

**АВТОНОМНАЯ ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ
НА БАЗЕ АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА**

Рассмотрена возможность применения асинхронной машины в качестве генератора для автономной ветроэлектростанции, работающей совместно с аккумуляторной батареей. Предложена структурная схема системы и алгоритмы управления преобразователем частоты и зарядным устройством

В связи с увеличением цен на энергоносители наблюдаются неуклонная тенденция перехода на автономное снабжение домов, коттеджей энергией, в том числе электрической. В мире солнечные батареи на крышах домов и мачта ветроэлектростанции (ВЭС) возле дома – не такая уж редкость. И поэтому интеллектуальный потенциал наших вузов не должен оставаться в стороне от этих направлений деятельности и применить свои знания на повышение эффективности автономных источников энергии.

Традиционно автономные ВЭС строятся на основе синхронных генераторах с постоянными магнитами [1 – 3], или обмоткой возбуждения [4]. Существуют так же ВЭС, использующие генераторы постоянного тока, но они не получили большого распространения из-за повышенной изнашиваемости и низкой надежности щеточно-коллекторного узла. В то же время использование асинхронных машин в автономных ВЭС ограничено необходимостью применения силовой электроники управления ими.

Цель работы – создание автономной ветросиловой установки, работающей совместно с аккумуляторной батареей (АКБ), в которой в качестве генератора выступает асинхронная машина (АМ), отличающаяся своей дешевизной, простотой в обслуживании и доступностью.

Электромагнитная мощность 3-фазной АМ приближенно (без учета потерь холостого хода) может быть определена выражением

$$P = \frac{3U_{\phi}^2 \left(r_1 + \frac{r_2'}{s} \right)}{\left(x_1 + x_2' \right)^2 + \left(r_1 + \frac{r_2'}{s} \right)^2}, \tag{1}$$

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0}, \tag{2}$$

- где U_{ϕ} – фазное напряжение, В;
 r_1 – активное сопротивление статора, Ом;
 r_2' – приведенное активное сопротивление ротора, Ом;
 x_1 – реактивное сопротивление рассеяния статора, Ом;
 x_2' – приведенное реактивное сопротивление рассеяния ротора, Ом;
 s – скольжение;
 n_0 – синхронная частота вращения вала, об/мин;
 n – текущая частота вращения вала, об/мин.

¹ ПГТУ, аспирант

² ПГТУ, канд. техн. наук, доц.

³ ПГТУ, ст. преп.

⁴ ПГТУ, аспирант

При работе АМ с отрицательным скольжением иногда возникает ситуация, когда $P < 0$. В этом режиме АМ отдает активную мощность в питающую сеть. При этом реактивная мощность АМ всегда положительна и расходуется на поддержание вращающегося магнитного поля.

Однако введение АМ в генераторный режим в условиях отсутствия внешней сети представляет определенные трудности. Необходимо создать в машине вращающееся поле с частотой, меньшей частоты вращения ротора. Для этого предложено применить схему управления (рис.1), содержащую преобразователь частоты (ПЧ) с промежуточным звеном постоянного тока и датчик скорости (ДС) вращения ротора. При работе в генераторном режиме (с отрицательным скольжением) активная мощность с АМ передается в звено постоянного тока. Это приводит к повышению напряжения на сглаживающем конденсаторе $C1$. Для “откачки” полезной мощности и недопущения неконтролируемого повышения постоянного напряжения применено зарядное устройство (ЗУ) на элементах $VT1-VT4$, $T1$, $D1$, $D2$, $L1$, представляющее собой мостовой высокочастотный понижающий преобразователь. Отличительной особенностью ЗУ является его нерегулируемость. Ключи моста ЗУ работают со скважностью 50 % и формируют на первичной обмотке трансформатора меандр с амплитудой, равной напряжению звена постоянного тока. На вторичной обмотке трансформатора появляется ЭДС, равная $E_2 = U_{\text{пост}}/K$, где $U_{\text{пост}}$ – напряжение на конденсаторе $C1$, K – коэффициент трансформации $T1$.

При этом, в случае, когда ЭДС E_2 меньше напряжения АКБ $U_{\text{АКБ}}$, то диоды выпрямителя $D1, D2$ заперты и ЗУ работает в режиме холостого хода. Ток заряда при этом равен нулю. Как только АМ переходит в генераторный режим и ЭДС E_2 превышает $U_{\text{АКБ}}$, диоды выпрямителя попеременно отпираются и во вторичной цепи ЗУ возникнет зарядный ток. Отток мощности в АКБ приведет к ограничению напряжения на $C1$ на уровне $U_{\text{АКБ}} \cdot K$. Таким образом, по мере заряда АКБ напряжение звена постоянного тока будет расти пропорционально $U_{\text{АКБ}}$. Ток же заряда АКБ можно регулировать путем изменения режима работы АМ, контролируя величину скольжения.

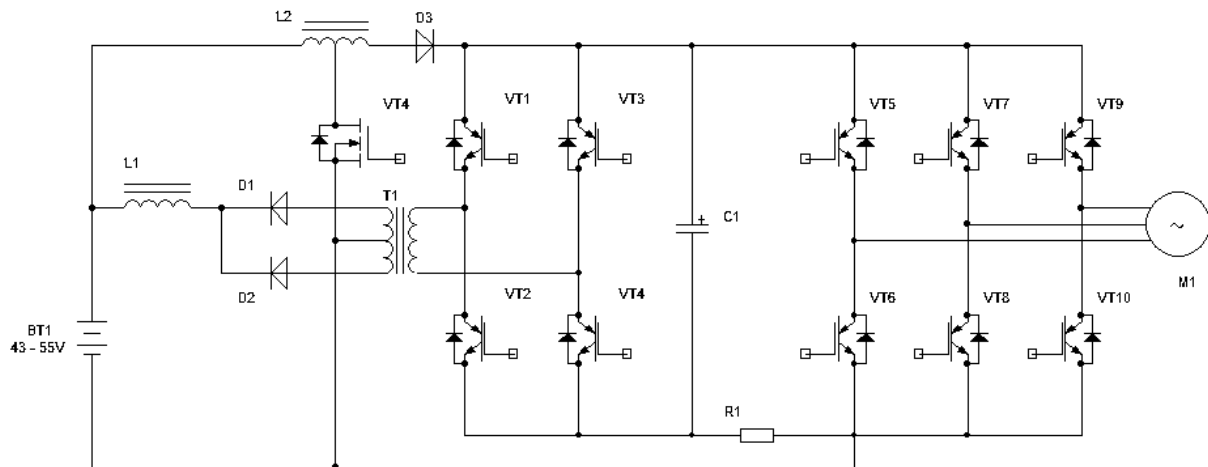


Рис.1 – Структурная схема автономной ветросиловой установки с АМ

Для управления АМ применен преобразователь частоты, выполненный по классической схеме 6-транзисторного моста $VT5-VT10$, управляемого методом широтно-импульсной модуляции. Это так называемый VVVF-инвертор (Variable Voltage Variable Frequency – инвертор с изменяемым выходным напряжением и частотой) [5]. Однокристалльный микроконтроллер (МК), управляющий инвертором, получает данные о напряжении АКБ, напряжении на конденсаторе $C1$, токе первичной обмотки ЗУ (который в K раз меньше зарядного тока АКБ), скорости вращения вала АМ и температуре радиаторов ПЧ и ЗУ. Кроме того, МК управляет маломощным преобразователем старта АМ и дает команду на включение ЗУ. Программа управления, записанная в памяти МК, в режиме ожидания производит замеры скорости по сигналам ДС и, как только скорость превысила заданный минимум, включает ПЧ и формирует режим с отрицательным скольжением. После затухания переходных процессов МК дает команду на запуск ЗУ и контролирует ток заряда путем изменения выходной частоты ПЧ. При достижении полного заряда АКБ или при снижении скорости ниже минимального порога

ПЧ и ЗУ отключаются, и система переходит в режим ожидания. При перегреве радиаторов ПЧ и/или ЗУ система снижает отбираемую от АМ мощность, а следовательно, и ток заряда. В программе МК зашит закон управления АМ вида $U/f = const$, что подразумевает постоянство амплитуды магнитного потока в машине (за исключением области низких частот, где эта зависимость нарушается из-за увеличивающегося влияния активного сопротивления статора). Пренебрегая потерей напряжения на комплексном сопротивлении рассеяния статора ($Z_1 = r_1 + jx_1$), для основного магнитного потока машины можно записать соотношение

$$U_{\phi} = 2\pi f w_1 \frac{\Phi_m}{\sqrt{2}}, \quad (3)$$

где f – частота питающего напряжения, Гц;
 w_1 – число витков фазы статора;
 Φ_m – амплитуда магнитного потока машины, Вб.

Из данного выражения следует, что для максимального использования магнитопровода машины, т.е. стабилизации Φ_m на максимальном уровне, необходимо напряжение питания увеличивать пропорционально частоте. Можно показать, что закон управления $\Phi_m = const$ приводит к постоянству критического момента АМ при различных частотах питания.

Отдельно стоит остановиться на преобразователе старта АМ, выполненного на элементах VT4, L2, D3. Этого узла нет в традиционных промышленных ПЧ. Задача этого преобразователя – начальная зарядка конденсатора С1 до напряжения, при котором возможен устойчивый старт АМ, т.е., возможно начальное создание вращающегося электромагнитного поля.

В установленном режиме напряжение на С1 поддерживается за счет генерации АМ. Мощность преобразователя старта невелика и примерно равна мощности холостого хода АМ. Этот преобразователь выполнен по одноконтурной повышающей автотрансформаторной схеме. При открытом ключе VT4 энергия запасается в магнитном поле автотрансформатора L2 (имеющего ферритовый сердечник с зазором), диод D3 при этом закрыт обратным напряжением. При закрытии ключа энергия из магнитного поля передается через диод в конденсатор С1. Программа МК обеспечивает плавный пуск и защиту этого преобразователя.

Дальнейшие усовершенствования предложенной системы заключаются в следующем:

- упрощение силовой части путем некоторого изменения топологии схемы ПЧ;
- совмещение функций ПЧ и ЗУ;
- оптимизация программы управления по условию максимума КПД АМ.

Выводы

Предложена система управления автономной ветросиловой установкой на базе асинхронного генератора. Показано, что с применением современных методов управления и последних достижений импульсной преобразовательной техники позволяет при минимальных затратах реализовать работу асинхронного генератора в режиме отрицательного скольжения. Приведен алгоритм программного обеспечения для управления преобразователем частоты. Показана реализация системы возбуждения асинхронного генератора на основе автономного VVVF-инвертора.

Перечень ссылок

1. http://www.clo.ru/Catalog/Generator/gspm_03.htm
2. http://www.windelectric.kiev.ua/core.php?pagename=products_index&language=ru
3. <http://www.windside.com/technic/tecnic.htm>
4. <http://www.ra-publish.com.ua/el/?mag=e10409&text=7588-1.htm>
5. Дьяченко М.Д. Опыт применения интеллектуальных силовых модулей фирмы “Mitsubishi” в частотных преобразователях малой мощности. / М.Д.Дьяченко, В.В.Бурлака // Вісник ПДТУ: Зб. наук. пр. – Маріуполь, 2005. – Вып. 15.– С. 157-161

Рецензент: В.Н. Кравченко
канд. техн. наук, доц., ПГТУ

Статья поступила 18.02.2007