

ИЗСЛЕДВАНЕ НА СОЛАРЕН ИНВЕРТОР НА НАПРЕЖЕНИЕ

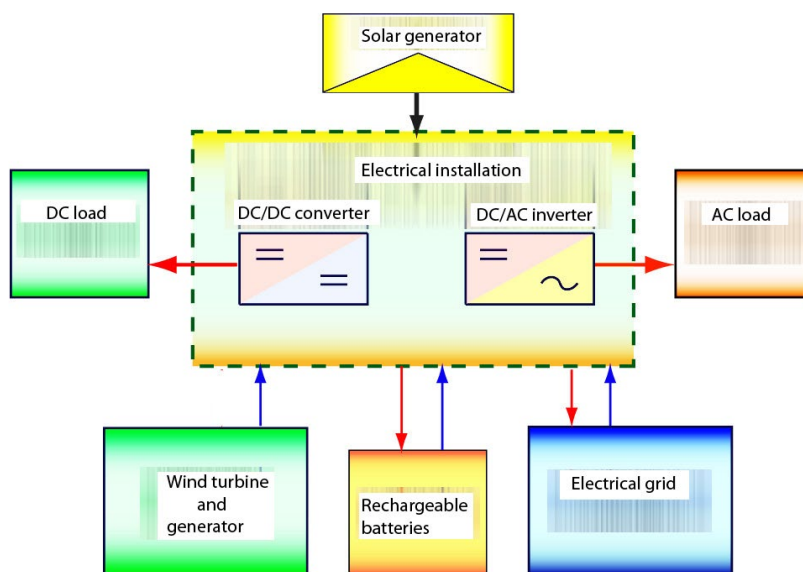
МОДЕЛ FSP 3kVA

Цел на изследването

- Синтез от архитектурата на инверторите на напрежение, използвани в соларните системи.
- Мониторинг на соларен инвертор на напрежение **модел FSP 3kVA** от лабораторна фотоволтаична система, чрез графично представяне и анализи на резултатите от записите на номиналното изходно напрежение и изходната мрежова честота.

Въведение

• Хибридните системи от възобновяеми енергийни източници (ВЕИ) са електрически архитектури, изграждащи най-пълно едно непрекъсваемо захранване. При хибридният вариант на енергийна система се използват максимален брой източници – соларен генератор, акумулаторни батерии, бензинов или дизелов генератор, вятърен генератор и др.. Хибридната схема реализира непрекъснат работен режим за най-продължителен период от време.



Хибриден вариант на енергийна система

Базовата архитектура на фотоволтаичните системи е конструирана от соларни панели (СП) свързани към контролер проследяващ точката на максимална мощност MPPT и управляващ режимите на зареждане на акумулаторните батерии (АБ). Структурата на фотоволтаичните системи захранващи мрежови консуматори се изпълнява със соларен инвертор на напрежение, преобразуващ постоянното напрежение в променливо.

- Моделите на „зависими“ соларни инвертори

Фотоволтаичните системи проектирани за работа в паралел с обществената мрежа се наричат зависими. Големината на мрежовите консуматори захранвани от подобен модел централа зависи от инсталационната ѝ мощност и за маломощни системи достига максимална големина от 5kW. Към конструкцията може да се добави резервен източник (АБ), но задължително соларния инвертор от системата работи в синхрон с електропреносна мрежа и се изключва автоматично при отпадане на напрежението.

- Автономни фотоволтаични системи (АФС)

АФС се комплектоват със соларни панели, акумулаторни батерии със заряден контролер и соларен инвертор. Инверторът на напрежение се предлага на пазара в два варианта: евтин модел с модифицирана синусоида или по-скъпите варианти - с чиста синусоида. Автономната работа се определя от това, че соларната система е независима от обществената мрежа.

- Соларен инвертор на напрежение

Фотоволтаичните системи проектирани да захранват мрежови консуматори задължително се структурират в схема със соларен инвертор на напрежение. Той е съвременен преобразувател на постоянната енергия в променлива с висок коефициент на полезно действие (к.п.д.), в резултат от импулсния режим на работа (с най-малко загуби) в силовата полупроводникова матрица. Алгоритъма на управление на матрицата от

транзистори се изпълнява от **цифров сигнален процесор (DSP)** чрез метода на широчинно импулсната модулация (ШИМ).

- Външни фактори влияещи върху ефективната работа на СП

- Метеорологическите данни от изменение на външните неелектрически фактори, за определен период от време, са свързани с географското местоположение на инсталираните СП. Чрез специализиран софтуер се записват данните в текущо време и се създава мониторинг използван при проектирането на соларно поле, изградено от голям брой СП.

При проектирането и изграждането на една фотоволтаична централа за мощност над 100kW предварително се изследват характеристиките на географското местоположение на соларните панели - нивото на слънчевата радиация, ъгълът на наклона на СП, температурата на околната среда, скоростта на вятъра и влажността. Правилното определяне на местоположение на СП при изграждане на соларен парк гарантира най-ефективен целогодишен добив на енергия от слънцето.

- Соларните панели от фотоволтаичните системи се организират в стрингове и паралелни връзки с кабели и конектори, като броят им се съобразява с проектирания добив необходим за инсталационна мощност.

- Всеки произведен соларен модул е зададен с пикови и номинални характеристики:

- изходна мощност $P_{СП_STC}$,
- напрежение на празен ход $U_{СПп.х.}$,
- ток на късо съединение $I_{СПк.с.}$,

Показателите за пикови стойности са получени при стандартни тестови условия (STC) със следните външни параметри на околната среда:

- интегрално ниво на интензитета на слънчевата радиация $G = 1000W/m^2$,
- температура на околната среда $T = +25^{\circ}C$,
- скорост на вятъра $V_v = 1m/s$,

- коефициента на въздушна маса $AM=1,5$.

Изследване на соларен инвертор модел FSP3kVA от лабораторна фотоволтаична система

1. Соларни панели (СП) използвани в архитектурата на системата.

За един соларен панел номиналните електрически параметри са:

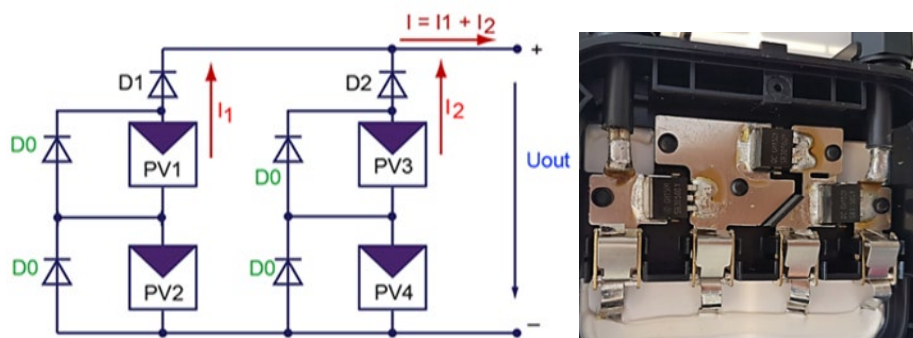
$$P_{СП_STC} = 275Wp; U_{СПmax} = 31,30V; I_{СПmax} = 8,85A; \eta_{СП} = 16,8\%.$$

При 4 броя СП в смесена схема на свързване, сумарно параметрите са:

$$\Sigma P_{СП_STC} = 1108Wp; \Sigma U_{СПmax} = 62,6V; \Sigma I_{СПmax} = 17,7A; \text{ (фиг.1)}$$



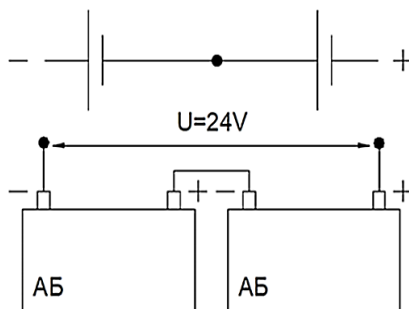
Фиг. 1. Снимки на четири СП монтирани стационарно на покрива на лабораторията от Университета в южна посока с ъгъл на наклон до 45^0 .



Фиг.2. Схема на свързване на СП – вляво;

Снимки на шунтовите диоди D0 в разклонителната кутия от задната част на СП - вдясно

2. Аккумуляторните батерии (АБ) са предназначени за второ независимо хранване на инвертора. Те са зададени с общи номинални параметри: капацитет: $C_{AB} = 230 \text{ Ah}$; сумарно напрежение $\Sigma U_{AB} = 24 \text{ V}$; к.п.д. $\eta_{AB} = 85\%$; сумарна енергия: $\Sigma W_{AB} = C_{AB} \cdot \Sigma U_{AB} \cdot \eta_{AB} = 4692 \text{ Wh}$.



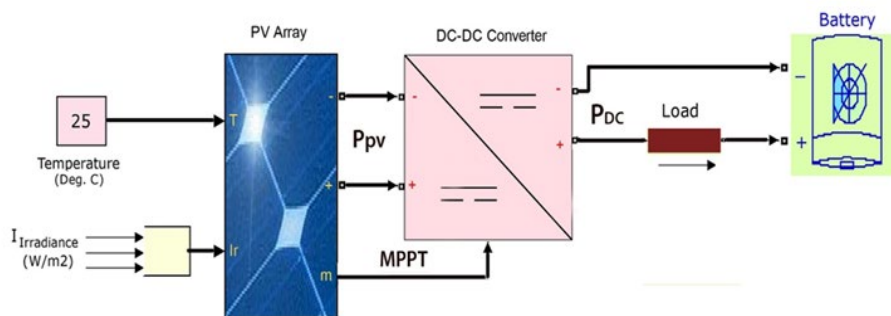
Фиг.3. Схема на последователно свързване на две АБ с общо изходно напрежение 24 V;

Важно: Характерна особеност на АБ използвани в автономните соларните системи е конструкцията им. Този модел акумулатори се изработват по специална технология, позволяваща дълбоки цикли на разряд/заряд и голям диапазон на изменение на капацитета им.

3. Соларен конвертора (DC/DC converter) на напрежение

Конверторът (DC/DC converter) показан на блоковата схема от фиг.4. се хранва от АБ или СП, като приоритета се определя от интензитета на слънчевата радиация.

Целта на включеният между СП и инвертора конвертор DC/DC е стабилизиране на входното напрежение с възможност за задаване на изходното напрежение в зависимост от капацитета и модела на АБ. Контролера от DC/DC прилага алгоритъм проследяващ точката на максимална мощност (MPPT) с обратни връзки по ток и напрежение и дозареждане на АБ.



Фиг.4. Блок схема на свързаните DC/DC converter (вграден в инвертор), масив от соларни панели СП (PV Array) и акумулаторни батерии (АБ);

Еднофазен соларен инвертор на напрежение DC/AC за 3kVA

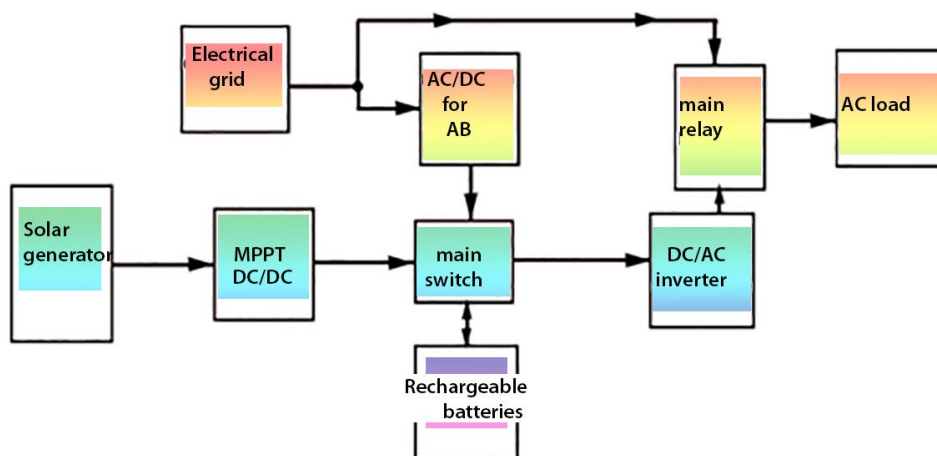
Изходни номинални параметри:

$$U_{\text{out}} = 230\text{V} - \text{чиста синусоида}, I_{\text{out}} = 12\text{A}, f = 50\text{Hz};$$

1. Архитектура на лабораторната фотоволтаична система

Соларната система се състои от три независими източника на енергия:

- акумулаторни батерии (АБ), соларни панели (СП) и обществена електрическа мрежа.



Фиг.5. Блокова схема на лабораторния соларен инвертор от фотоволтаичната система;

Блоковата схема от фиг.5 е изградена от външни компоненти и вътрешни, които са архитектурата на соларния инвертор модел FSP 3kVA.

Приоритетите за посоките на обмен на енергията между входно/изходните електрически вериги се задават по програма от соларния инвертор на напрежение.

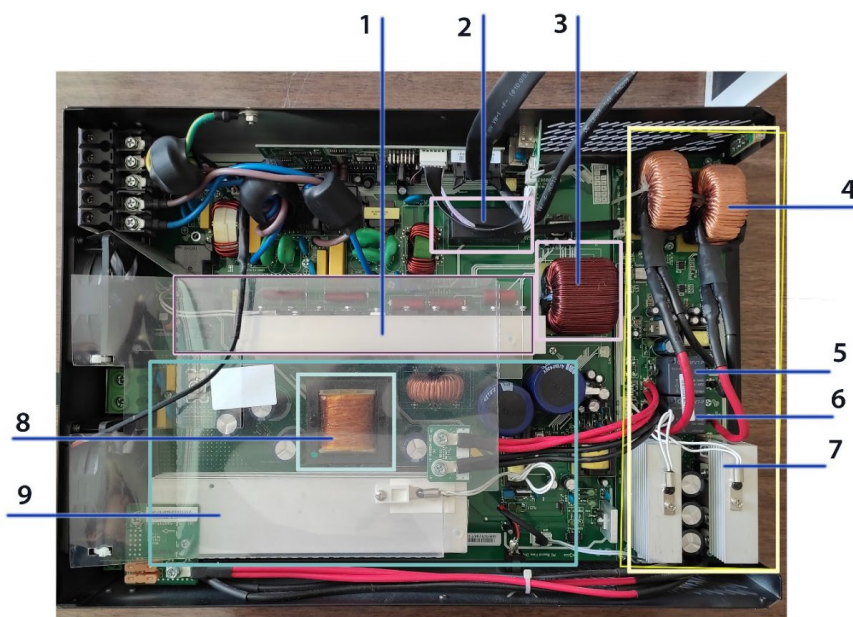
- Соларният инвертор се управлява от **цифров сигнален процесор (DSP)** от най - ново поколение и е интелигентната част от архитектурата.

- Основната функция на инвертора е да преобразува постоянното напрежение в променливо, чрез прилагане на широчинно импулсна модулация (ШИМ) с висока ефективност. При пълно натоварване тя достига до 98%.

- Важна характеристика е стабилизиране на постоянното напрежение след СП чрез DC/DC понижаващ модел конвертор и програма за оптимален режим заряд/разряд на АБ според вида ѝ. Алгоритъм за проследяване точката на максимална мощност MPPT на СП е заложен в контролера на DC/DC.

2. Основна платка на соларният инвертора на напрежение модел FSP 3kVA

Снимката показана на фиг.6. условно е разделена на няколко модула.



Фиг. 6. Платка-страна елементи на инвертора на напрежение модел FSP 3kVA

- Посочен на позиция 1 от фиг.6 компонент е радиатор с монтирани силови полупроводникови елементи, които накъсват постоянното напрежение от 300V с период от 20mS или честота е 50Hz.

- Позиции 2 и 3 образуват изходен резонансен LC филтър, изглаждащ формата на синусоидата на напрежението с параметри $\sim 230V/50Hz$;

- Модулът от фиг.6 с позиции 4, 5, 6, 7 изпълнява функцията на понижаващ модел на напрежение (конвертор DC/DC) от СП и се управлява чрез контролер за проследяване точката на максимална мощност MPPT. Той контролира и стабилизира големината на генерираните напрежение и тока, чрез обратни връзки изпълнени като еталонни делители на напрежение и токови трансформатори- позиция 4.

- Позиции 5 и 6 са главни релета за превключване режимите на работа и приоритетите от източниците към консуматорите.

- Силовият модул захранван от АБ през DC/DC конвертора посочен в позиции 8 и 9, стабилизира напрежението от СП на 24V. Импулсен преобразувател, използващ мощен високочестотен трансформатор с феритен магнитопровод (позиция 8), преобразува напрежението от АБ в променливо (DC/AC) на 300V с висока честота. Полученият импулсен ток се изправя чрез силов мостов изправител, филтрира се с високоволтови електролитни кондензатори и се подава на входа в разгледания по-горе блок, посочен на позиция 1.

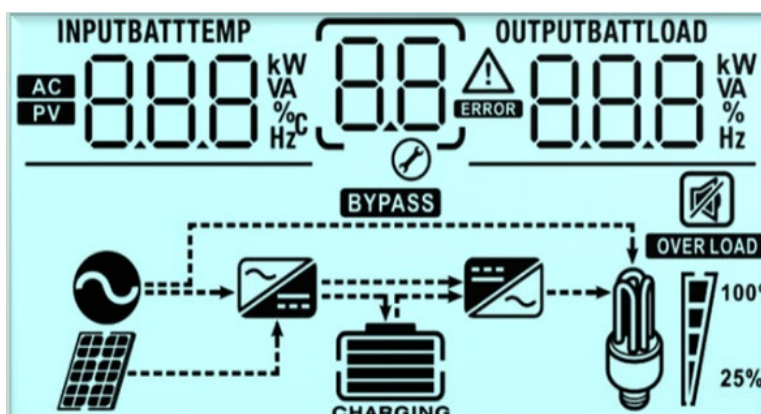
- На позиция 9 е посочен мощен мрежов токоизправител по мостова схема на 24V, дозареждащ АБ през времето, когато инвертора работи в режим обществена мрежа. Максималният ток на зареждане се задава в менюто на софтуера в зависимост от вида и номиналния капацитет на използваните АБ.

- Както се вижда от снимката на фиг.6 охлаждането на силовите елементи се осъществява с малки радиатори, поради монтираните два

вентилатора в кутията на инвертора. Повишаването на температурата на силовите транзистори се измерва от сензорите монтирани на радиаторите и автоматично се включват вентилаторите при превишаване на зададена стойност.

Синтез на екраните от работата на соларния инвертор (DC/AC)

Дисплеят монтиран на лицевата част на соларния инвертор показан на фиг.7. визуализира работата на функционални блокове и електрическите вериги. Отчитат се големините на измерените характеристики на входа и изхода, в реално време. Под дисплея са разположени LED индикатори и функционални бутони за управление и настройка на системата.



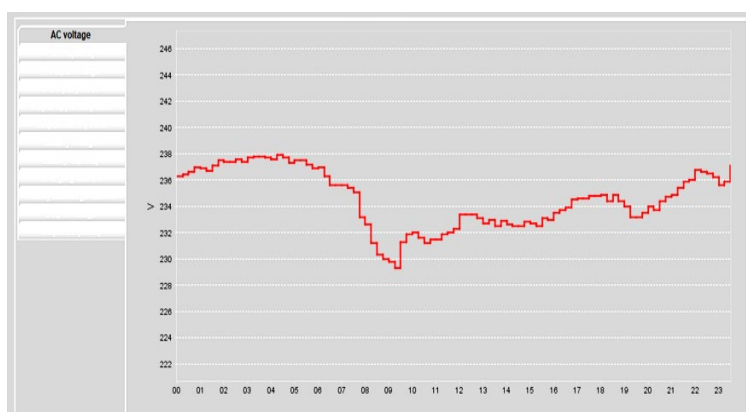
Фиг.7. Дисплей за визуализация на интелигентно управление от съвременни модели соларни инвертори на напрежение.

- В горната част на дисплея от фиг.7 в реално време се визуализират текущите параметри на входната част (вляво) и изходната част (вдясно).
- В долната част на дисплея е показана схемата на свързване на източници и консуматори. Прекъснатите линии отчитат възможни комбинации в зависимост от зададения алгоритъм на работа на соларния инвертор.

- Чрез дисплея е предвидено настройване на соларния инвертор чрез бутони на лицевия панел, в зависимост от използваните компоненти. Другата възможност за програмиране е чрез компютър, на който е инсталирано специализираното приложение на софтуера за управление. От там е възможно да се записват данните и да се изпълнява мониторинг на основните параметри, което е направено в експерименталната част.

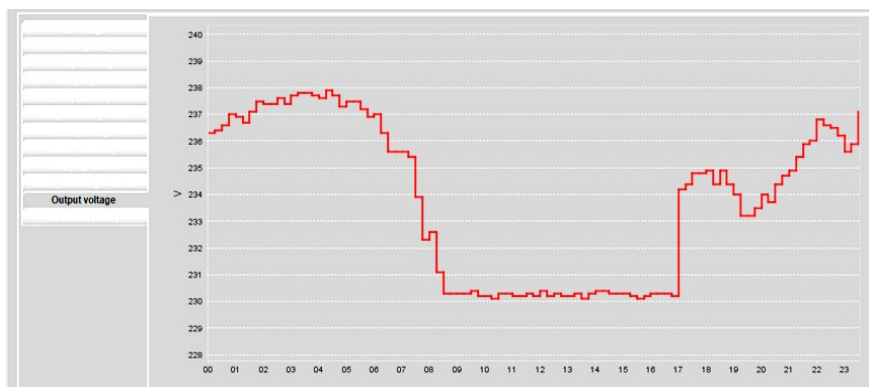
Експериментална част

1. Диаграмата от фиг.8 е запис от изменение на големината на входното $U_{\text{мрежа}}$ с ефективна стойност 230V през интервали от 1 час за период от 24 часа. Отчита се изменение на напрежението от обществената мрежа 230V, което се колебае в рамките на нормата около 5%.



Фиг.8. Записи в графична форма от изменението на входното напрежение от външната мрежа 230V.

Диаграмата от изменение големината на изходното напрежение показано на фиг.9 в периода от 8ч. до 17ч. е получена, когато системата работи в инверторен режим със слънчевата енергия, за захранване на консуматорите.



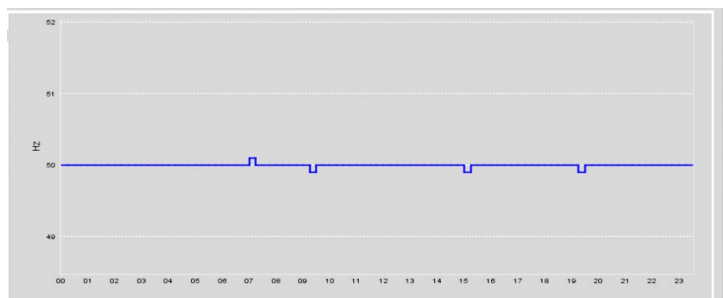
Фиг.9. Запис в графична форма от изменение големината на изходното напрежение, захранващо консуматорите, за период от 24часа;

При анализът на диаграмата от фиг.9 се отчита стабилизиране на изходното напрежение в интервал от време 8ч. до 17ч., когато работи соларния инвертор.

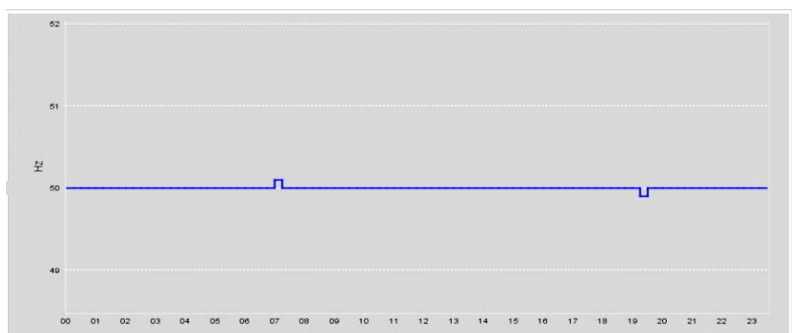
Резултатът от експеримента показва стабилизиращите възможности на инвертора на напрежение при отклонение на изходното мрежово напрежение от зададената номинална стойност.

2. Диаграми проследяващи честотата на входното мрежово и честотата на изходното напрежение от работата на соларния инвертор, за период от 24часа.

Графично представените резултати от фиг.10а и фиг.10б отчитат няколко отклонения в рамките на десети от херца. При работа на системата в инверторен режим в периода от 8ч. до 17ч., мрежовата честота се стабилизира, което е показано на диаграмата от фиг.10б.



Фиг.10 а. Запис от мониторинга за изменение честотата на входното мрежово напрежение;

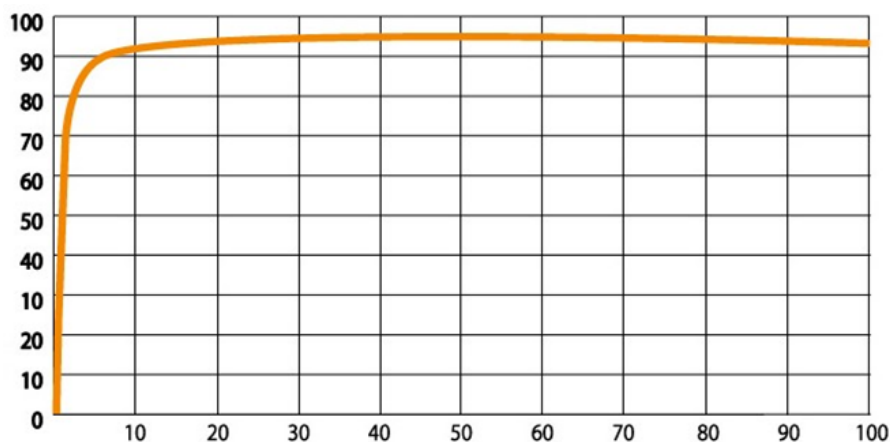


Фиг.10 б. Запис от мониторинга за изменение честотата на изходното напрежение от соларния инвертор;

Мониторингът от работата на инвертора за период от 24 часа е показан на фиг.9 и фиг.10б. При работа в инверторен режим се отчитат два стабилни изходни параметъра, характерни за качествените инвертори на напрежение (номинално изходно напрежение и изходна мрежова честота).

3. Ефективност на соларния инвертор в различни режими на натоварване.

Соларният инвертор на напрежение е най - ефективен при номинално натоварване за продължителен период от време. Ефективността се изменя при различните етапи на натоварване, като при работа без консуматор е най-ниска.



Фиг.11. Процентно изражение на ефективността на работа на соларния инвертор при поетапно натоварване на изхода.

Диаграмата на фиг.11 показва изменение на производителността на инвертор на напрежение, като отношение на мощността към ефективността, в относителни единици.

Приложението на соларния инвертор е масово в бита и промишлеността, поради качествените показатели, свързани с енергийната ефективност и „зелената“ енергия.

Съвременният модел на соларен инвертор на напрежение е компактен и високоефективен преобразувател и стабилизатор на електрическа енергия с коефициент на ефективност близък до 100%.

Изводи от анализите:

- Изследванията и експериментите във времето са осъществени върху изградена и функционираща лабораторна соларна система чрез записи със софтуер за мониторинг.

- Резултат от мониторинга са диаграмите от фиг.9 и фиг.10., които отчитат стабилизиране на изходното напрежение и честота при работа на фотоволтаичната система в режим на инвертор.

- Предпоставки за повишаване ефективността на соларния инвертор:

Анализирайки графиката от фиг.11 следва извода, че при работа на празен ход до 10% натоварване, работните показатели на инвертора са влошени. Това създава загуби при преобразуването на енергията от един вид в друг.

- Моментът на стартиране на соларния инвертор и работата му на празен ход създават условия за загуба на активна мощност и влошен хармоничен състав на изходните параметри – ток и напрежение. При инсталиране на соларния инвертор са необходими спазване на следните условия:

- Стартирането на соларния инвертор трябва да бъде еднократно за продължителен период от време.
- Режимът на празен ход трябва да бъде кратковременен, като натоварването бързо да достига номиналните стойности.
- Системата ще работи най - ефективно при номинално натоварване за продължителен период от време.

автор: Васил Борисов Иванов

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