ISSN 0002-306X. Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. 2002. Т. LV, № 2.

УДК.620.91 ЭНЕРГЕТИКА

Ж.Р. ПАНОСЯН, М. Г. ПИРАДЯН

АВТОНОМНАЯ ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ С ВОДОРОДНЫМ НАКОПИТЕЛЕМ ЭНЕРГИИ

Разработана автономная солнечная фотовольтаическая электростанция с водородным накопителем энергии. Использована система аккумулирования, основанная на блоке электролизер-топливные элементы. Произведен расчет основных узлов и технических характеристик станции.

Ключевые слова: фотовольтаическая станция, электролизер, батарея топливных элементов, фотоэлектрическая панель, система аккумулирования.

В лаборатории “Гелиотехника” ГИУА были разработаны и успешно применены на различных зданиях г. Еревана солнечные фотовольтаические (ФВ) электростанции с ФВ-генераторами мощностью от 0,16 до 2 *кВт*. На этих станциях в качестве накопителя энергии были использованы стандартные щелочные аккумуляторы [1]. Одновременно были разработаны автономные солнечные электростанции для отдаленных фермерских хозяйств [2], в том числе комбинированные с дизель-генератором [3]. Для успешного решения проблемы преобразования солнечной энергии в электрическую необходимы более эффективные системы аккумулирования электрической энергии.

Целью данной работы является разработка достаточно эффективной, обладающей большой емкостью аккумулирования и сравнительно недорогой автономной солнечной фотовольтаической электростанции.

Всеми этими достоинствами обладает солнечная ФВ-станция, также разработанная в лаборатории ”Гелиотехника” ГИУА. На станции используется новая водородная система аккумулирования, основанная на блоке электролизер–топливные элементы. Одним из основных ее преимуществ является то, что преобразование одного вида энергии в другой (энергия солнечного излучения в электрическую, электрическая в химическую, химическая в электрическую) производится прямо, без тепловой стадии преобразования, что в совокупности с высокой энергоемкостью водорода делает систему достаточно эффективной.

Станция работает следующим образом. В течение солнечного дня питание нагрузки производится непосредственно от ФВ-генератора, который является основным источником энергии. Одновременно излишек энергии подается на электролизер, в котором производится разложение воды на водород и кислород. Полученные газы накапливаются в разных резервуарах. При снижении интенсивности солнечного излучения до определенного предела (темное время

суток или неблагоприятная погода) происходит отключение ФВ-генератора и одновременно включение батареи топливных элементов, в которой при соединении кислорода и водорода образуется вода и вырабатывается электроэнергия. Вода отводится в специальный бак для последующей работы электролизера, а электроэнергия используется для питания нагрузки. Принципиальная схема станции представлена на рис.1.

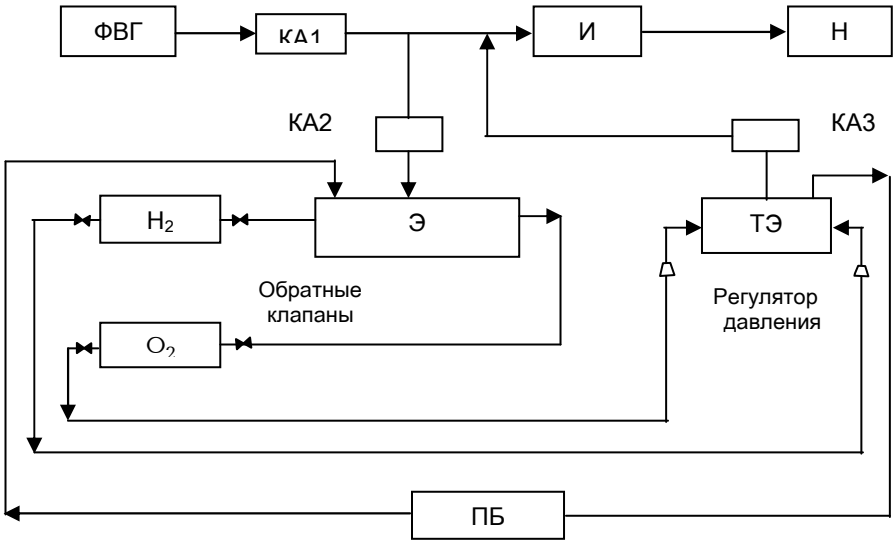

Рис.1. Принципиальная схема солнечной фотовольтаической электростанции с водородным аккумулятором энергии:
ФВГ– фотовольтаический генератор, КА– коммутационный аппарат,
И– инвертор, Н– нагрузка, Э– электролизер, ТЭ– топливные элементы,
H_2 и O_2– резервуары газов, ПБ– бак питающей воды

При разработке станции все расчеты производились, исходя из среднесуточной мощности нагрузки в 1 *кВт*, с кратковременными пиками до 2 *кВт*. При этом рассматривались два варианта, оба с выходным напряжением в 230 *В*, но с различными рабочими напряжениями ФВ-генератора и батареи топливных элементов. В первом варианте ФВ-генератор и батарея топливных элементов имеют номинальное рабочее напряжение 230 *В*, во втором - вся система имеет номинальное напряжение 33 *В*, а питание нагрузки происходит через повышающий трансформатор с семикратным коэффициентом трансформации.

ФВ-генератор собирается из ФЭП (фотоэлектрическая панель) со специальным антиотражающим алмазоподобным покрытием, улучшающим условия работы ФВ-элементов, что приводит к повышению их КПД [4]. Принимая среднесуточную нагрузку в 1 *кВт* и продолжительность солнечного дня 8 *ч*, получаем необходимую мощность ФВ-генератора: P=1x24/8=3 *кВт*.

При обеспечении 20%-ого резерва устанавливается ФВ-генератор мощностью 3,6 *кВт*. Основные технические характеристики ФЭП, разработанные и изготовленные в лаборатории “Гелиотехника” ГИУА, приведены на рис.2 [5]. На основе этих характеристик рассчитаны и согласованы параметры ФВ-генератора.

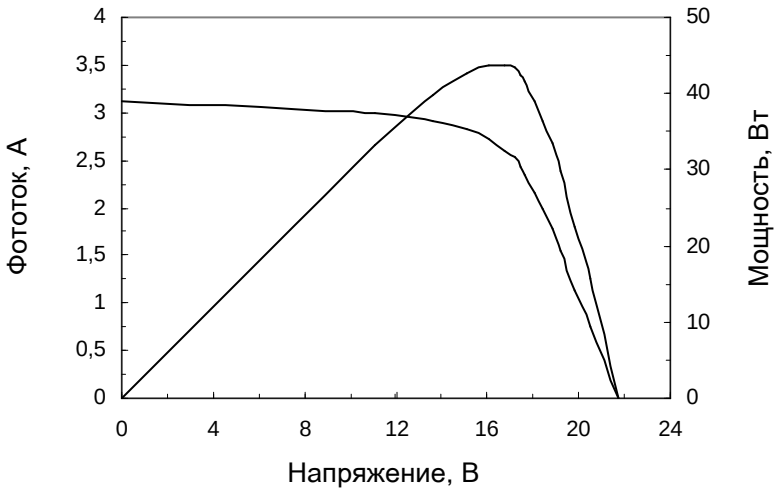

Рис. 2. ВАХ и зависимость мощности ФЭП от напряжения

В первом варианте ФВ-генератор собирается из 6 параллельно соединенных модулей, каждый из которых состоит из 14 последовательно соединенных ФЭП. Максимальная мощность такого ФВ-генератора 3,6 *кВт* при оптимальном напряжении 235 *В*. При выходе из строя одной ФЭП это приведет к отключению одного из параллельных модулей, но остальные пять работающих модулей обеспечивают мощность в 3 *кВт*.

Во втором варианте ФВ-генератор собирается из 42 параллельно соединенных модулей, каждый из которых состоит из 2 последовательно соединенных ФЭП. В этом случае оптимальное напряжение на выходе ФВ-генератора составляет 33 *В*. Повреждение же одной ФЭП также приводит к выходу из строя одного модуля, что почти не влияет на выходную мощность ФВ-генератора. Таким образом, с точки зрения надежности, вторая схема намного лучше первой.

Система аккумулирования работает следующим образом. При работе ФВ-генератора с помощью электролизера создается запас водорода и кислорода в резервуарах. В первом и втором вариантах электролизеры выбираются в соответствии с рабочим напряжением ФВ-генераторов и мощностью, при которой обеспечивается необходимый объем газов. С некоторым запасом мощность электролизера выбирается в 2,5 *кВт*. При такой мощности с учетом потерь при

преобразовании энергии обеспечивается необходимый запас газов для работы топливных элементов.

При обосновании выбора батареи топливных элементов необходимо подчеркнуть, что ее мощность выбирается в 1 *кВт*. Это объясняется тем, что топливные элементы способны к 100%-ым кратковременным перегрузкам [6]. То есть, батарея сможет обеспечить кратковременные пики нагрузки, хотя при этом несколько снижается ее КПД. К тому же топливные элементы способны набирать номинальную нагрузку из состояния холостого хода (при котором газы не расходуются) в течение 0,5…1 *с*, что делает станцию маневренной. Вышесказанное относится к устанавливаемым на станции низкотемпературным топливным элементам с полимерным электролитом. Эти особенности позволяют снизить мощность и соответственно стоимость батареи топливных элементов.

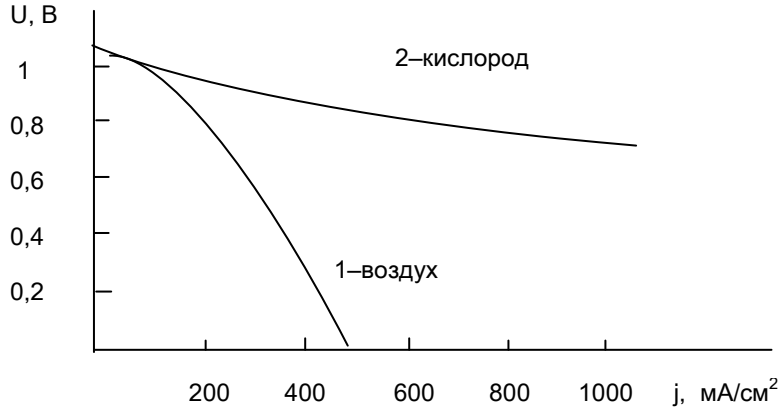

Рис.3. ВАХ топливного элемента и ее зависимость от окислителя

Оптимальное напряжение используемых топливных элементов составляет 0,9 *В*, плотность тока 600 *мА/см²* (рис.3), рабочая температура 80^0C [7]. Зная, что напряжение холостого хода составляет 1,16 *В* при температуре 80^0C, можно вычислить КПД : $\eta = 0{,}9/1{,}16 = 77{,}5\,\%$.

Для улучшения рабочих характеристик батареи топливных элементов и получения высокого КПД желательно использование элементов с количеством платины на электроде 0,2 *мг/см²* (рис.4).

В первом варианте батарея топливных элементов состоит из 256 последовательно соединенных элементов, которые обеспечивают напряжение на выходе 230 *В*. Во втором варианте батарея состоит из 7 параллельно соединенных секций, каждая из которых включает 37 последовательно соединенных топливных элементов, обеспечивающих напряжение 33 *В*.

В этом случае, так же, как и в случае с ФВ-генератором, вторая схема надежнее, так как при повреждении одного топливного элемента и выходе из

строя одной секции остальные 6 продолжают работать и мощность батареи снижается только на 15%. В первой же схеме аналогичное повреждение приведет к выходу из строя всей батареи или к резкому ухудшению ее характеристик.

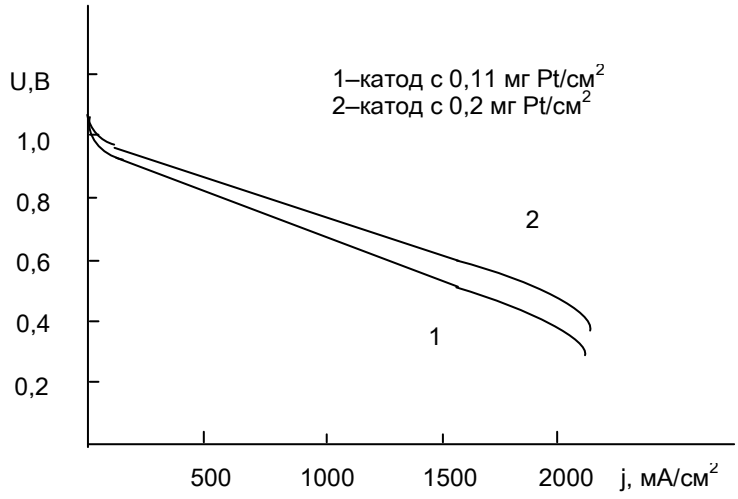

Рис. 4. Зависимость ВАХ топливного элемента от количества платины на электроде

Батарея топливных элементов работает под давлением в 1 *атм*, используя в качестве топлива водород, а в качестве окислителя - кислород. Рабочее давление выбрано, исходя из соображений наиболее оптимального совмещения высокого КПД и более полного использования запаса газов. При использовании в качестве окислителя воздуха КПД батареи снижается вдвое. К тому же это может привести к выходу из строя полимерного электролита вследствие загрязнения различными примесями.

Полученные газы хранятся в специальных резервуарах в сжатом состоянии под давлением до 25 *атм*, которое создается за счет давления газов в электролизере при работе последнего.

Объем резервуаров рассчитывается с учетом того, что необходимо иметь десятидневный запас газов для работы станции на номинальной мощности только на топливных элементах при погоде, неблагоприятной для работы ФВ-генератора. С учетом среднесуточной нагрузки в 1 *кВт* необходим запас газов для выработки 240 *кВтч* электроэнергии. Расход водорода по объему в 2 раза больше расхода кислорода. При идеальном 100%-ом КПД из 1 $м^3$ водорода и 0,5 $м^3$ кислорода можно выработать 3 *кВтч* электроэнергии. Соответственно при КПД 77,5% из 1 $м^3$ водорода и 0,5 $м^3$ кислорода вырабатывается 2,325 *кВтч* электроэнергии. Учитывая вышесказанное, можно подсчитать, что для выработки 240 *кВтч* электроэнергии при КПД преобразования 77,5% требуется 103,2 $м^3$ водорода и 51,6 $м^3$ кислорода.

Так как допустимое максимальное давление в резервуарах не должно превышать 25 *атм*, то соответственно необходимы резервуары с объемом: для водорода - 4,14 $м^3$, для кислорода - 2,07 $м^3$.

Для увеличения надежности каждый резервуар представляет собой два отдельных сосуда, соединенных между собой. При каком-либо повреждении одного второй отделяется от него при помощи клапана и остается работоспособным, обеспечивая 50% запаса энергии.

В заключение отметим, что преимуществом такой станции является простота схемы и технологического процесса по сравнению с современными станциями (ТЭС, АЭС, ГЭС). Исходя из особенностей графика данной нагрузки, мощность станции и выходное напряжение могут быть с легкостью изменены созданием соответствующей схемы и добавлением новых ФВ-панелей и секций топливных элементов, что делает такую станцию более маневренной и экономичной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Аракелян А.О., Паносян Ж.Р.** Разработка и использование фотоэлектрических солнечных панелей и солнечных электростанций в Армении // Мат. Межд. выставки-ярмарки и конференции “Инновации-98”. - М.,1999.- С.110-114.
2. **Panossian J.R., Arakelian A.H., Yengibarian Y.V.** Effective Photovoltaic Solar Modules for Agricultural regions of Armenia // Proc. of AgEnergy 99, 2-5 June, 1999, Atens, Greece.
3. **Пирадян М., Паносян Ж.** Автономная солнечная комбинированная электростанция для отдаленных сельскохозяйственных районов и мелких фермерских хозяйств // Год. научн. конф. ГИУА: Сб. мат. - Ереван, 1999. - С.107-108.
4. **Паносян Ж., Гиппиус А., Аракелян А., Восканян С., Енгибарян Е., Пирадян М.** Разработка кремниевого нового ФВ-преобразователя солнечной энергии // Год. научн. конф. ГИУА: Сб. мат.-- Ереван, 1999.-- С.26-27.
5. **Паносян Ж., Аракелян А., Восканян С., Енгибарян Е., Торосян Г.Г.** Повышение КПД и долговечности фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. – 1997.-- Т.50, № 1. - С.30-36.
6. **Baker B.S.** Fuel cell systems for utilities // ERC, American Power Conference, 1997.
7. **Gottesfeld S.** Polimer electrolyte fuel cells // Stonehart Assosiates, Madison, Connecticut, 1993.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 17.02.2001.

Ժ.Ռ. ՓԱՆՈՍՅԱՆ, Մ. Գ. ՊԻՐԱԴՅԱՆ

ԻՆՔՆԱՎԱՐ ՖՈՏՈՎՈԼՏԱՅԻՆ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՅԱՆ՝ ԷՆԵՐԳԻԱՅԻ ՋՐԱԾՆԱՅԻՆ ԿՈՒՏԱԿԻՉՈՎ

Նախագծված է արեգակնային ֆոտոէլեկտրական կայան՝ էներգիայի ջրածնային կուտակիչով: Օգտագործված է կուտակիչ համակարգ, որը հիմնված է էլեկտրոլիզեր-վառելիքային էլեմենտներ բլոկի վրա: Կատարված է կայանի հիմնական հանգույցների և տեխնիկական բնութագրերի հաշվարկ:

ZH. R. PANOSYAN, M.G.PIRADYAN

AUTONOMY SOLAR PHOTOELECTRIC STATION WITH HYDROGEN ACCUMULATOR OF ENERGY

A solar photoelectric station with a hydrogen accumulator of energy is designed. An accumulation system based on the unit of electrolyzer-fuel elements is applied. The calculation of the main junctions and technical characteristics of the station is carried out.