

И.А. Дорош, М.Г. Снегирев, С.В. Тарасов

**РАЗРАБОТКА ТЕСТОВОГО СТЕНДА
ИНДУКЦИОННОГО ПОДВЕСА РОТОРОВ
РАДИАЛЬНО-ОСЕВЫХ ВЕТРОТУРБИН**

Аннотация. Рассмотрен вопрос применения одной из разновидностей системы индукционного подвеса роторов радиально-осевых ветротурбин. Разработан тестовый стенд для измерения параметров системы подвеса.

Ключевые слова. Системы магнитного подвеса, индукционный подвес, испытательный стенд.

Определенным недостатком традиционных систем магнитолевитирующих индукционных подвесов является малая подъемная сила при малых относительных скоростях магнитной системы и проводящего трека. Данная особенность существенна для систем подвеса роторов радиально-осевых ветротурбин, для которых предъявляются повышенные требования по увеличению подъемной силы и уменьшению сил сопротивления вращению при их раскрутке с неподвижного состояния [1].

Альтернативой указанному выше типу систем индукционного подвеса, в которых токи в проводящем треке создаются в результате его относительного движения в постоянном поле магнитной системы, являются системы индукционного подвеса, токи в проводящем треке которых создаются переменным во времени магнитным полем, создаваемым высокочастотным током в обмотке специального электромагнита. Данный вид систем подвеса обладает возможностью создавать существенную подъемную силу при малых и нулевых скоростях движения частей подвеса, при сохранении таких преимуществ индукционного подвеса как жесткость и устойчивость подвеса, а высокая частота изменения магнитного поля повышает его эффективность. Недостатком такой системы является необходимость наличия внешнего источника электропитания, что, однако, не является существенной проблемой для систем подвеса роторов ветрогенераторов.

Относительно малая исследованность этой разновидности индукционных подвесов, по сравнению с традиционными, делает актуальной задачу разработки и построения стенда для оценки эффективности и отладки отдельных элементов подвесов такого типа.

Одним из существенных элементов подвеса такого типа является высокочастотный источник питания электромагнита, эффективно работающий на индуктивную нагрузку и генерирующий выходной высокочастотный ток большой величины при относительно малом выходном напряжении. Наиболее привлекательным схемотехническим решением такого генератора будет резонансный генератор, нагруженный на колебательный контур [3-4]. Параллельный колебательный контур, включающий в себя электромагнит системы подвеса и блок конденсаторов, позволяет эффективно рекуперировать энергию магнитного поля электромагнита, что многократно повышает КПД устройства. Отношение действующего тока в электромагните к среднему току во внешней цепи при этом описывается выражением

$$I_L / I_{внеш} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{C}{L}}, \quad (1)$$

где C – емкость батареи рекуперирующих конденсаторов, а L и R – индуктивность и сопротивление электромагнита подвеса. Таким образом, ток непосредственно в электромагните будет существенно выше тока в цепях блока питания, которые при этом должен будет лишь компенсировать омические потери в обмотке электромагнита.

Однако, данный вид источника питания не обладает гибкостью выходных параметров, требуемой для использования его в качестве стендового источника питания, применяемого при испытании широкого диапазона модельных систем индукционного подвеса. Поэтому, в качестве схемотехнического решения для стендового источника питания была избрана модификация резонансного источника – мостовой квазирезонансный источник питания. Он позволяет широко варьировать частоту и амплитуду выходного тока, при сохранении экономичности свойственной резонансным источникам питания [5].

Рассматриваемый стенд начального уровня состоит из квазирезонансного источника питания, набора тестовых электромагнитов и проводящих подложек.

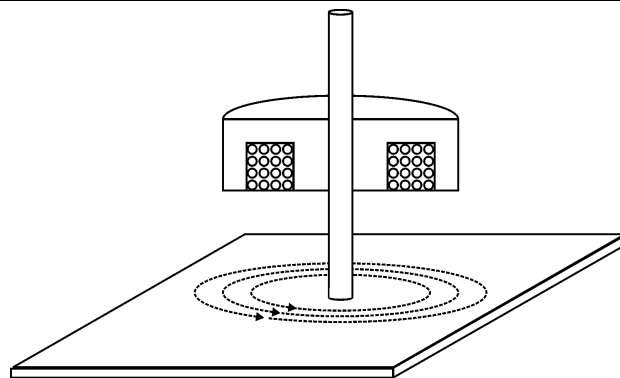


Рисунок 1

Тестовые электромагниты подключаются к источнику переменного напряжения и располагаются на заданной высоте над тестовой проводящей поверхностью (Рисунок 1). Подъемная сила системы определяется динамометрически, потери энергии в подвесе – путем измерения действующего значения тока в цепи электромагнита. Стенд позволяет получать модельные экспериментальные данные в широком диапазоне частот питающего напряжения и токах до 25 ампер и верифицировать проведенные ранее теоретические расчеты [2].

В качестве электромагнитов используются половинки ферромагнитных сердечников фирмы EPCOS типоразмеров PQ32 – PQ50 с проницаемостью 2000 – 2200 единиц и диаметром 3-5 см. Такие сердечники имеют достаточную магнитную проницаемость и малые потери в диапазоне до 100-200 кГц. Намотка катушки осуществляется медным проводом диаметром 0.3-1 мм.

В качестве проводящих подложек могут использоваться сплошные медные и алюминиевые проводящие листы, профилированные листы или наборы плоских замкнутых катушек.

Наиболее важной частью стенда является управляемый высокочастотный источник питания с микропроцессорным управлением. Он собран по мостовой квазирезонансной схеме и позволяет выдавать на индуктивные нагрузки переменное напряжение заданной частоты частоты 300-50000 герц, напряжением 7-20 вольт и током до 25 ампер, с возможностью его ограничения до заданной величины.

Блок питания состоит из силовой цифровой части, а также вспомогательных цепей. Силовая часть состоит из моста на полевых транзисторах IRL3715S, драйверов силовых ключей IR2110 и батареи рекуперационных конденсаторов, набранных из 10 пленочных SMD конденсаторов емкостью 10 мкф, максимальным напряжением 50 В и

максимальным пиковым током 3.25 А, а также двух электролитических конденсаторов 1000 мкф 50 В с низкой внутренним сопротивлением, предназначенным для уменьшения переходных процессов в цепи вход-блок конденсаторов. Величина пикового тока в цепи катушки контролируется отдельным резистором-шунтом.

Основой цифровой части блока питания является микроконтроллер PIC16F688 фирмы Microchip. Он осуществляет управление ключами моста, задание нужной частоты переключения плеч силового моста и ограничение пикового тока через электромагнит [6]. Тактовая частота микропроцессора задается кварцевым резонатором частотой 20 МГц. Частота выходного напряжения и величина пикового тока задается двумя потенциометрами. Дополнительно предусмотрен переключатель режимов работы и ожидания, режим работы индицируется светодиодом. Блок питания подключается к источнику регулируемого постоянного напряжения 7-20 вольт и максимальным током 5 ампер.

После подачи внешнего питания, микроконтроллер выполняет процедуру инициализации и настройки оборудования, и при включенном выключателе SW1 переходит в режим работы. В этом режиме, он попеременно подключает выводы тестового электромагнита к банку конденсаторов. При этом, ток в катушке электромагнита меняется как

$$I_L(t) = I_0 + \frac{U}{R} \left(1 - e^{-\frac{Rt}{L}}\right), \quad (2)$$

где t - время прошедшее от начала текущего цикла. Установившееся пиковое значение точки в катушке электромагнита составляет

$$I_{Lmax} = \pm \frac{U}{2R} \left(1 - e^{-\frac{R}{2fL}}\right), \quad (3)$$

где f - заданная частота выходного напряжения, задаваемая оцифровкой напряжения потенциометра. При достижении времени конца цикла, производится переключение плеч моста, при этом энергия запасенная в магнитном поле тестового электромагнита не рассеивается, а возвращается в рекуперационные конденсаторы. Ток проходящий через катушку создаёт падение напряжение на шунте, которое сравнивается с референсным напряжением потенциометра. При превышении напряжения над референсным, микропроцессор производит

переключение плеча моста, ограничивая таким образом пиковый ток через электромагнит и ключи моста. При переводе переключателя режима работы в выключенное состояние микропроцессор переходит в режим ожидания, при этом выводы электромагнита через ключи закорачиваются на нулевой провод.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тарасов С.В. Магнитолевитирующий подвес роторов вертикально-осевых ветроэлектрических установок с Н-ротором Дарье на базе массива Хальбаха / С.В. Тарасов, М.Г. Снегирев, И.А. Дорош // Техническая механика. – 2010. – №1. – с. 94-103.
2. Дорош И.А. Разработка алгоритма и программного средства для расчета параметров магнитного поля магнитного подвеса энергетической установки / И.А. Дорош, М.Г. Снегирев, С.В. Тарасов // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – 2011. – №5(76). – с.84-90
3. Hong Huang, Designing an LLC Resonant Half-Bridge Power Converter, Texas Instruments, 2011
4. Ya Liu, High Efficiency Optimization of LLC Resonant Converter for Wide Load Range, Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, 2007
5. Мэк Р., Импульсные источники питания. Теоретические основы проектирования и руководство по практическому применению , 2008.
6. Болл Р., Аналоговые интерфейсы микроконтроллеров, М:2007.