

## Изследване на лабораторна автономна соларна система

Опитните изследвания са реализирани на работеща автономна фотоволтаична система за малка мощност с основните компоненти от архитектурата:

### 1. Соларни панели СП (фотоволтаични модули).

Соларни панели изпълняват функцията на соларен генератор за постоянно напрежение и ток. Генерираната изходна мощност захранва постояннотокови консуматори през соларен заряден контролер и поддържа капацитета и номиналното напрежение на акумулаторните батерии (АБ) включени към автономна фотоволтаична система (АФС).

Еднотипните СП от фиг. 3.24 са два броя в паралелна схема на свързване, за генериране на по-голям изходен ток. Както се вижда от снимката закрепени са стационарно на покрив с южно изложение под ъгъл от  $45^{\circ}$ .



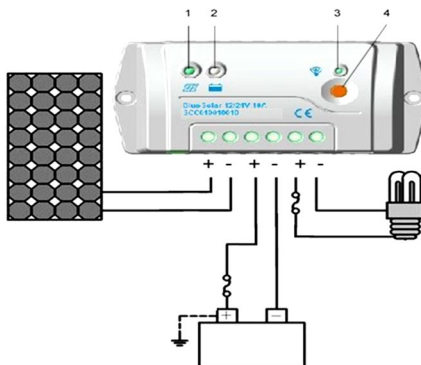
Фиг. 1. Изглед на монтираните СП от АФС за малка мощност

Таблица.1. Параметри на соларните панели.

|                                       |                |
|---------------------------------------|----------------|
| Параметър, дименсия                   | LX-100M 125-36 |
| Пикова мощност $P_{mpp}$ [Wp]         | 100            |
| Толеранс на мощността                 | 0 / +5%        |
| Номинален ток $I_{mpp}$ [A]           | 5.39           |
| Номинално напрежение $V_{mpp}$ [V]    | 18.70          |
| Ток на късо съединение $I_{sc}$ [A]   | 5.87           |
| Напрежение на празен ход $V_{oc}$ [V] | 21.60          |
| Темп. коефициент по мощност [P]       | -0.49%         |
| Темп. коефициент по ток [I]           | 0.05%          |
| Темп. коефициент по напр. [V]         | -0.35%         |
| Размери на модула                     | 1194x542мм     |
| Брой клетки   клетъчен тип            | 4x 9   mono    |
| Байпасни диод                         | 2x 12 A        |

## 2. Соларен заряден контролер.

Соларният заряден контролер изпълнява разпределителни и регулиращи функции чрез алгоритъм на широчинно – импулсна модулация ШИМ (PWM), управляващ изходната мощност в зависимост от големината на товара. Той определя посоката на обмен на енергия между източниците СП и АБ към постояннотоковите консуматори.



Фиг.2. Заряден контролер - Charge Controller 12/24V – 10A 1. индикатор за СП. 2. светодиод за АБ. 3. индикатор за натоварване. 4. бутон за комутация на изхода

- Изборът на соларен контролер се определя по условието за изходен ток  $I_{\max}$  :

$$I_{\max} \geq 1,1 \cdot I_{s.c.} \quad (1)$$

където,

$I_{s.c.}$  – пиков ток на късо съединение на изхода на СП.

Таблица.2. Параметри за соларния заряден контролер-BlueSolar PWM

|                                                                                      |                                                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Автоматично задава $U_{AB}$                                                          | 12/24V                                          |
| Максимален ток от АБ или СП                                                          | 10A                                             |
| Автоматично изключване на изхода                                                     | Да                                              |
| Максимален допустимо напрежение от СП                                                | 28V / 55V                                       |
| Собствена консумация                                                                 | <10mA                                           |
| Контрол на устройството при изменение на входните параметри                          | ръчен контрол и изключване при ниско напрежение |
| Защити от претоварване, късо съединение, обръщане на полюсите на АБ и от прегряване. | да                                              |
| Работна температура                                                                  | от -20 до +50°C                                 |
| Максимална влажност (без конденз)                                                    | 98%                                             |
| Максимално напрежение на зареждане АБ                                                | 14.4V / 28.8V                                   |
| Режим на зареждане АБ                                                                | 13.8V/27.6V                                     |
| Номинална стойност на зареждане АБ                                                   | 14.6V/29.2V                                     |
| Режим на минимално входно напрежение.                                                | 11.1V / 22.2V                                   |

### 3. Тягови акумулаторни батерии (АБ).

Зарядният контролер първо се свързва към АБ и след това към СП. През нощта СП не работят, тогава АБ захранват АФС, а през денят при слънчево време те се зареждат.



Фиг.3. Снимка на свързани в схема елементи от соларната система.

Технически данни на АБ :

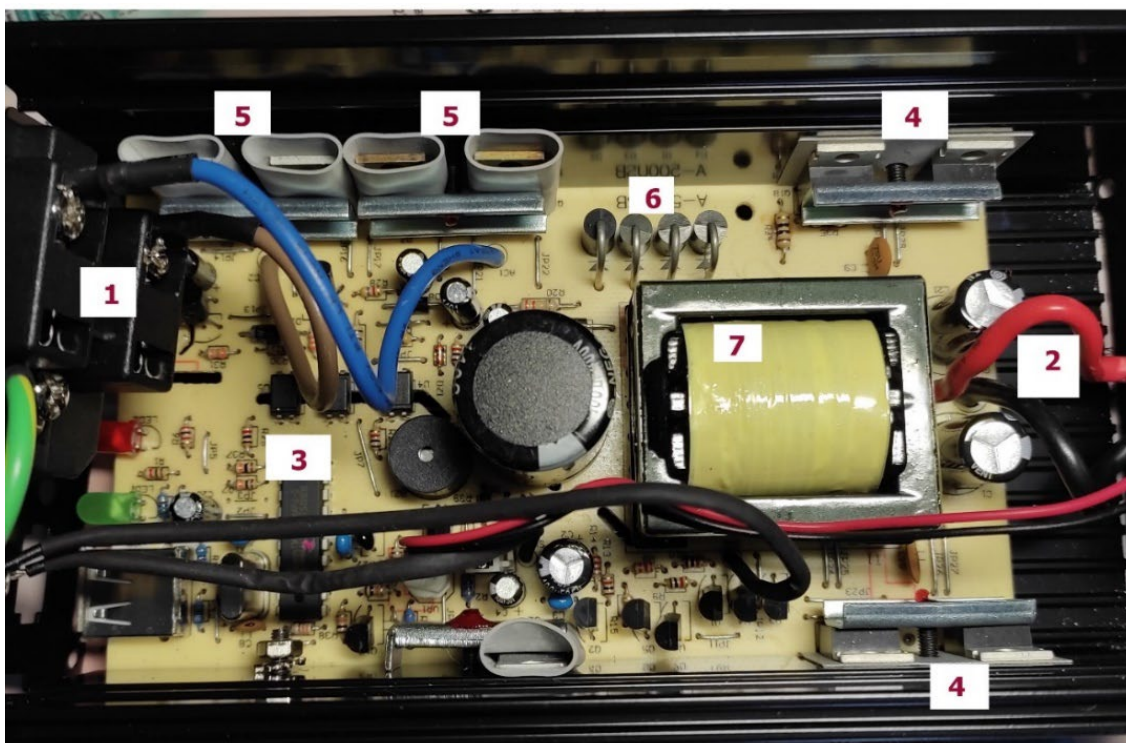
- Номинален капацитет 24Ah
- Номинално напрежение 12V
- Номинален капацитет за паралелно свързани две батерии 48Ah

### 4. Принцип на действие и позиции на модулите от инвертор на напрежение

Инвертора на напрежение от фиг.4 с модифицирана синусоида е свързан през входните клеми към изхода на соларния контролер с постоянно напрежение 12V. Мрежовото напрежение на изходния излаз е 230V с номинална мощност 300VA.



Фиг.4. Снимка на кутията и входен излаз вляво и изходен излаз вдясно на инвертора на напрежение с модифицирана синусоида



Фиг. 5. Снимка на отворената кутия на инвертора от страна елементи.

• **Принцип на действие и позиции на компонентите от кутията на фиг.5:**

Позиция 1 изходното променливо напрежение 230V.

Позиция 2 входното постоянно ниско напрежение 12V.

Позиция 3 контролерът е програмиран с алгоритъм задаващ необходимите управляващи сигнали за работата на инвертора.

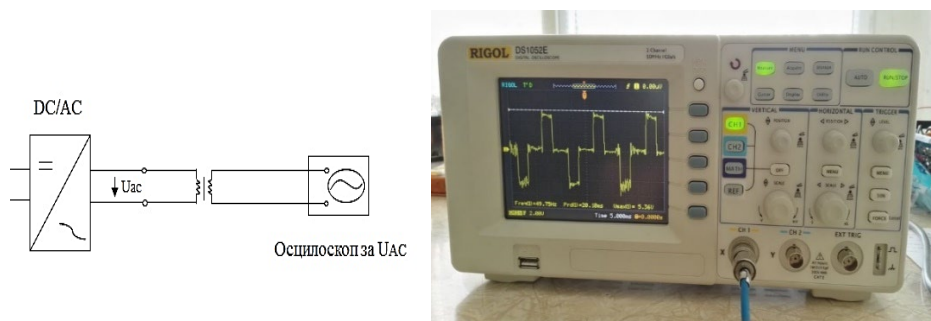
Позиция 4 Четири силови импулсни транзистора от страна ниско напрежение изграждат архитектурата на двураменна мостова схема на първия инвертор.

Позиция 5 Четири силови импулсни транзистора от страна високо напрежение изграждат архитектурата на двураменна мостова схема на инвертора за генериране на високо напрежение с ниска честота. Изходните високоволтови импулси притежават правоъгълна форма (модифицирана синусоида), за това преминават през изглаждащ филтър LC.

Позиция 6 мостова вентилна схема от четири мощни диода е предназначена за изправяне на високото постоянно напрежение.

Позиция 7 силовият високочестотен трансформатор на вторичната си страна повишава и чрез изправителна група то се изправя и „изглажда“ до напрежението 300V, след което са подава на входа на втория инвертор, изграден със силовите елементи от позиция 5.

- **Определяне формата на вълната на мрежовото напрежение измерена на изхода на инвертора през трансформатор**



Фиг 6. Измерена модифицирана форма на вълната на изходното напрежение през разделителен трансформатор.

- **Коефициент на полезно действие (к.п.д.) на инвертора на напрежение.**

Коефициентът на полезно действие  $\eta$  за инвертора на напрежение се определя от отношението на изходната мощност  $P_{изх.}$  към входната  $P_{вх.}$  :

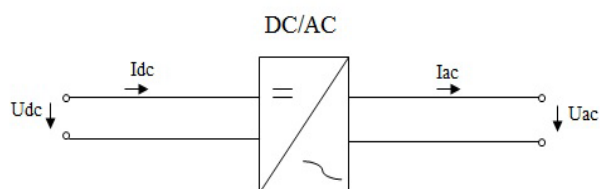
$$\eta = \frac{P_{изх.}}{P_{вх.}} \cdot 100[\%] \quad (2)$$

Измервателните уреди за променлив ток  $\sim I$  и променливо напрежение  $\sim U$  отчитат ефективните им стойности. Техните амплитудни стойности се изчисляват за синусоидални сигнали по изразите:

$$U_m = \sqrt{2} \cdot U ; I_m = \sqrt{2} \cdot I \quad (3)$$

При несинусоидална форма на напрежението, както е в случаят с модифицираната синусоида, измервателните прибори за ток и напрежение показват средните стойности:

$$U_{\text{средно}} = \frac{2}{\pi} \cdot U_m \quad (4)$$



Фиг. 7. Блокова схема на инвертора и измерените параметри

Постояннотоковата мощност се определя с израз:

$$P_{вх.} = U_{DC} \cdot I_{DC} \quad (5)$$

Променливотоковата мощност се определя с израза:

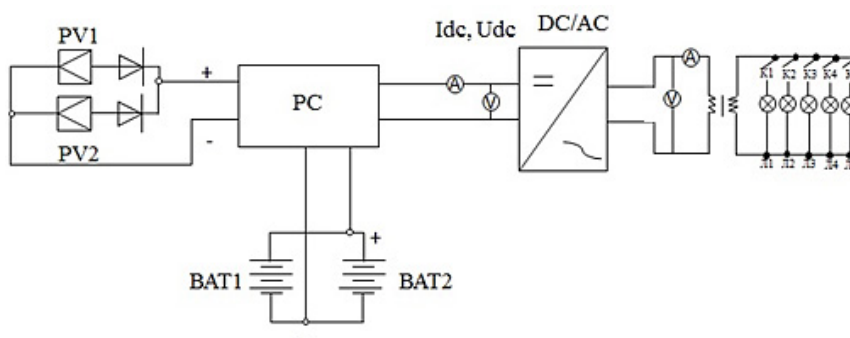
$$P_{\text{изх.}} = U_{\text{AC}} \cdot I_{\text{AC}} \cdot \cos(\varphi) \quad (6)$$

При активен товар приемаме, че в изхода е само първи хармоник  $f = 50\text{Hz}$ , защото  $\cos(\varphi) = 1$ . Тогава за изходната мощност получаваме:

$$P_{\text{изх.}} = U_{\text{AC}} \cdot I_{\text{AC}} \quad (7)$$

## 5. Експеримент с инвертора при различен по вид консуматори

• **Натоварване с индуктивно - активен товар, мрежов трансформатор и лампи с нажежаема жичка**



Фиг.8. Схема на опитната постановка - свързване на активно - индуктивен товар: мрежов трансформатор и лампи с нажежаема жичка в изхода на инвертора

Ефективността при натоварване на инвертора до достигане на номинална големина се определя в относителни единици по израза:

$$\eta_s = S/S_m \cdot 100 \% \quad (8)$$

където:

$S, \text{VA}$  – изчислената пълна мощност при натоварване;

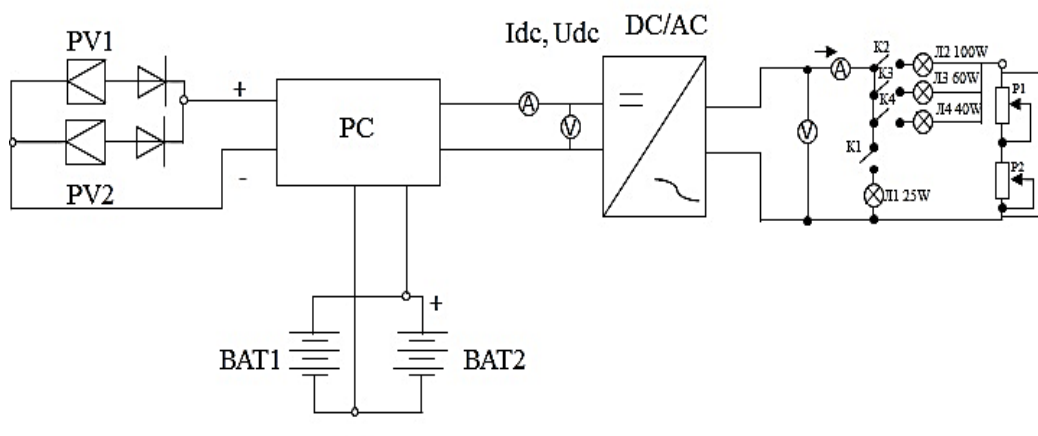
$S_m = 300 \text{ VA}$  - номиналната стойност на пълната мощност;

Таблица.3. Натоварване с мрежов трансформатор и лампи

| лампи          | $U_{\text{AC}}; \text{V}$ | $I_{\text{AC}}; \text{A}$ | $S_{\text{AC}}; \text{VA}$ | $\eta_s \%$ |
|----------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|-------------|
| Л <sub>1</sub> | 234                       | 0,29                      | 67,86                      | 22,62       |
| Л <sub>2</sub> | 236                       | 0,38                      | 89,68                      | 29,89       |
| Л <sub>3</sub> | 237                       | 0,47                      | 111,39                     | 37,13       |
| Л <sub>4</sub> | 238                       | 0,57                      | 135,66                     | 45,22       |
| Л <sub>5</sub> | 235                       | 0,97                      | 227,95                     | 75,98       |

Отчетите от табл.3.5 са измерени и изчислени величини, определящи ефективността на инвертора при поэтапното му натоварване, до достигане на номинална големина. Натоварването над 45% автоматично включва вентилатор за охлаждане на силовите елементи в кутията на инвертора.

• **Натоварване с активен консуматор - лампи с нажежаема жичка и реостат**



Фиг.9. Схема на опитната постановка – ключовете K1, K2, K3 и K4 стъпково натоварват инвертора

Изследванията се изпълняват по схема от фиг.9 с измерените и изчислени величини:

$U_{PV}$  – постоянно напрежение от соларните модули

$I_{PV}$  – постоянен ток от соларните модули

$U_{DC}$  - постоянно напрежение от изхода на зарядният контролер

$I_{PV}$  - постоянен ток на изхода на зарядният контролер

$U_{AC}$  – променливо напрежение на изхода на инвертора на напрежение

$I_{AC}$  - променлив ток на изхода на инвертора на напрежение

$P_{dc}$  – активна мощност измерена на входа на инвертора W

$P_{dc}, \% 300$  - активна мощност измерена на входа на инвертора в относителни единици

$P_{ac}$  - активна мощност измерена на изхода на инвертора W

$P_{ac}, \% 300$  - активна мощност измерена на изхода на инвертора в относителни единици

Таблица 4. Натоварване с активен консуматор

| Lamps and rheostat | $U_{DC}$<br>V | $I_{DC}$<br>A | $U_{AC}$<br>V | $I_{AC}$<br>A | $U_{PV}$<br>V | $I_{PV}$<br>A |
|--------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| R <sub>1</sub>     | 14,4          | 1,86          | 223           | 0,078         | 20,2          | 1,9           |
| R <sub>2</sub>     | 14,3          | 4,6           | 230           | 0,19          | 17,5          | 4,7           |
| R <sub>3</sub>     | 14,3          | 5             | 227           | 0,21          | 17,2          | 5,1           |
| R <sub>4</sub>     | 14,3          | 5,5           | 230           | 0,23          | 16,7          | 5,6           |
| R <sub>5</sub>     | 14,2          | 6             | 230           | 0,27          | 15,2          | 6,3           |
| R <sub>6</sub>     | 14,2          | 6,5           | 228           | 0,29          | 15,1          | 6,6           |
| R <sub>7</sub>     | 13,7          | 7             | 228           | 0,31          | 13,9          | 6,4           |
| R <sub>8</sub>     | 13,9          | 7,5           | 228           | 0,33          | 14,1          | 7,1           |
| R <sub>9</sub>     | 13,8          | 8             | 228           | 0,36          | 14            | 6,8           |
| R <sub>10</sub>    | 13,7          | 9             | 235           | 0,41          | 14            | 7,1           |
| R <sub>11</sub>    | 13,6          | 10            | 233           | 0,44          | 13,8          | 6,9           |
| R <sub>12</sub>    | 13,4          | 11            | 236           | 0,50          | 13,8          | 5,7           |
| R <sub>13</sub>    | 12,8          | 19            | 235           | 0,85          | 13,1          | 6,5           |

Таблица 5. Изчисления при работа с активен товар

| R, $\Omega$ | P <sub>dc</sub> , W | P <sub>ac</sub> , W | к.п.д., % | P <sub>ac</sub> , %300 | P <sub>dc</sub> , %300 |
|-------------|---------------------|---------------------|-----------|------------------------|------------------------|
| R1          | 26,78               | 17,39               | 64,94     | 5,80                   | 8,93                   |
| R2          | 65,78               | 43,70               | 66,43     | 14,57                  | 21,93                  |
| R3          | 71,50               | 47,67               | 66,67     | 15,89                  | 23,83                  |
| R4          | 78,65               | 52,90               | 67,26     | 17,63                  | 26,22                  |
| R5          | 85,20               | 62,10               | 72,89     | 20,70                  | 28,40                  |
| R6          | 92,30               | 66,12               | 71,64     | 22,04                  | 30,77                  |
| R7          | 95,90               | 70,68               | 73,70     | 23,56                  | 31,97                  |
| R8          | 104,25              | 75,24               | 72,17     | 25,08                  | 34,75                  |
| R9          | 110,40              | 82,08               | 74,35     | 27,36                  | 36,80                  |
| R10         | 123,30              | 96,35               | 78,14     | 32,12                  | 41,10                  |
| R11         | 136,00              | 102,52              | 75,38     | 34,17                  | 45,33                  |
| R12         | 147,40              | 118,00              | 80,05     | 39,33                  | 49,13                  |
| R13         | 243,20              | 199,75              | 82,13     | 66,58                  | 81,07                  |



Фиг.10. Графично представяне на зависимост между ефективността на инвертора от изменението мощностите на консуматора в относителни единици

### Изводи и анализи

- Проектирането, изследвания и експерименти са осъществени върху изградена и функциониращ соларна система
- При анализа се наблюдава повишаване и стабилизиране на  $U_{AC}$  при номинално натоварване поради работата на инвертора с най-висок к.п.д.
- Зависимостта между изходната и входната мощност определя ефективността на работа на системата и е най-голяма при номинално натоварване. Диаграмите показани на фиг. 10 отчитат повишено к.п.д., когато инвертора е в номинален режим на работа.

автор: Васил Борисов Иванов

Университет „Проф. д-р Асен Златаров” – Бургас, 2023г.