміжку. Для компенсації негативного впливу такого тяжіння пропонується використувувати можливості системи керування.

For gate-inductor electric machine are calculated and analyzed data on force unilaterally attraction of the rotor to the stator, which arises when non-uniform air gap. To compensate the negative impact of such an approximation is proposed to use the capabilities of the management system.

Вентильно-индукторная электрическая машина (ВИМ) благодаря таким положительным свойствам, как простота конструкции и высокие энергетические показатели, имеет реальную перспективу использования в составе тягового электропривода на железнодорожном транспорте.

Основной недостаток ВИМ - высокий уровень вибрации и шума в частотном диапазоне наибольшей чувствительности уха, что не позволяет в полной мере конкурировать с асинхронной машиной.

Для улучшения энергетических показателей электрических машин стремятся уменьшить воздушный зазор. Однако вследствие люфта в подшипниках, технологических погрешностей изготовления конструктивных элементов растет степень несимметрии магнитной системы [1]. Относительная разность величины воздушного зазора в противоположно расположенных зубцах статора возрастает, появляются неуравновешенные силы одностороннего притяжения ротора к статору в месте наибольшей проводимости воздушного зазора. Они могут значительно превышать касательные силы, создающие вращающий момент. Увеличивается виброактивность электрической машины и, как следствие, шум.

Интенсивность шума возрастает с увеличением диаметра подшипника, сил одностороннего магнитного притяжения, неуравновешенности ротора и др. Допустимые радиальные зазоры в подшипниках скольжения и качения соизмеримы с величиной воздушного зазора ВИМ. Во время эксплуатации допускается удвоенная величина максимальных зазоров. Точное изготовление ВИМ с равномерным воздушным зазором невозможно, поэтому требуется выработать алгоритм принятия решения о допусках в размерной цепи магнитной системы. Для этого необходимо определить величину неуравновешенной силы одностороннего притяжения при различной степени несимметрии магнитной системы.

Расчеты магнитного поля проводились методом конечных элементов при сдвиге ротора с шагом

0,3 мм в направлении вертикально вниз для четырехфазной ВИМ с внешним диаметром статора 750 мм, диаметром ротора 587 мм, длиной пакета магнитопровода 920 мм, величиной воздушного зазора 1,5 мм.

ВИМ используется в составе тягового электропривода и управляется силовым преобразователем. Алгоритм управления формирует различные режимы работы ВИМ и оказывает существенное влияние на величину неуравновешенных сил. Из возможных вариантов были рассмотрены два наиболее характерных режима работы ВИМ: номинальный одноимпульсный режим и работа с ограничением тока на номинальной величине (токовый коридор).

На рис.1 показаны расчетные параметры номинального одноимпульсного режима.

Как видно из рис.1, при смещенном роторе в конце цикла коммутации неуравновешенные силы притяжения ротора к статору резко возрастают. На это влияют две причины. Первая – это рост магнитной проводимости воздушного зазора при сближении зубцов статора и ротора, а вторая связана с тем, что спадающий ток обмотки находится как раз в диапазоне значений, при котором неуравновешенная сила близка к максимуму.

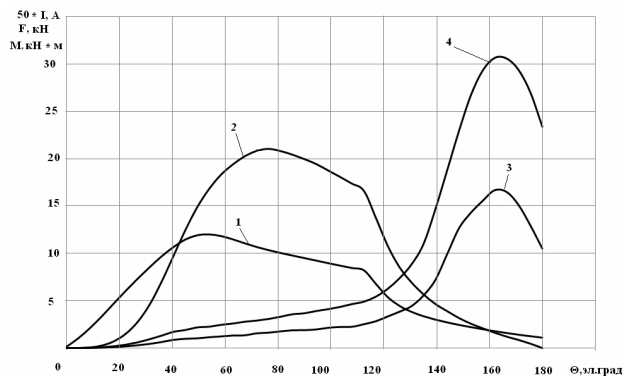


Рис.1. Расчетные значения параметров ВИМ в двигательном режиме: 1 – ток в активной фазе; 2 – момент; 3 – односторонние силы при сдвиге ротора на 0,3 мм; 4 – при сдвиге ротора на 0,6 мм

Вторая причина следует из рис.2, где изображены результаты расчетов неуравновешенных сил притяжения статора к ротору при совпадении зубцов ротора и статора в функции тока в обмотке.

Максимум силы достигается в конце линейного участка кривой намагничивания магнитопровода. При дальнейшем росте намагничивающих сил индукция в уменьшенном и увеличенном зазорах постепенно выравнивается, и неуравновешенная сила уменьшается. При завершении цикла коммутации, когда зубцы статора и ротора близки к соосному расположению, спадающий ток в обмотке как раз приходится на самую неблагоприятную зону значений, при которой сила притяжения достигает значительных величин.

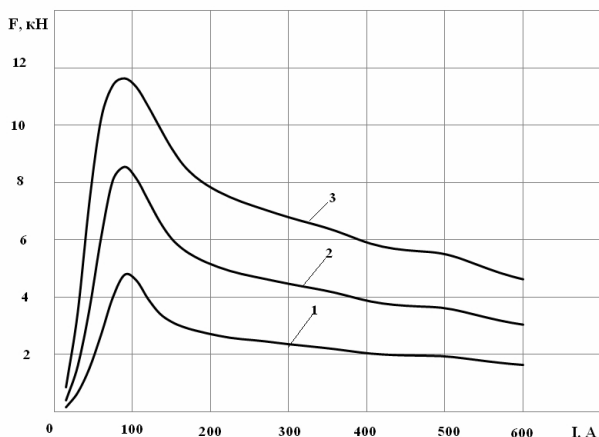


Рис.2. Расчетные параметры ВИМ при совпадении зубцов ротора с возбужденными зубцами статора: 1 – односторонние силы при сдвиге на 0,3 мм; 2 – при сдвиге на 0,6 мм; 3 – при сдвиге на 0,9 мм

Для оценки соотношения касательной силы, создающей полезный вращающий момент, и неуравновешенной силы, создающей тяжения и вибрации, была сделана серия расчетов при положении ротора, когда момент достигает максимальной величины. На рис. 3 и 4 представлены результаты расчетов неуравновешенных сил и вращающего момента.

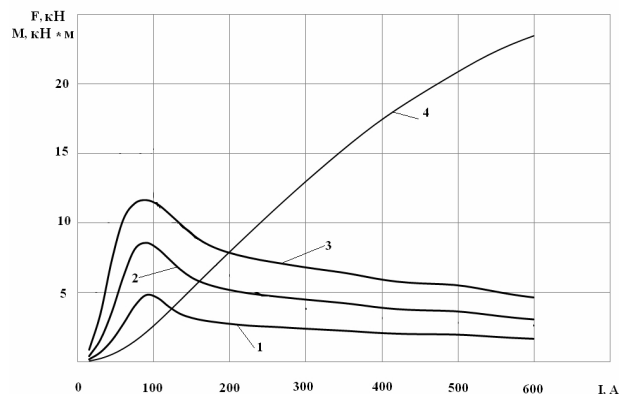


Рис.3. Расчетные параметры ВИМ: 1 – односторонние силы при сдвиге ротора на 0,3 мм; 2 – на 0,6 мм; 3 – на 0,9 мм; 4 – момент при сдвиге ротора на 0,3 мм

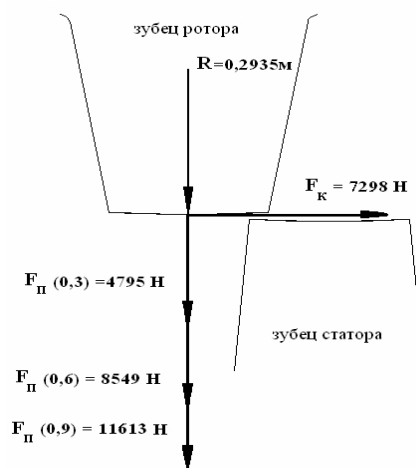


Рис.4. Расчетные значения касательной силы и силы одностороннего притяжения при токе 90 А

Расчеты выполнены для одного идеального вида асимметрии ротора – параллельного сдвига оси симметричного ротора в ту или иную сторону. Реально ось ротора может быть наклонена в пределах допусков на изготовление относительно оси статора, да и сам ротор может иметь нецилиндрическую форму. В итоге магнитная цепь является асимметричной и имеет место одностороннее притяжение ротора к статору.

Для снижения влияния неуравновешенных сил в магнитной системе ВИМ представляется целесообразным в полной мере реализовать возможности системы управления для компенсации конструктивной асимметрии, искусственно вводимой асимметрией намагничивающих сил для снижения результирующей магнитной асимметрии. Для этого катушки обмотки статора одной фазы должны питаться через отдельные полупроводниковые ключи, работающие в режиме регулируемого токового коридора.

Список использованной литературы

Шубов И.Г. Шум и вибрация электрических машин / И.Г. Шубов.– Л: Энергоатомиздат, 1986.– 208 с.

Получено 14.07.2011



Петрушин Александр Дмитриевич,
д. т. н., проф., зав. каф. «Электрический подвижной состав» РГУПС,
г. Ростов-на-Дону,
пл. Народного Ополчения, д.2,
тел. +79034331685
e-mail: alex331685@yandex.ru



Илясова Екатерина Евгеньевна,
аспирантка каф. «Электрический подвижной состав» РГУПС,
г. Ростов-на-Дону, пл. Народного Ополчения, 2,
E-mail: ekaterinailjasova@rambler.ru.