

УДК 621.313

## РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОГЕНЕРИРОВАНИЯ ДЛЯ ВЕТРО- ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК МАЛОЙ МОЩНОСТИ

А.И. Яковлев, В.В. Безручко, В.Н. Пашков, А.А. Бояркин, Р. Ммаси

До настоящего времени не существует единого подхода к разработке низкооборотных электрогенераторов и преобразователей напряжения для ветроэлектрических установок (ВЭУ) в диапазоне мощностей до 30 кВт. Это препятствует широкому распространению ВЭУ.

Разработка конструкций таких генераторов и преобразователей и быстрое освоение серийного выпуска на электротехнических предприятиях Украины возможна, если для их изготовления смогут быть использованы основные узлы и детали уже выпускаемой продукции.

Анализ ситуации в области разработок конструкций низкооборотных генераторов свидетельствует о принципиальной возможности использования как синхронных так и асинхронных генераторов.

В качестве последнего был использован серийный 8-ми полюсный двигатель АИР 90LB8, перемотанный на шестнадцать полюсов (производство ПО "Укрэлектромаш"). Намагничивающий ток возбуждения такого генератора получается в процессе самовозбуждения за счет остаточного намагничивания и подключения параллельно обмоткам статора конденсаторов.

При подключении потребителя возникает необходимость в изменении ёмкости для компенсации нагрузки. Следовательно, для работы асинхронного генератора необходимым условием является наличие двух емкостей - постоянной для самовозбуждения в режиме холостого хода и переменной для компенсации реактивной нагрузки.

Проведенные испытания показали, что ротор обладает весьма низким остаточным магнетизмом: ЭДС без подключения емкости составила при  $n = 300$  об/мин 1,5 В, а при 2000 об/мин 10 В. При

Рис. 3  
Влияние на характеристики а)  $C_p(\lambda)$  и б)  $C_m(\lambda)$   
противосериальных устройств

емкостивой и индуктивной нагрузках генератор возбуждается емкостью 12-20 мкФ при  $n = 500-550$  об/мин, при этом напряжение на клеммах равно 200-280 В, а мощность 150-200 Вт. Однако внешняя характеристика очень крутая и при увеличении нагрузки происходит срыв возбуждения.

Исследованы опытные образцы синхронных генераторов с постоянными магнитами [1]. Их преимущества: высокая надежность, простота конструкции и обслуживания, отсутствие скользящих контактов вращающейся обмотки, автономность. Генератор с постоянными магнитами типа "звездочка" разработан на базе асинхронного шестиполюсного двигателя типа АОЛ с высотой вращения 80 мм, в котором был заменен только короткозамкнутый ротор на ротор с литыми магнитами из сплава ЮНДК24БА с явно выраженными полюсами и сварными оашмаками. Второй генератор выполнен в котлеобразном роторе на базе асинхронного электродвигателя АИР 80LB8 вместо серийного.

Ротор котлеобразного типа состоит из четырех восьмиполюсных стержней с цилиндрическими постоянными изотропными магнитами (шайбами) из феррита бария, намагниченными в аксиальном направлении и включенными параллельно в целях увеличения потока и мощности генератора.

Проведенные испытания показали хорошую работоспособность в комплекте со схемой стабилизации и преобразования ВЭУ малой мощности. Дальнейшее увеличение мощности возможно в случае применения магнитов, обладающих более высокой удельной магнитной энергией. К ним относятся, например, магниты, выпускаемые в Украине системы ниодим-железо-бор, или магниты системы самарий-кобальт (Россия). С ориентацией на их удельные характеристики выполнен рабочий проект синхронного генератора мощностью 2-5 кВт.

Разработан и испытан синхронный каскадный генератор, у ко-

торого якорная обмотка и обмотка возбуждения объединены в одну совмещенную обмотку на статоре. Индуктивная связь между обеими обмотками осуществляется через короткозамкнутую роторную обмотку, выполненную по типу беличьей клетки. Совмещение двух обмоток, — якорной и возбуждения, — в одну, образует трехфазно-однофазную обмотку, характерной особенностью которой является наличие двух нулевых точек. Отличием выполнения обмотки (от обычной полюсо-переключаемой) является укладка лосовых частей одной из фаз в направлении, обратном направлению укладки лосовых частей двух остальных фаз [2]. Две нулевые точки, к которым подводится ток возбуждения (постоянный), получаются в результате соединения в две звезды параллельных ветвей каждой фазы, причем одну звезду образуют катушечные группы двух фаз, создающие нечетные пары полюсов, и третьей фазы, создающие четные пары полюсов, а вторую звезду составляют остальные катушечные группы. По этой схеме изготовлен генератор на базе шестнадцатиполюсного асинхронного двигателя АИР 90L В8/16 с  $Z_1 = 48$ . На статоре уложена совмещенная обмотка с числом витков в пазу  $W_1 = 85$ . Ротор изготовлен с 12 равномерно расположенными медными стержнями диаметром 10 мм в пазах, замкнутыми на концах массивными медными кольцами.

Результаты испытаний показывают, что генераторы такого типа могут работать в качестве автономных источников электроэнергии. При напряжении возбуждения  $U_b = 50$  В, токе возбуждения  $I_b = 8$  А и числе оборотов  $n = 600$  об/мин на клеммах генератора получено фазное напряжение 127 В и 124 В при нагрузке и токе нагрузки  $I_n = 1,5$  А. Мощность фазы на выходе при этом составляет 150 Вт.

Для получения оптимального соотношения между числом оборотов, током возбуждения и выходными параметрами следует увеличить число витков обмотки статора с 85 до 160, что позволит при меньших токах возбуждения и оборотах получить высокие выходные параметры.

При генерировании электроэнергии параллельно к клеммам генератора подключена аккумуляторная батарея (АБ). Применение АБ позволяет улучшить качество вырабатываемой электроэнергии за счет специального преобразователя напряжения, который позволяет получить из постоянного напряжения 24 В переменное 220 В 50 Гц при мощности, номинальной мощности ВЭУ.

Преобразователь выполнен по двухтактной схеме, работающей [3] в ключевом режиме (рис. I):

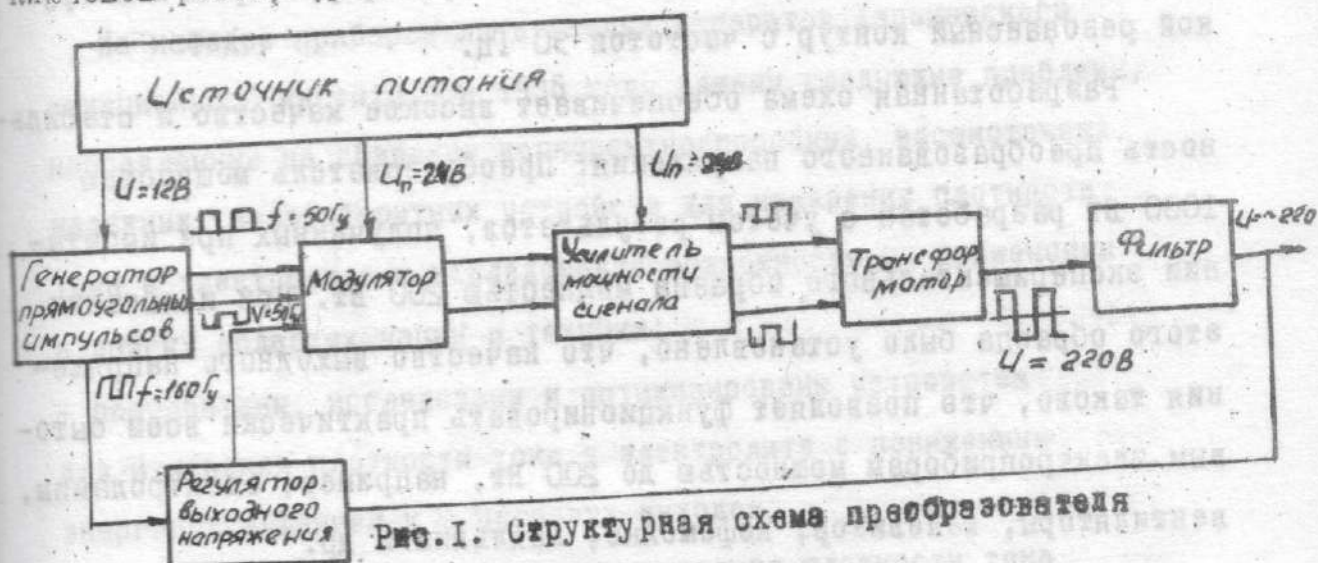


Рис. I. Структурная схема преобразователя

Работает преобразователь следующим образом. Задающий генератор вырабатывает прямоугольные импульсы с частотой 100 Гц и через делитель импульсы частотой 50 Гц. При этом обеспечивается весьма высокая стабильность частоты: колебание не более 5 % при изменении питающего напряжения на 20 % от номинального. Делитель играет одновременно роль симметрирующей ступени, позволяя улучшить форму выходного напряжения.

Генератор обратной связи выполняет функции регулятора выходного напряжения. При поступлении разрешающего сигнала с задающего генератора, генератор обратной связи генерирует прямоугольные импульсы переменной скважности, значение которой зависит от величины выходного напряжения.

Модулятор производит модуляцию двух поступающих к нему си-

гналов с делителя частоты и с генератора обратной связи путем наложения одного сигнала на другой. Усилитель мощности выполнен трехкаскадным по двухтактной схеме. Трансформатор - повышающий со средней точкой первичной обмотки. Транзисторы усилителя работают в ключевом режиме, поэтому форма выходного напряжения трансформатора близка к прямоугольной. Для приближения формы выходного напряжения к синусоиде используется ёмкостный фильтр низкой частоты, который образует вместе с трансформатором и нагрузкой резонансный контур с частотой 50 Гц.

Разработанная схема обеспечивает высокое качество и стабильность преобразованного напряжения. Преобразователь мощностью 1000 Вт разработан с учетом результатов, полученных при испытании экспериментального образца мощностью 200 Вт. При испытании этого образца было установлено, что качество выходного напряжения таково, что позволяет функционировать практически всем бытовым электроприборам мощностью до 200 Вт, например, электролампы, вентиляторы, телевизор, кофемолка, паяльник и др.

Выводы: выполненные исследования позволяют заключить, что система электрогенерирования на основе асинхронного и синхронного генераторов, с аккумулярованием и последующим преобразованием напряжения устойчиво работает в расчетном диапазоне скоростей ветра.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.Ф.Крупнов. Расчет авиационных синхронных генераторов с возбуждением от постоянных магнитов. - г.Рига, 1991, стр.69.
2. В.Д.Луцик. Совмещенные электрические машины и аппараты. - Киев. "Техника", 1993, - стр.39-180.
3. В.Т.Морозовский, И.М.Синдеев, К.Д.Гунов. Системы электроснабжения летательных аппаратов. - М. "Машиностроение", 1973, с.420.