

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ Инженерно-педагогически факултет Катедра Електротехника, автоматика и информационни технологии

Маг. инж. Николай Димитров Паунков

ВИРТУАЛНА ЛАБОРАТОРИЯ ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА СЛЪНЧЕВИ ЕНЕРГОПРЕОБРАЗУВАЩИ СИСТЕМИ

ΑΒΤΟΡΕΦΕΡΑΤ

на дисертация за придобиване на образователна и научна степен "ДОКТОР"

Област: 5. Технически науки

Професионално направление: 5.2. Електротехника, електроника и автоматика

Научна специалност: Електрически мрежи и системи

Научен ръководител: Проф. д-р инж. Стефка Неделчева

Сливен, 2018 г.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от Катедрения съвет на катедра "Електротехника, автоматика и информационни технологии" към ИПФ - Сливен на ТУ-София, на редовно заседание, проведено на 11.10.2018 г.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 22.02.2019 г. от 13 часа в зала 1207 на ИПФ, гр. Сливен, бул. "Бургаско шосе" 59 на открито заседание на научното жури, определено със заповед № ОЖ-5.2-19 от 09.11.2018г. на Ректора на ТУ-София в състав:

Вътрешни за ТУ- София

1. проф. д-р инж. Стефка Иванова Неделчева - ТУ - София, ИПФ - Сливен - научен ръководител

2. доц. д-р инж. Станимир Благоев Стефанов - ТУ - София, Филиал гр. Пловдив

Резервен член: доц. д-р инж. Димитър Атанасов Няголов - ТУ - София, ИПФ – Сливен

Външни за ТУ- София

1. проф. дтн инж. Чавдар Иванов Дамянов - УХТ - гр. Пловдив

2. доц. д-р инж. Антон Георгиев Андонов - ХТМУ - гр.София

3. доц. д-р инж. Красимира Василева Керемидчиева - Тракийски университет - Стара Загора, ФТТ - Ямбол

Резервен член: доц. д-р инж. Божидар Георгиев Марков - УХТ - гр. Пловдив

Рецензенти:

1. проф. д.т.н. инж. Чавдар Дамянов

2. доц. д-р инж.Станимир Стефанов

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на ИПФ-Сливен на ТУ-София, бул. "Бургаско шосе" № 59, Сливен.

Дисертантът е докторант свободна форма към катедра "Електротехника, електроника и автоматика" на факултет ИПФ. Изследванията по дисертационната разработка са направени от автора в ТУ София филиал Пловдив, с подкрепата и съдействие от фирмата Сгапе - Пловдив.

Автор: маг. инж. Николай Паунков

Заглавие: Виртуална лаборатория за изследване на слънчеви енергопреобразуващи системи

Тираж: 30 броя

Отпечатано в ИПК на Технически университет – София

І. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД¹

Актуалност на проблема

Научните и научно-приложните изследвания, свързани с производството на енергия от слънчеви енергопреобразуващи системи, както и със следенето и регулирането на техните параметри, са насочени към комплексно решаване на проблемите свързани с повишаване както на ефективността на енерго-преобразуващите компоненти и на системите с които биват измервани, следени и обработвани техните параметри. От тази гледна точка всички разработки и изследвания в тези направления са актуални. Следователно, решаваните задачи по създаването на виртуална лаборатория за изследване на слънчеви енергопреобразуващи системи както и извършените експериментални изследвания в дисертационният труд са актуални.

Цел на дисертационния труд, основни задачи и методи за изследване

Целта на дисертационния труд е да се създаде умна контролно – измервателна система, приложима при изследването и експлоатацията на автономни хибридни системи за електро и топло снабдяване на битови стопанства. За постигането на тази цел са набелязани и решени 4 задачи, като най съществените от тях са съставяне на алгоритми за работата на умна контролно-измервателна система, създаването на неин прототип, провеждане с нея на измервания и обработка на получените данни. Избраната методика за постигане на целта и задачите на дисертационния труд е в съответствие с тях, а от своя страна постигнатите приноси съответстват на поставените цел и задачи.

Научна новост

Научната новост в дисертацията се състои в разработване на методика за изчисляване на комплексните неопределености на измерваните характеристики на слънчеви енергопреобразуващи системи в момента на провеждане на измерванията.

Практическа приложимост

- Разработена е хардуерна платформа, разширяваща възможностите на стандартен измервателен модул посредством използване на мултиплексиране на входните сигнали подаване към АЦП.
- Разработено е SCADA приложение, осигуряващо софтуерни изчислителни и визуализиращи инструменти за измерване на характеристиките на системи за "добив и съхранение на електрическа и топлина енергия".
- Тествана е нова конструкция на PV/T панел и е оценена неговата ефективност.
- С така разработената виртуална лаборатория са проведени изследвания на стандартни PV и PV/T панели, и е анализирана тяхната ефективност, като са определени и параметрите на топлината част на PV/T - панела при различни температури.

Публикации

Публикациите по дисертационния труд са общо 4 бр. Три от публикациите са отпечатани в Journal of the Technical University – Sofia, branch Plovdiv, Сборник доклади TECHSYST – съответно 2013, 2015, 2017 година на български език, като една от тях е самостоятелна. Четвъртата публикация е публикувана в научно издание в Казахстан Physical Sciences and Technology Vol. 4 (No. 2), 2017: 80-87.

Структура и обем на дисертационния труд

Дисертационният труд е в обем от 185 страници, като включва увод, 5 глави за решаване на формулираните основни задачи, списък на основните приноси, списък на публикациите по дисертацията и използвана литература. Цитирани са общо 137 литературни източници, като 61 са на латиница и 37 на кирилица, а останалите са интернет адреси. Работата включва общо 124 фигури и 13 таблици. Номерата на фигурите и таблиците в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРЕН ОБЗОР

Европа и в частност България са бедни на енергийни ресурси и горива. Основните находища са извън границите на Европейския съюз. На лице е изчерпване на тези ресурси, повишаване на техните цени, понякога чисто спекулативно. Това оказва силно отрицателно въздействие на икономиката. Пречи на устойчивият растеж на националния брутен вътрешен продукт. Наред с увеличаването на броя на населението на земята, непрекъснато нараства потребността от енергия. Нарастващите енергийни потребности увеличават замърсяването на околната среда.

Съществуват нови алтернативни начини за добив на енергия, като например слънчевата енергия. Технологиите за получаване на енергия от слънцето се усъвършенстват и стават все поактуални. Известни са основно два варианта за енергодобив от слънцето: единият е свързан с директното преобразуване на слънчевата светлина в електричество чрез така наречените фотоволтаични модули (PV), при другия се използва само топлинната съставка посредством така наречените топлинни слънчеви колектори (T).

Слънчевата технология е особено приложима при малките автономни и битовите консуматори. Една комбинирана слънчева (PV/T) система от най-прост тип би могла да намали нуждата от електроенергия и почти напълно да задоволи тяхната потребност от топла вода, особено през летните месеци. При една по-усложнена (PV/T) система е възможно да се осигури и охлаждане или вентилацията на едно битово стопанство.

Поради сложността на самите системи, разнообразието на използваните методи за добив на енергия от слънцето се налага използването на комплексни методи и измервателна апаратура за оценка на различните величини участващи в процеса на преобразуване, запасяване и използване на добитата енергия. За доказване или определяне на ефективността на подобна система се налагат продължителни целогодишни измервания. Нужно е да се отчитат циклите ден-нощ, зима-лято, облачно или безоблачно време. Налага се да се измерва пряката радиация която се приема от слънцето, както и каква част от отразената или дифузната се използва.

Съвременните средства за автоматизирано измерване и събиране на данни дават възможност да се провежда дистанционно отчитане на множество, светлинни, топлинни, електрически параметри. Възниква концепцията виртуален измервателен инструмент (устройство или прибор, което автоматизирано измерва с нужната точност, управлява, обработва резултатите и ги визуализира чрез стандартен персонален компютър, снабден с програмна среда високо ниво). Употребата на виртуална среда намалява цената на цялата измерителна система и и предава нужната гъвкавост. Става възможно провеждането на продължителни, целогодишни комплексни измервания и изследвания, с натрупване на база данни без намесата на оператор.

1.5 Цели и задачи на изследването

Цел на изследването

Целта на дисертацията е да се създаде умна контролно измервателна система, приложима при изследването и експлоатацията на автономни хибридни системи за електро и топлоснабдаване на битови стопанства.

Задачи

За постигането на поставената цел е необходимо решаването на следните задачи:

1. Създаване на типова структура на контролно измервателната система и избор на основните съставящи хардуерни и софтуерни компоненти;

2. Съставяне на алгоритми за работата на системата с възможности за предварителна обработка на измервателната информация, архивиране и дистанционен контрол;

3. Създаване на прототип на контролно измервателната система, тестване и калибриране на измервателните канали и с възможности за дистанционен достъп;

4. Провеждане на практически дългосрочни измервания с обработка на опитните данни;

ГЛАВА 2. ОБЕКТ И МЕТОДИКА НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

2.1 Обект на изследването

Обект на настоящото изследване е хибридна инсталация за производство и акумулиране на топлинна и електрическа енергия, снабдена с виртуална, контролно-измервателна система,

предназначена за локално и дистанционно наблюдение, съхранение и анализ на измервателната информация.

2.1.1 Структурна блокова схема на системата

На Фиг. 2.1 е показана структурната блокова схема на системата. Тя се състои от две основни части: електрическа и топлинна.



Фиг 2.1 Структурна блокова схема на системата

2.1.2 Хардуерни компоненти.

В настоящият параграф ще разгледаме система, съдържаща основните, най-често срещани компоненти на една типична система. Първоначално ще определим местата където ще се поставят отделните сензори и изпълнителни механизми. Следващата стъпка е да определим на какви изискванията трябва да отговарят те. При измервателните сензори трябва да преценим: какво те ще измерват, в какъв диапазон, с каква точност и резолюция. Трябва да се знае и с каква честота ще се провеждат измерванията. На тази база ще бъде избран и съответния хардуер и софтуер за събиране и обработка на получените данни.

Хардуерни компоненти на топлинната част

На Фиг.2.2 са показани основните хардуерни компоненти на топлинната част на системата: слънчеви колектори 1, бойлер 2 и латентен топлинен акумулатор 3. Движението на работния флуид през слънчевия кръг се осъществява посредством циркулационната помпа 4. В другия кръг водата постъпва директно от водопровода.



Фиг.2.2 Топлинна схема на системата

Следенето на част от температурите и управлението на електро-нагревателя и циркулационна помпа се извършват от диференциалния термостат 5. Измерването на температурите става с температурни сензори, а на обемния разход в различните кръгове – с обемни разходомери с импулсен изход.

Спецификацията на компонентите от топлинната част е следната:

- 1. Плосък слънчев колектор (3 бр.);
- 2. Буферен съд за топла вода (бойлер) 200L;
- 3. Латентен топлинен акумулатор на база материали с промяна на фазовото състояние (МПФС) 320L;
- 4. Циркулационна помпа;
- 5. Диференциален термостат на соларния кръг;
- 6. Електромагнитен вентил;
- 7. Разширителен съд (12L);
- 8. Трипътен термостатиращ вентил;
- 9. Измервателно-регулираща система (data logger);
 - Т Температурен сензор;
 - М Обемен разходомер с импулсен сензор;
 - G Измерител на глобална слънчева радиация.

Хардуерни компоненти електрическата част

На Фиг.2.3 е показана електрическата схема на системата със съответните измервателни прибори:

DCA - Токов сензор за измерване на постоянен ток;

АСА - Токов сензор за измерване на променлив ток;

DCV - Напреженов сензор за измерване на постоянно напрежение;

ACV - Напреженов сензор за измерване на променливо напрежение;

W - Ватметър;

Е - Електромер;



Фиг.2.3 Електрическа схема на системата

Наличието на измервателни прибори за постоянен ток и напрежение на изхода на PV/T панела е с цел да могат да се определят някои негови електрически параметри – напрежение U_{OC} и ток на празен ход I_{OC} , ток на късо съединение I_{SC} и точката на максимална мощност **МРР** (P_{mppl}). Чрез тези параметри ще определим електрическата ефективност на модула η_{en} и при какви условия се постига. Такива прибори ще има и на шината за постоянен ток (DC). На нея сензорите ще имат контролно измервателно предназначение, могат да се използват за контрол на заряда на акумулаторите, за определяне КПД на всички DC преобразуватели.

От страна на шината за променлив ток са свързани токови и напреженови сензори за измерване на променлив ток и напрежение. Към тях е добавен ватметър и импулсен електромер. За целите на определянето на енергийните характеристики е нужно да се определи и факторът на мощността *cosφ*.

2.1.3 Компоненти на виртуалната, контролно-измервателна система

Системите за управление на сложни технологични процеси (Industrial Control Systems – ICS) се използват в промишлеността, транспорта, изследователските лаборатории и в енергетиката [62]. Те могат условно да бъдат разделени на три групи [12]:

1. Системи за събиране на данни, наблюдение и управление (Supervisory Control and Data Acquisition – SCADA)

2. Разпределени системи за управление (Distributed Control Systems – DCS)

3. Други управляващи системни конфигурации, изградени с програмируеми логически контролери (Programmable Logic Controllers – PLC).

За нуждите на нашата инсталация ще бъде използвана Supervisory Control and Data Acquisition – SCADA система

С помощта на SCADA системите могат да се разработят приложения за компютри които да приемат, записват, обработват и анализират данни, и сигнали, да ги визуализират, да осъществяват дистанционен мониторинг по вътрешна LAN мрежа или с помощта на Интернет.

2.2.1 Методика на експерименталните изследвания

Основните параметри, които е необходимо да се измерват са температура, ток, напрежение, електрическа и топлинна мощност, слънчева радиация, разход на флуид, коефициент на полезно действие (КПД) на електрическата и съответно КПД на топлинната част на инсталацията.

Методи за измерване на температура. Измерване на температура посредством термопреобразувател РТ100

Измерването на температурата се извършва посредством термо-сензори РТ100. Платината има сравнително високо специфично съпротивление. Зависимостта на съпротивлението R_{Θ} от температурата Θ в сравнително широк температурен интервал (за температури над 0 °C) се описва достатъчно точно с формулата на Календер

$$R_{\theta} = R_0 (1 + A\theta + B\theta^2) \tag{2.3}$$

където R_0 е съпротивлението при 0°С, а A и B са константи които обикновено се определят от съпротивленията на терморезистора измерени в три реперни точки от международната температурна скала. Съгласно БДС 10726-73 константите A и B се определят чрез измерване на съпротивлението в тройната точка на водата $\Theta_{\rm Tp}$ = 0,01 °С, точката на кипене на водата Θ_{κ} = 100 °С, и точката на втвърдяване на цинка Θ_{Zn} = 419,58 °С.

При температури от 0 до -200 °C зависимостта на съпротивлението R_Θ от температурата Θ се описва с формулата

$$R_{\theta} = R_0 [1 + A\theta + B\theta^2 + C(\theta - 100)\theta^3]$$
(2.4)

Тук константите *A* и *B* са както във формулата 2.4, а константата *C* се определя в точката на кипене на кислорода Θ_{0_2} = -182,97 °C. Съгласно БДС 10713-73 константите могат да имат съответно стойностите:

 $A = (3,90\ 785 \div 3,9685).10^{-3} \circ \text{C}^{-1}, B = -(5,875 \div 5,85).10^{-7} \circ \text{C}^{-2}, C = 4,2.10^{-12} \circ \text{C}^{-4}$

Ако се реши уравнение (2.4) по отношение на измерваната температура. Тъй като уравнението е квадратно, за да не се губи точност при изчисленията, трябва да се използва един от изразите за корените на квадратното уравнение, който изисква само събиране на числата. в този случай за температури над 0°С се получава:

$$\theta_{1} = \frac{2\left(\frac{R_{\theta}}{R_{0}} - 1\right)}{A + \sqrt{A^{2} + \left(\frac{R_{\theta}}{R_{0}} - 1\right) \cdot 4B}}$$
(2.10)

При много точни измервания температурата, определена по съпротивлението на образцовия терморезистор, трябва да се коригира, за да се отстрани известната нелинейност на термометъра, която не е отчетена в израза (2.4). С тази цел се въвежда поправката Θ_{Δ} съгласно формулата

$$\theta_{\Delta} = 0,045 \frac{\theta}{100} \left(\frac{\theta}{419,58} - 1\right) \left(\frac{\theta}{630,74} - 1\right)$$
(2.11)

Изчисляване на мощности

Р=U.I - Електрическа мощност

 $Q_t = \frac{\Delta T.C_t.Q_V.\rho_V}{t}$ - Интензивност на топлопредаване (топлинна мощност)

 $\Delta T = (T_{\theta out} - T_{\theta in}), [^{\circ}C][K]$ е диференциалната разлика от температурите на входящия и изходящия флуид (вода);

 $T_{\theta in}$ – средна начална температура на охлаждащия флуид в системата, °К;

 $T_{\theta out}$ – средна крайна температура на охлаждащия флуид в системата, °К;

 $C_t \approx const = 4186 \frac{f}{kg. \circ C}$ за температура 20°С до 60°С е коефициент на специфична топлоемкост (данните са за вода).

 ρ_V , [kg/l] е обемната плътност. За вода приемаме ,че $\rho_V = 1$. Изменението на плътността с промяна на температурата е много малка и може да се пренебрегне.

 Q_V , [l/sek] е дебита (обемния разход) на водата която тече през тръбите на инсталацията.

2.2.2 Методи за обработка на опитните данни.

Изследванията на хибридната фотоволтаично - соларна инсталацията ще бъдат извършени основно посредством физически експеримент. Поради сложността и спецификата на самата система е нужно продължително събиране на голям обем експериментални данни и тяхната статистическа обработка.

Етапите на статистическото изследване според класически подход са:

подготвителен етап, наблюдение и регистрация на данните, групировка и сводка на данните, статистически анализ.

Към статистическата обработка влизат проверката на данните за груба, систематична и случайна грешка. След това получените характеристики се апроксимират и изглаждат.

След статистическата обработка на данните се създава математически модел и се проверява неговата адекватност.

Обработката на резултата от измерването при еднократни измервания става чрез определяне на грубата грешка. Методичната и субективната грешки могат да се пренебрегнат, ако сумата им е по-малка от 15% от грешката на средството за измерване (СИ). Тогава основно оценяването става чрез паспортните данни на СИ, а това е зададеният клас на точност γ_0 – това е характеристика гарантираща границите на основната и допълнителната грешки на СИ.

Абсолютната грешка на резултата от измерването се определя, чрез класа на точност γ₀ и измерената стойност X на измерваната величина. Това се прави по следният начин:

$$\Delta X = \frac{\gamma_0 X}{100} \tag{2.25}$$

Абсолютната грешка може да се определи и чрез приведената грешка, като вместо измерената величина X използваме номинанлния обхват X_н

$$\Delta X = \frac{\gamma_0 X_{\rm H}}{100} \tag{2.26}$$

Основни характеристики на неопределеността на измерването

Използват се 4 вида неопределеност - Стандартна от тип А, Стандартна от тип В, Комбинирана от тип С и Разширена неопределеност.

1. При преки измервания

Стандартна неопределеност от тип А – означение - иА

- о намира се от статистическа обработка на резултатите
- о причините са неизвестни, но с увеличението на n тя намалява
- съответства на обработката при наличие само на случайна грешка в класическия подход
- о равна е на стандартното отклонение на средноаритметичната стойност.

$$U_A = S(\bar{X}) \tag{2.36}$$

Стандартна неопределеност от тип В – означение - иВ

- о намира се от спецификациите на производителите
- о не се променя от броя на повторните измервания
- о свързана е с неточността на пасивните елементи
- о съответства на обработката при наличие само на систематична грешка в класическия подход.

Когато стойностите на грешката са равно вероятни се използва равномерно разпределение и:

$$U_B = \frac{\Delta X}{\sqrt{3}} \tag{2.37}$$

Когато в средата на интервала са по вероятни стойностите на грешката се използва триъгълно разпределение и:

$$U_B = \frac{\Delta X}{\sqrt{6}} \tag{2.38}$$

2. При косвени измервания

Намиране на относителната неопределеност при измерване на електрическа мощност Електрическата мощност *P* = *U*.*I* за един опит :

P[W] - електрическа мощност; U[V] - напрежение; I[A] – ток.

При еднократно измерване, резултатите от измерването показват разлика между електрическите мощности на двата канала от 2W или при $P_{\rm H} = 250$ W за панел, получаваме грешка $\delta = \frac{\Delta P}{P_{\rm H}} 100\% = \frac{2}{250} 100 = 0.8\%$

За намирането на относителната неопределеност на мощността при n на брой опити (30 опита). Намираме точковата оценка (средноаритметичната стойност) на тока и напрежението:

$$\bar{P} = \bar{U}.\bar{I} \tag{2.41}$$

Намираме съставящите на относителната неопределеност U_P/P .

Където \overline{U} и \overline{I} са точковата оценка (средноаритметичното) на напрежението и тока.

За определяне на относителната неопределеност $u_A = u_P/P$ на електрическата мощност P се използва следната формула:

$$u_{AP} = \frac{u_P}{\bar{P}} = \sqrt{\frac{S(\bar{U})^2}{\bar{U}^2} + \frac{S(\bar{I})^2}{\bar{I}^2}}$$
(2.48)

Намиране на относителната неопределеност при измерване на Топлинната мощност

$$Q_t = \frac{\Delta T.C_t.Q_V.\rho_V}{t} \tag{2.49}$$

Факторите влияещи върху точността са диференциалната разлика от температурите на входящия и изходящия флуид ΔT и дебита Q_V . Или за средноаретмитичната стойност на топлиннат мощност получаваме:

$$\overline{Q_t} = \overline{\Delta T} . \overline{Q_V} \tag{2.50}$$

където $\overline{\Delta T}$ и $\overline{Q_V}$ са точковата оценка (средноаритметичното) на напрежението и тока.

За относителната неопределеност $u_A = u_{Qt} / Q_t$ на електрическата мощност P се използва следната формула:

$$u_{AQ} = \frac{u_{Q_t}}{\overline{Q_t}} = \sqrt{\frac{S(\overline{\Delta T})^2}{\overline{\Delta T}^2} + \frac{S(\overline{Q_V})^2}{\overline{Q_V^2}}}$$
(2.57)

Намиране на неопределеност при измерване на температура, ток, напрежение, слънчева радиация.

Обработката на резултатите се извършва в следната последователност:

1. Изключване на грубите грешки от резултатите на многократните наблюдения.

- 2. Изключване на известните систематични грешки от резултатите на наблюденията
- 3. Определяне на експерименталното средно аритметичното $S(\overline{y})$ на средно

квадратичното квадратично отклонение S(y) на средното аритметично \overline{y} на резултатите от наблюденията по формула:

$$S(\bar{y}) = \frac{S(y)}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (y_i - \bar{y})^2}{n.(n-1)}}$$
 при $n < 30$ (2.58)

4. Определяне на вида на разпределението на резултатите от многократните наблюдения.

За проверка на хипотезата могат да се използват различни статистически критерий. Изборът им зависи от броя на наблюденията и от предполагаемия закон за разпределение.

При величини в изчислението на които участват няколко фактора внасящи неопределеност:

При неопределеността в резултата на величини определящи се с един фактор и n >100 може да се приеме, че:

$$u_A = S(\bar{y}) \tag{2.59}$$

При величини в изчислението на които участват няколко фактора внасящи неопределеност:

$$u_A = u_{AQ}$$
или $u_A = u_{AP}$ (2.60)

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТВАНЕ НА ВИРТУАЛНА ИЗМЕРВАТЕЛНА СИСТЕМА

3.1 Избор на хардуерни компоненти

Традиционните измервателни инструменти мултиметри, ватметри, електромери, осцилоскопи или измерители на неелектрически величини са изградени на база на предварително определен хардуер и са напълно ограничени в спецификата на техните функции за анализ или измерване. Тези функции са "твърдо-заложени" [3]. Поради тази причина такива "хардуерни" системи са значително по-ограничени по отношение на тяхната универсалност, в сравнение с тези, изградени на база на виртуалните инструменти. Софтуерния компонент е основната разлика между двата типа инструменти. Програмното осигуряване позволява посредством сравнително прост и евтин хардуер да се замени сложно и скъпоструващо оборудване.

Изборът на хардуерните компоненти на една виртуална измервателна система силно зависи от обединяващата ги софтуерна платформа.

3.1.1 Избор на програмна среда за SCADA системата

На пазара се предлага голямо количество програмно осигуряване за компютърни симулации, управление и визуализация. В литературни източници [88] се цитират значителен брой инструменти със специфично приложение, на базата на различни видове програмно осигуряване като Hypertext, Visual Basic, Authoware, Director, Labtech, Visual C++, Matlab/Simulink, LabVIEW и др.

На Фиг.3.1 е показана сравнителна характеристика на различни програмни среди за създаване на виртуални инструменти и SCADA системи [49].



Фиг.3.1. Софтуер, използван за събиране на данни и контрол на измервателни инструменти (източник [49])

От разгледаните SCADA софтуерни продукти беше избран LabVIEW заради огромните си възможности за работа със сигнали в реално време и изключително богатите драйвери за хардуерни устройства и библиотеки.

▶ <u>LabVIEW</u> притежава готови библиотеки за интегриране на: самостоятелни инструменти, DAQ устройства, инструменти за контрол на движение и работа с изображения, GPIB и серийни устройства. С помощта на тези библиотеки могат да бъдат създавани цялостни системи за измерване и автоматизация.

▶ <u>LabVIEW</u> е съвместим с различни операционни системи като Windows, Mac OS, Sun Solaris и Linux, което гарантира гъвкавост на потребителите.

▶ <u>LabVIEW</u> позволява съхраняване на измерените и обработени данни в различни файлови формати: TXT, DOC, XLS, както и достъп до бази данни Microsoft Access, Microsoft SQL Server, Oracle, dBase и други.

▶ Експлоатацията на отдалечените входно-изходни модули изисква пренос на информация на определено разстояние, поради което е необходимо да бъде изградена комуникационна среда, реализирана чрез средства за комуникация и управление на процесите, поддържащи информацията. Устройствата използват различни стандарти, за да комуникират с DCS, PLC или SCADA системата за управление в предприятието: серийни комуникационни

стандарти (DeviceNet, PROFIBUS, CompoNet, MODBUS, INTERBUS, CANOpen, CC-Link) и Ethernet-базирани стандарти (CC-Link IP, TCP/IP, ProfiNet и др.).

3.1.2 Избор на хардуерните компоненти на системата

Избор на сензори за измерване на температура

Най напред нека разгледаме няколко алтернативни възможности:

1. Платинени терморезисторни температурни сензори в транзисторни корпуси - цена: 5,50 лв. Основните параметри са дадени в Табл. 3.1;

Таблица 3.1. Основни параметри на Pt – сензори в транзисторни корпуси

Обозначение	Толеранс	Съпротивление [Ω]	Корпус
PT1000-SOT223	cl. B 0,24 %	1 000	SOT223
PT100-TO92	cl.B 0,12 %	100	TO92

2. Резистивни сензори Pt100 в корпус за повърхностен монтаж, тип SM (Табл. 3.2) - Цена: 4,03 лв.

Тип сензор	Pt100			
Работна температура	-50±130 °C			
Толеранс	cl.B 0,12 %			
Температурен коефициент	3,85 nppm/°C			
Съпротивление	100 Ω			
Монтаж	SMD			

Таблица 3.2. Основни параметри на Pt сензори тип - SM

3. Цифрови термометри DS18S20 - Цена: \$4,50.

Цифровият термометър DS18S20 на фирмата Maxim предоставя 9-битово температурно измерване и не програмируема функция на аларма която има горна и долна граница на задействане.

Той комуникира чрез 1-Wire® шина която се нуждае само от една линия за данни за комуникация с централният микропроцесор. Оперативните му температурни граници са от -55 °C до +125 °C и точност от $\pm 0,5$ °C при обхват от -10 °C до +85 °C. В допълнение DS18S20 може да получава захранване директно от линията за данни ("паразитно захранване"), елиминиращо нуждата от външно захранване.

Първия тип от разгледаните терморезисторни температурни сензори са тип **Pt100** Те са избрани поради високата си точност. Другия вид са Полупроводникови термометри **DS18S20**, които са избрани поради ниската си цена, точността си и възможността да бъдат свързани голям брой сензори последователно, а от там и измерването на температурата на много точки в системата чрез свързването в само един цифров вход.

Уреди за измерване на слънчевата радиация

Пиранометърът на Кірр & Zonen СМР 6 [137] (Табл. 3.4) измерва глобалната слънчева радиация.

Таблица 3.4. Основни параметри на пиранометър Кірр&Zonen CMP 6

Диапазон на спектъра	285 до 2800 nm		
Чувствителност	$12 \mu V/W/m^2$		
Време за отговор	18s		
Грешка на посоката (до 80° с 1000W/m ²) лъч	$<20W/m^{2}$		
Температурна зависимост от чувствителността (-10°С до +40°С)	<4%		
Температурни граници на работа	-40 °С до +80 °С		
Максимална слънчева радиация	2000W/m ²		
Видимо поле	180°		

Избор на DAQ модул

В резултат на проведения сравнителен анализ между няколко DAQ модула: EKOPOWER-Datalogger EKO21N[122]; DanjonNi01[123]; S6116[125] се избира LabView-съвместимия модул LabJack UE9, като предоставящ най-добро съотношение цена/характеристики.

Характеристиките на LabJack UE9

- 14 аналогови входове(12-16 битови в зависимост от скоростта);
- ±5 или 0÷5 Волта максимална аналогов входен диапазон;
- 2 аналогови изхода (12-битова, 0-5 Волта);
- 23 Цифрови Вх/Изх.;
- До 2 брояча (32-битови всеки);
- До 6 таймери (Пулсиращ таймер, ШИМ изход,...);
- Поддръжка на SPI, I2C, и асинхронен сериен протокол;
- Способност на отговор при зададен управляващ сигнал за време от 1,5 милисекунди;
- USB 2.0/1,1 Пълна скорост на интерфейса;
- Ethernet 10Base-Т интерфейс;
- Двуядрен дизайн на процесора с 168 МНz от общата мощност на процесора;
- Възможност за електрическа изолация с Ethernet интерфейс;
- Безжична DAQ възможност с Ethernet Interface и 802.11 Bridge;
- Не е необходимо допълнително захранване при свързване с USB;
- Поддръжка на Modbus/TCP в хардуера;
- Налични драйвери за Windows, Linux, Mac и Pocket PC;
- Налични примери за C/C++, VB, LabVIEW, Java и още;
- Включени USB и Ethernet кабел, захранване и отвертка;
- Безплатно обновяване на вградения софтуер;
- За използване в температурни граници от -40 до +85 С°.

3.3 Разработване на специализиран хардуер

3.3.1 Измерване на ток и напрежение

Най-често методът за измерване на малки постоянни напрежения (µ/mV) е чрез инструментален операционен усилвател, на входа на които е включен делител на напрежение. Класическа схема на инструментален усилвател с три операционни усилвателя е показана на Фиг.3.17 Двата входни операционни усилвателя имат коефициент на усилване за диференциални и за синфазни сигнали +1.

Изходният операционен усилвател е диференциален усилвател, който преобразува входния сигнал от диференциален в несиметричен; той подтиска синфазните сигнали на входа си. Усилването на схемата лесно може да се настрои с промяна на резистора R_G . Опорното напрежение V_{REF} в схемите с еднополярно захранване обикновено е половината от захранващото($V_{DD}/2$)

$$V_{OUT} = (V_1 - V_2) \left(1 + \frac{2R_2}{R_G} \right) \left(\frac{R_4}{R_3} \right) + V_{REF}.$$
(3.1)



Фиг.3.17. Инструментален усилвател с три операционни усилвателя за усилване на напреженови сигнали

Токът може да се измерва от същия канал или от друг инструментален усилвател, на входа на които е поставен токов шунт, на Фиг.3.18 показан метода за измерване на ток през товара. Токовият шунт показан на схемата представлява еталонен резистор.

Когато се измерва сигнал от 4-20 mA, обикновено стойността на шунта би била 240 Ω . В резултат на това сигнал от 0,96 V до 4,80 V е еквивалентен на 4-20 mA.

За приложения извън диапазона 4-20 mA, шунтът се избира спрямо максималния ток и в зависимост от допустимия пад на напрежение през шунта. Добро решение е използването на 0,01 Ω шунт, а след това използването на усилвател за да усили малкото напрежение произведено от този шунт.

В този случай схемата на свързване се състои от Шунтов резистор и усилвател на сигналите състоящ се от 3 операционни усилвателя свързани в класическа схема. Усилвателя на сигналите се свързва паралелно на шунта за да измери пада на напрежение през него.



Фиг.3.18. Калибриране на токовия датчик чрез шунтов резистор

Формулата за получаването на тока е:

$$I = \frac{U_{OUT}}{k.R_{\rm m}} \tag{3.2}$$

Целта е да се определят токът и напрежението на празен ход и съответно тока на късо съединение на фотоволтаичния панел. Тези стойности служат за определяне на точката на максимална мощност. Тя се определя от волт- амперната характеристика (BAX) на фотоволтаичната част при известно ниво на слънчевата радиация W/m².

3.3.2 Първичен сигнал преобразувателя за измерване на температура

Промяната в съпротивлението на TST("Temperature-Sensing Technologies") в зависимост от температурата се извежда чрез АЦП както е показано на Фиг.3.19 [45].



Фиг.3.19 Входен преобразувател за измерване на температура ([45])

Схемата за токово захранване (Current Generator Circuit) захранва TST. Големината на токовия източник може да бъде настроена до 1mA или по-малко, чрез нагласяне на опорното съпротивление. Падът на напрежение през TST се улавя от A_3 , а след това усилва и филтрира от A_4 . При използването на три-проводен TST се минимизира грешката в следствие на съпротивлението

на проводника и отклонението на съпротивлението на проводника в зависимост от температурата. Грешките от съпротивлението на проводниците R_{W1} и R_{W3} се премахват от сигнала от операционния усилвател A_3 . При тази конфигурация, R_1 и R_2 са равни и сравнително високи. Стойността на R_1 е избрана така, че загубата на токове през резистора да не внася грешки в тока на TST.

Напреженовият сигнал на изхода на А3 е филтриран с 2-ри последователен, ниско честотен филтър създаден с А4, R8, C8A, C8B, R9 и C9 (Sallen-Key Filter with Gain). Конструиран е да има вид на Bessel филтър и широчина на честотата от 10Hz. R10 и R11 задават желаното усилване в зависимост от диапазона на измерване. То намаля шума и предотвратява изкривяването на сигнали от по-висока честота.

Този филтър използва Sallen-Key топология специално конструирана за високи множители. Кондензаторния делител формиран от С8А и С8В повишават чувствителността на филтъра от вариациите на компонентите; филтърът може да бъде неизползваем без тези подобрения. R12 изолира изхода на A4 от токовия товар формиран от последователно свързаните С8А и С8В, като също така повишава производителността при високи честоти.

3.4. Проектиране на специализирана многоканална разширителна платка.

В приложение 2 (Schematic Prints) е показана принципната електрическа схема на многоканалната разширителна платка. Тя съдържа:

1. Преобразуватели за температурни сензори Pt100 - 32 канала

2. Нисковолтови напреженови диференциални входове (за термодвойки, прибори за измерване на слънчевата радиация, токови преобразуватели и др.) - 16 канала

3. До 128 канала за измерване на температура и влажност с помощта на цифрови сензори DS1820 (1-Wire interface);

4. 10 напреженови входа (0-5V с усилване 1,2,4,8 и ±5V);

5. 8 броячни входа (за разходомерите и електромерите с импулсен изход).

6. 12 релета и 8 TTL-изхода (за управление на вентилите и помпите).

На фиг.3.21 е показана многоканалната разширителна платка (карта) включена към DAQ модула LabjackUE9. Показани са входовете и изходите.



Фиг.3.21 DAQ с разширителна карта, входове и изходи

В качеството на упорен източник на напрежение е използван TL431. Използвани са 4канални операционни усилватели MCP609 за повърхностен монтаж. Всички резистори и кондензатори са SMD. Захранването на схемата се осъществява през 37 взводния входно/изходен куплунг на LabJack с еднополярно захранване +5 V. Джъмперите 1...8 се използват за промяна на коефициента на усилване на инструменталните усилватели.

Входове (W+1, W-1) до (W+32,W-32) – Куплунзи X29 до X65 са за измерване на температура. По схемата от (Фиг.3.19) свързваме шунтовото съпротивление и измервателния датчик. Към всички W+ клеми подаваме еталонен ток от генератора на ток (Фиг.3.20). Чрез аналогов мултиплексор HCF4051 тока се подава на съответния измервателен канал по който отчитаме температура в настоящия момент. Сигналът от клеми W+ и W- се подава на диференциален усилвател MCP609. На изхода му излизат сигнали RTD1 до RTD32, които се мултиплексират от друг HCF4051. Сигналът от мултиплексираните канали се подава на Sallen-Key филтър. Изходите AIN6 до AIN9 се свързват към DAQ представка която освен да отчита нивата на сигналите постъпващи по тях трябва и да подава управляващи сигнали (MIO0 до MIO2) към аналоговите мултиплексори.

Напреженовите сигнали в диференциален вид са подава на куплунзи X1 до X16 – сигнали (AINI±6 до AINI±31). Чрез 4 мултиплексора тези канали се свързват към 2 инструментални усилвателя. От тях по 2 линии AIN4 и AIN5 мащабираното, усилено напрежение постъпва на входа на DAQ.

3.5 Проектиране на софтуерните компоненти

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) както стана ясно е програмна среда за разработване на виртуални инструменти с помощта на графичения език за програмиране G.

Програмния код на виртуалния инструмент представлява блокова диаграма. Програмната среда Labview разполага с библиотеки включващи над 500 готови математически и логически функции за събиране и обработка на данни, функции за управление и комуникация, функции за анализи, работа с файлове и др. [36].

Особен интерес представляват функциите позволяващи статистическа обработка на резултата от изследванията онлайн.

На фигура 3.22 са показани програмните графични кодове на функцията за намиране на средно квадратичното и средно аритметичното отклонени на резултата от измерването, при обработка на данните от многократни измервания.

Програмите които се пишат на Labview винаги съдържат два прозореца (панели). Предният панел представлява графичен интерфейс за връзка с разработвана инструментална система. Контроли и Индикатори оформят изгледа на предния панел и позволяват на оператора да въвежда и получава и предава данни от и към работещия виртуален инструмент.



Фиг.3.22. Функция статистическа обработка на данните. Отляво е показан външния изглед, от дясната страна е блок диаграмата на функцията

Виртуалният инструмент показан на фиг.3.24 освен инструмент е и драйвер за връзка с Labjack UE9. Той е създаден на базата на компоненти от библиотеките на Labview и преработен за нашите цели отворен код даден от производителя на Labjack. Той съдържа следните контроли и индикатори: • Графичен дисплей на който постъпващите данни се визуализират, той има буферна графична памет Graph History, която може да запомни определено количество данни. С клик върху дисплея можем директно да запишем данните от паметта като серия данни директно в Exel и той автоматично ако е зареден с необходимите скриптове да обработи данните и да генерира графика. Labview позволява на екрана да постъпват данните директно като сигнали или преди това да бъдат обработени с формули и да бъдат изобразени в съответния мащаб директно като физични величини. Възможно е да направим и няколко екрана за различните величини. Наблюдавайки тенденциите на промяна на измерваните величини можем визуално да определим кога точно настъпва стационарния режим.

	Data File Prefix	Current Data File							Max File Size (Bytes)
	data	<u> ս</u> None				Change Working Directory			1048576
	OWrite To Fi	ile	Ch	Voltage	Scaling Equation		Scaled	Graph?	
	START/STOP	0 Filter	64	0,434835	y=a	0,	,434835		
			71	1,036264	y=b	1,	,036264		
	# Channels	2	65	0,437935	y=c	0,	0,437935 0,946979 0,482577 0,000000		
		3	72	0,946979	y=d	0,			
		4	66	0,482577	y=e	0,			
		5	73	0,000000	y=f	0,			
	Resolution	6	6	0,000000	y=g	0,	,000000		
	€] <mark>0</mark>	7	7	0,000000	y=h	0,	,000000		
	SettlingFactor	8	8	0,000000	y=i	0,	,000000		
	∂ 0	9	9	0,000000	у=ј	0,	,000000		
	Ll_rgUNI2P ▽	10	10	0,000000	y=k	0,	,000000		
	Device Type	11	11	0,000000	y=I	0,	,000000		
	LJ_dtUE9	12	12	0,000000	y=m	0,	,000000		
	Address	13	13	0,000000	y=n	0,	,000000		
Error Message	1	14	14	0,000000	у=о	0,	,000000		
No Error	Exit	15	15	0,000000	y=p	0,	,000000		Plot 0
,	1.1-								Plot 2
									Plot 3
	1,0-								Plot 4
	0,9-								Plot 5 🖊
	월 0,8-								Plot 6 🛛 🖊
	blitt.								Plot 7 🗾
	U 0,7-								Plot 8 📈
	0,6-								Plot 9 🖊
	0,5-								Plot 10
									Plot 11
0,0 2,5 5,0 7,5 10,0 12,5 15,0 17,5 20,0 22,5 25,0 27,5 30,0 32,5 35,0 37,5 40,0 42,5 45,0 47,5								0 47,5 50,	Plot 12
				Tim	ne				Plot 13
	Graph History			_				Plot 14	
to the 1st through 8th row.									FIOLIS /

Фиг.3.24. Преден панел на многоканалния записващ Data Loger

• Error Message - Индикатор показващ дали устройството е включено към персоналния компютъра които играе роля на сървър за Scada системата.

• Комуникацията с Labjack UE9 става чрез системния драйвер даден от производителя, без да има нужда от включване на виртуалния инструмент. Модулът разполага със всички възможности за съвременна комуникация. Той може да работи и като сървър през вътрешната Lan мрежа за други подобни устройства или след конфигуриране и настройка да бъде следен дистанционно през интернет.

- Device Type Индикатор показващ типа на устройството, засича се автоматично
- Voltage Многоканален индикатор за запис на сигналите от измервателните канали.

• Scaling Equation - Чрез този инструмент, който е част от отворения код на Labjack постъпващите сигнали могат да се обработват канал по канал с формули.

U_rgUNI2P
- контрола с която може да се настрои в какъв режим ще работи Labjack UE9.

Този модел работи с униполярни входове от 0 до 5V. Има модели изискващи двуполярни сигнали.

• Interval (ms) - контрола и индикатор от който се настройва времето през което трябва да стане отчитането на данните. За отчитане на температура време интервала обикновено е от 2000 до 5000 ms. За да можем да проведем многократни измервания на температура е нужно да направим

извадка от поне 100 опита задаваме 20ms., за да можем да правим едновременно измервания и статистическа обработка в реално време.

• Write To File - когато е избран записва данните във фаел doc формат за по нататъшна автоматична обработка в Exel по начина споменат по горе или за ръчна обработка с помощта на оператор.

• Filter - Виртуален инструмент с помощта на който по метода на пълзящото осредняване можем да направим първоначална обработка на данните и да филтрираме белия шум от тях. Първоначално филтъра трябва да натрупа данни, чийто брой можем да настройваме.

• Ch - Labjack UE9 разполага с 16 физически канала които могат чрез виртуализация да достигнат до 199. Нашата разширителна платка работи с виртуализация на каналите.

Инструменти за измерване на температура и топлинна мощност

Постъпващите сигнали към контролния панел на виртуалния инструмент могат да се преработят в съответните физични величини чрез формули и след това да се визуализират и запишат. Най-трудните за измерване величини са температурата и топлинната мощност. На фиг. 3.26 е показана диаграма, която показва тази част от програмата която на базата на сигнала получен от термо датчик Pt100 изчислява температурата измерена от него.

На фиг. 3.28 е показан контролния екран на виртуалния инструмент реализиран по формулата показана на фиг.3.26. Този инструмент позволява провеждане на онлайн анализи на статистическото разпределение при измерване на температурата на избрания канал. Броят на повтарящите се измервателни проби може да бъде предварително зададен в съответния контролен диалогов прозорец – Interval selection.

Действието на инструмента е следното: Най-напред от графичния потенциометър Statistics задаваме броя на измерванията – големината на статистическата извадка – брой опити. На положения 10 на потенциометъра задаваме 100 опита. На положение 0 изключваме статистиката. Чрез Multiplier Можем да зададем над 100 опита. Чрез Select Cannel избираме номера на канала който искаме да изследваме (виж фиг.3.24).



Фиг.3.26. Част от кода на виртуалния инструмент за пресмятане на температура извлечена от сигнала получен от датчик РТ100

Компонентите **u2_LjU9** до **u4_MCP_HCF** показват неопределеността в резултата от измерването които внасят електронните компонентите на съответния измервателен канал като напреженов дрейф - усилватели, мултиплексори, АЦП, температурен дрейф. Те са неопределености тип В. Те са общи за всеки един измервателен канал.



Фиг.3.28. Преден панел на инструмента за измерване и статистическа обработка на данните от температурен канал

Индикаторът **u5** изразява неопределеността в резултата от измерването която внася всеки един преобразувател (Pt100, токов шунт и т.н.) и за всеки тип канали е с различна стойност. В случая това е неопределеността на Pt100 сензора. Компонентът **u1** е статистическата неопределеност и е неопределеност тип А. За да могат да се съберат като средно квадратична сума тези неопределености, първо трябва да станат в безразмерен вид. Това подробно е разгледано с конкретни стойности, приложено към конкретни експерименти в следващата глава.

Като краен резултат се дава крайната стойност – средноаритметичното на температурата за конкретните 200 опита – индикатор T_{in} , неопределеността в резултата от измерването – индикатор U, degrees в градуси, и хистограма на статистическото разпределението на резултата от измерването на температура.



Фиг.3.30. Преден панел на инструмента за пресмятане топлинна мощност и статистическа обработка на данните

На фиг.3.30 е показан графичния панел на инструмента за изчисляване на топлинна мощност. Този инструмент също показва хистограма на разпределение, крайната стойност на измерената и обработена статистически топлинна мощност average(Q),W и сумарната неопределеност U(Qt),W, както и индикаторите показващи компонентите на неопределеност на измервателния канал. За удобство е показана и температурната разлика Tin – Tout между измерените стойности със сензори Pt100 на входна температура на охлаждащия флуид през PV/T – Tin и изходна температура Tout на флуида.

ГЛАВА 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

В предходните глави на настоящия дисертационен труд беше изяснен въпроса по отношение на техническите характеристики на системите използващи хибридни фотоволтаични (PV/T) панели. Изградена е опитна тестова инсталация за изпитване техническите характеристики на топлинни T, фотоволтаични PV и хибридни PV/T панели и техните компоненти .Тестовете се проведат посредством виртуална лаборатория базирана на програмната среда на National Instruments LabVIEW.

4.1. Калибровка на измервателната система и изчисляване на КПД

Първоначално пристъпваме към калибриране на измервателните канали.

Сигналите от всички канали за измерване се изпращат към разширителната карта и DAQ борда за събиране на данни. За да се изчисли точно топлинната мощност е необходимо калибрирането на измервателните канали за температурите на входящия и изходящия флуид. Затова са извършени няколко многократни измервания при стайна температура 26.3°С при еднакви за двата сензора условия (сензорите бяха потопени в малък съд с вода). Отчетената разлика в температурата е 0,0027°С, което е в рамките на допустимите отклонения за определяне на разликата в температурата на флуида ΔT на входа и на изхода на топлообменника.

Калибровка на температурните канали:

На входа на всеки температурен канал се подава еталонно съпротивление 100 Ω , чрез потенциометър настройваме коефициента на усилване докато изходното напрежение при входен напреженов сигнал 0,1V стане 1,6V, така на изхода ще имаме 0°C коефициент на усилване К_{UPt100} = 16 .След тази настройка променяме съпротивлението на 148 Ω съответстващо на 123°C и пак намираме К_{UPt100} = 16,8 . Намираме средноаритметичното:

$$K_{UPt100} = \frac{K_{U_0^{\circ}} + K_{U123^{\circ}}}{2} = \frac{16 + 16,8}{2} = 16,4$$
(4.1)

Калибровка на каналите по ток и напрежение:

Чрез потенциометър настройваме коефициента на усилване по напрежение докато то на изхода стане 12,5V при входно напрежение 30V.

За коефициента на усилване се получава $K_u = \frac{30}{12,5} = 2,4.$

- Измерваме съпротивлението на каналите и свързващите кабели заедно с товар и без товар.

- Товарното съпротивление на всеки канал е настроено на R=3.85Ω.

По закона на Ом се получава:

$$I = \frac{30}{3.85} = 7,79A \tag{4.2}$$

Или това е номиналния ток на панела при слънчева радиация $1000 \text{W}/m^2$

- Допълнително измерваме съпротивлението на товара плюс съпротивлението на свързващите проводници панел товар на всеки канал:

$$R = R_{\rm T} + R_{\rm Линия} = 3,85 \ \Omega + 1\Omega = 4.85\Omega \tag{4.2}$$

С помощта на системата за снемане на данни и ръчно измерване (за проверка на адекватността на самата система) по отделно свързваме двата канала към всеки един от панелите и измерваме мощността (ток и напрежение). При пълна еднаквост на каналите за една и съща работна точка на работа на PV панела, измерените мощности от единия и другия канал трябва да са напълно еднакви. Повтаряме за PV/T панела същата процедура.

Резултатите от измерването посочват средна разлика между двата канала от 2W или при P_н 250W за панел, получаваме грешка 0,8%.

Снемаме мощностите за 2 канала:

$$\delta = \frac{\Delta P}{P_{\rm H}} 100\% = \frac{2}{250} 100 = 0.8\% \tag{4.3}$$

4.2. Експериментални резултати от изпитанията на РV/Т панел с нова конструкция

Инсталацията на която са проведени тестовете е изградена от два соларни панела, циркулационна помпа и измервателна апаратура. Единият панел е от фотоволтаичен тип PV, другия е хибриден фотоволтаично-топлинен панел PV/T, за производство на електрическа и топлинна енергия.

На фиг.4.1 и 4.13 са показани снимки на тестовите постановки от двата експеримента проведени със експерименталната хибридна инсталация. Показани са нейните компоненти.

Целта на провежданите изпитания са при различни режими на работа да се определят и сравнят електрическите мощности на двата панела. Да се отчете топлинната мощност на PV/T модула и на база на отчетените стойности за сумарната слънчева радиация от пиранометъра да се определи неговият топлинен КПД, да се определят електрическата ефективност на двата панела и да се сравни как при охлаждане се променя електрическият КПД на PV/T панела.

Първоначалните изпитания са проведени с два идентични поликристални фотоволтаични модула 250 Wp, произведени от компанията Crane [116], които са монтирани заедно на алуминиева рамка като соларна част на инсталацията. Единият панел е преработен като PV/T. Двата панела са разположени на юг и са насочени към слънцето под ъгъл на наклон 40°. При провеждането на втория експеримент е използван фабричен PV/T.



Фиг. 4.1. Тестова постановка 1: Изпитания на тестовия PV/T панел



Фиг. 4.13. Тестова постановка 2: Изпитания на PV/T панел производство на CRAN

Спецификацията на компонентите на експерименталната хибридна инсталация е

следната:

- 1. РV панел;
- 2. PV/T панел;
- 3. Пиранометър СМР6;
- 4. Товар;
- 5. Метална стойка;
- 6. Температурен датчик отчитащ температурата на клетките на PV панела PT100 клас А;
- 7. Температурен датчик отчитащ температурата на клетките PV/T панела PT100 клас А;
- 8. Захранващи кабелни терминали;
- 9. Разширителна карта и DAQ борд;
- 10. Outlet сензор за температура на флуида РТ100 клас А
- 11. Inlet сензор РТ100 клас А;
- 12. Топлоизолационен слой на PV/Т панел

Температурните сензори тип РТ100 клас A се използват за измерване на температурата на входящия и изходящия флуид в тръбите. След това сигналът се изпраща на записващо устройство и се обработва с помощта на лаптоп или персонален компютър.

Пиранометърът от тип Kipp & Zonen CMP6 се монтира в равнината на панелите. Той и се използва за измерване на глобалната слънчева радиация.

Електрическите параматри на PV панела и PV/Т панела са едни и същи. Те са от следния тип [116]:

Електрически параметри на фотоволтаичния PV и PV/Т панели CPVT60P250:

- Брой клетки 60
- Номинална мощност 250 Wp ±1%
- Номинално напрежение, $V_{mp} = 30,5 \text{ V}$
- Напрежение на отворена верига, Voc = 37.8 V
- Номинален ток, Imp = 8,2 A
- Ток на късо съединение, Isc = 8,75 А
- Ефективност 15,3%

- Работна температурен диапазон, от 40 °C до +85 °C
- Максимално системно напрежение, 1000 V
- Максимален ток през предпазните диоди, 20 А

Топлинни параметри на фотоволтаичния PV/Т панел CPVT60P250:

- Ефективна площ 1,15 m²
- Топлинна ефективност, на база ефективна площ $\eta_0 = 55\%$
- Номинална топлинна мощност, на база ефективна площ 890 W
- Дебит флуид 1,5 2,5 l/min
- Загуби на потока, от 540 до 880 mm H₂O
- Течност обем 1,21
- Ефективен топлинен коефициент 13,2 kJ/ K

4.2.2 Определяне на неопределеността от измерванията.

След калибрирането на измервателните канали на системата преминаваме към определяне на неопределеността на измерванията.

Неопределеност на измерванията

Бяха приети два типа неопределеност - Тип A и Тип B. За неопределеността тип A, както е посочено в ръководството на JCGM [65], се използват познатите статистически методи. Стандартната неопределеност на измерването u_A е средно аритметично на стандартното отклонение и се изразява като:

$$u_A = \sqrt{\frac{1}{n.(n-1)} \sum_{i=1}^{n} (x_i - x_{mean})^2}$$
(4.5)

където *n* е броя на итерациите, *x_i* е измерената стойност, *x_{mean}* средно аритметичното при n на брой измервания. Този тип неопределеност се използва при многократни измервания.

При еднократни измервания се използва неопределеност от тип Б. Данните относно стойностите на грешката (accuracy) се вземат от спецификациите на производителя, от фишове за калибриране и от неопределеностите, определени за референтни данни, взети от ръководствата, предишни данни от измервания или други сертификати [92],[50]. Тази неопределеност се изразява, като се приема, че грешката има правоъгълно разпределение като:

$$u_{B=\frac{accyracy}{\sqrt{3}}} \tag{4.6}$$

Всички неопределености Тип В в следващите уравнения по-долу се изчисляват в безразмерни единици като *u_B* / *текуща стойност*. Оценката на неопределеността в нашия случай ще се определи :

- Неопределеност при измерването на постоянно напрежение;

Генерираното от панелното DC напрежение се измерва със събирача на данни – LabJackUE9, операционния усилвател MCP609 и аналоговия мултиплексор HCF4051B. От техническата спецификация дадена от производителя се вижда, че абсолютната грешка на един канал е \pm 0,025% FS (\pm 0,025% от обхвата по напрежение на канала) при температура 25°C. Тази грешка включва всички грешки от преобразуването на АЦП, превключването на каналите и преобразуването [124]. Използваме диапазона FS = 5V, така че неопределеността на един канал на модула, приемайки, че точността има правоъгълно разпределение е:

$$u_{\rm LJ} = \frac{accuracy.FS}{U_{cLJ}100\sqrt{3}} = \frac{0.025.5}{U_{cLJ}100\sqrt{3}} = \frac{721.7\ \mu V}{U_{cLJ}} \tag{4.7}$$

където U_{cLJ} е текущата измерена стойност на напрежението от LabJack. Операционният усилвател MCP609 е произведен от Microchip Technology и има максимално отместване по напрежение 250μ V (DC offset 250μ V).

$$u_{MCP} = \frac{V_{offset}}{U_{cLJ}\sqrt{3}} = \frac{0,00025}{U_{cLJ}\sqrt{3}} = \frac{144,34\,\mu V}{U_{cLJ}}$$
(4.8)

HCF4051B е аналогов мултиплексор, който се състои от цифрово управлявани аналогови превключватели с нисък импеданс при включено състояние и много нисък ток на утечка при изключено състояние. Той има отместване по постоянно напрежение 20µV. Така че неопределеността при правоъгълно разпределение е:

$$u_{HCF} = \frac{accuracy}{U_{cLJ}\sqrt{3}} = \frac{0,00002}{U_{cLJ}\ 100.\sqrt{3}} = \frac{11,55\ \mu V}{U_{cLJ}} \tag{4.9}$$

Температурата също оказва влияние върху работата на логера (LabJack), то също трябва да се прецени. Максималната грешка която прави логера. е

10 ppm/°C. Калибрирането на системата се извършва при 26,3°C, а самия логер работи при работна температура под 35°C и неопределеността, дължаща се на влиянието на температурата, се изчислява по следния начин, като се приема, че температурната грешка има правоъгълно разпределение

$$u_{LJt} = (35 - 26,3) \frac{0.00001}{U_{cLJ}\sqrt{3}} = \frac{5,023 \ \mu V}{U_{cLJ}}$$
(4.10)

Общата грешка при измерване на постоянно напрежение се взема като средно квадратична сума от четирите съставки.

$$u_{DCV} = \sqrt{u_{LJ}^2 + u_{MCP}^2 + u_{HCF}^2 + u_{LJt}^2}$$
(4.11)

Точност на шунтовия резистор: Най-голям източник на грешка е неточността на шунтовия резистор която се дава като точност в проценти. Точността на шунта е 0.1%. Тогава неопределеността се изчислява, като се използва следващото уравнение:

$$u_R = \frac{accuracy}{\sqrt{3}} = \frac{0.1}{100.\sqrt{3}} = 5,7755\ 10^{-4} \tag{4.13}$$

Неопределеност при измерване на постоянно напрежение: u_{DCV} вече беше изчислено по-горе Общата неопределеност при измерване на постоянен ток е квадрата от сумите на две съставки:

$$u_{DCA} = \sqrt{u_{DCV}^2 + u_R^2}$$
(4.14)

-Неопределеност от температурната грешка на Pt100;

Неопределеността на Pt100 RTD sensors Class A като стойност дадена от производителя е $\pm (0.15 + 0.002^{\circ} \text{C}.T_c)$ [97],[120]. Тази неопределеност на сензора u_{Ts} се пресмята по следната формула:

$$u_{Ts} = \frac{accuracy}{T_c\sqrt{3}} = \frac{0.15 + 0.02.Tc}{T_c\sqrt{3}} = \frac{0.0866}{T_c} + 0.00115$$
(4.15)

където T_c е текущата температура измерена от data logger.

Неопределеността на RTD сензора се изчислява, като се използва точността на източника на ток. След това трябва да се добави и неопределеността при измерване на постоянен ток. Изчислението на неопределеността на преобразувателя на RTD сензора - u_{CS} , се основава на точността на токовия източник $\pm 0,4\%$, взета от техническата документация:

$$u_{CS} = \frac{accuracy}{100\sqrt{3}} = \frac{0.4}{100\sqrt{3}} = 0,00231,$$
(4.16)

- *Неопределеността при измерване на DC напрежение* се пресмята отново по формула (4.11). *Комбинираната неопределеност при измерване на температура* u_T се изчислява:

$$u_T = \sqrt{u_{CS}^2 + u_{\rm DCV}^2 + u_{\rm Ts}^2}$$
(4.17)

- Неопределеност при измерване на диференциални температурни разлики;

Точността на съответната двойка Pt100 RTD сензори клас A, при калибрирани измервателни канали може да се приеме като 0,06°C [97]. Неопределеността на измерването на температурните разлики се определя по следната формула:

$$u_{\Delta T} = \frac{accuracy}{\Delta T_c \sqrt{3}} = \frac{0.06}{\Delta T_c \sqrt{3}} = \frac{0.03464}{\Delta T_c}$$
(4.18)

където ΔT_c е текущата стойност на диференциалната температурна разлика измерена от data logger.

- Неопределеност при измерване на електрическа мощност и_P; Тя се изчислява по следната формула

$$u_P = \sqrt{u_{DCV}^2 + u_{DCA}^2}$$
(4.19)

- Неопределеност при измерване на топлинна мощност;

1

Скоростта на топлопренасяне Q_t (W) (топлинна мощност) се изчислява:

$$Q_t = \frac{\Delta T.C_t.Q_V.\rho_V}{t} \tag{4.20}$$

където: C_t е специфичният топлинен капацитет на водата - $C_t \approx 4186 J/kg$ °C за температури от 20°С до 60 °С и се приема за константа; Q_V е обемен дебит (l/s); ρ_V е обемната плътност на водата (kg/l); t е време интервал (s).

Съществуват няколко източника на грешки, причинени от измерване на: обемен дебит; температурна разлика и време. Други съществуващи източници на грешки, като промяната на ρ_V и C_t при промяна на температурата. Тези грешки могат могат да се пренебрегнат поради незначителната си стойност.

Неопределеността при измерване на обемния дебит u_{Q_V} се изчислява, като точността с която са проведени измерванията е 1%, което е валидно за използвания обемен метод:

$$u_{Q_V} = \frac{accuracy}{100\sqrt{3}} = \frac{1}{100\sqrt{3}} = 0,0058 \tag{4.21}$$

Неопределеността при измерване на времето u_t , се взема от техническото ръководство на LabJack и зависи от нестабилността на неговия кварцов осцилатор. Тя е 0,25 ppm:

$$u_t = \frac{accuracy}{1000000\sqrt{3}} = \frac{0.25}{10^6\sqrt{3}} = 1.44\ 10^{-7} \tag{4.22}$$

Неопределеността на температурната диференциална разлика $u_{\Delta T}$ се изчислява по формула (4.18). Така че комбинираната неопределеност на измерването на топлинната мощност u_{Q_t} се определя:

$$u_{Q_t} = \sqrt{u_{Q_V}^2 + u_{\Delta T}^2 + u_t^2} \tag{4.23}$$

- Неопределеност при измерване на енергийната ефективност;

Електрическа ефективност PV и PV/T панели като и топлинната ефективност на PV/T панела се смятат по формула (4.4).

Използваният от нас пиранометър СМР6 според техническата си спецификация има грешка дадена като неопределеност 5%, при промяна на температурата от -40 до +80°С. Други съществуващи източници на грешка, като u_{DCV} са пренебрегнати поради своята много ниска стойност.

Измерената глобална слънчева радиация (спрямо равнината на която са поставени панелите) в относителни единици има стойност:

$$u_G = 0.05$$
 (4.24)

Неопределеността при измерване на електрическа мощност се намира от даденото по горе уравнение (4.19), така че неопределеността при определяна на електрическата ефективност е:

$$u_{\eta_P} = \sqrt{u_G^2 + u_P^2}$$
(4.25)

Неопределеността при определянето на топлинната ефективност е:

$$u_{\eta_Q} = \sqrt{u_G^2 + u_{Q_t}^2}$$
(4.26)

В глава 2 беше показано как се изчислява относителна неопределеност на мощност, която е тип А. Неопределеностите u_{η_Q} и u_{η_P} са тип В. Сумирането на две или повече неопределености, без значение дали са тип А, В или смесено става с квадратична сума. Можем също така да изчислим и разширена неопределеност на резултата от измерването. Това става по следната формула:

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \tag{4.27}$$

Където u_A е неопределеност тип A, а u_B е тип B или квадратична сума на няколко неопределености тип B

При ниво на достоверност 0,95 разширената неопределеност е равна на

$$U = k. u_c = 2. u_c = 2. \sqrt{u_A^2 + u_B^2}$$
 k=2 (4.28)

4.2.3 Експериментални резултати получени с тестовия PV/T панел

Няколко различни виртуални инструменти са разработени с помощта на програмната среда на LabVIEW, като част от графичния потребителски интерфейс. Резултатите от измерването се показват онлайн в графични прозорци и след това се съхраняват като трендове. След това съхранените данни се експортират в работен лист на Excel и представени по надолу. Произведената електрическа мощност за всеки от сравнителните панели PV и PV/T е показана в Фиг.4.6. Коефициентите на полезно действие за същия опит също са представени в Фиг.4.7.

Величините, показани на фиг.4.11 съответно са *u*(*Tin*1), °C - неопределеност при измерване температурата на входящия и съответно изходящия флуид *u*(*Tout*1), °C



Фиг.4.6. Сравнение на произведените електрически мощности от PV и PV/T панели



Фиг.4.10. Онлайн промяна на неопределеността на температурните канали, измерващи температурите на PV клетките на фотоволтаичните панели

Фиг.4.7. Сравнение на електрическата ефективност на РV и РV/Т панелите

nel PV

ηel PV/T

1000



Фиг.4.11. Температура на входящата течност, температура на изходящия флуид и неопределеност на температурната разлика



Фиг.4.12. Неопределеност при изчисляването на коефициентите на полезно действие.

Неопределеността на измерването може да се наблюдава както стана ясно от глава 3 онлайн по време на теста и също така се запомни като тренд.

Това позволява лесно да се определят времевия интервали, в които трябва да се извърши осредняването на данните.

Например фиг.4.10 показва, че когато t ≥ 600 s, температурните неопределености на PV и PV/T клетките са под 0,105°C, а процедурата за изчисляване на средните стойности ще отчита ниска стойност на грешката.

По време на тестовата процедура, скоростта на потока на водата от 2,25 l/s е поддържана постоянна в тръбите на топлообменника с цел охлаждане на PV/T панела. Температурата на входящата вода също се контролира от термостатичен съд. Те позволяват симулиране на различни условия на охлаждане във всички възможни диапазони от 20°C до 60°C за соларни приложения за битова гореща вода (БГВ).

4.3.2 Експериментални резултати получени с PV/T панела на CRANE

Експериментът представлява серия от тестове при стъпално нарастване на температурата на циркулиращия флуид през PV/T панела. Тестовете са проведени в продължение на 3 дни - 16, 18 и 22 август 2016г.

Tecm 1

Тест 1 е проведен на 22.08.16г. в 14:43. Данните при тест 1 се отчитат при температура на входящия флуид 22°С.



Фиг.4.15. Произведена електрическа мощност от PV и PV/Т панели при Тест 1



Фиг.4.16. Произведена електрическа и топлинна мощност от PV/T панел при Тест 1

Всички стойности, се осредняват в интервала на измерване, който се избира внимателно за всеки един тест, за да се преодолее преходния режим (началната част на тестовете - първите 19 минути Тест1 на Фиг.4.15.) и да се изчисли стационарно състояние стойности. Преходният режим се дължи на големия топлинен капацитет на панела, който е бил нагрят преди началото на циркулацията на флуида през него.







Tecm 2

Тест 2 е проведен на 16.08.16г. в 12:45 часа при температура на входящия флуид 26°С. Обемният разход на флуид през PV/T панела е по малък-1,55 l/s, сравнено с Тест1 където е 2,1 l/s. Разходът през хибридни панел граничи с долната допустима граница дадена от производителя -1,5 l/s. При промяна на обемения разход на работния флуид, при една и съща температура и ниво на слънчевата радиация се сравнява как се променят параметрите на PV/T панела. Вижда се че тази промяна на обемния разход води до намалено производство на топлинна мощност в сравнение с Тест 1 – фиг 4.17. Намалява се и топлинния КПД – Фиг.4.20.

Tecm 3

Тест 3 е проведен на 22.08.16 г. в 12:13 часа при температура на входящия флуид 31°С

Електрическата мощност произведена от PV панела е по-малка с около 2W от тази на PV/T панела (поради факта че работния флуид го охлажда) Произведената топлинната мощност е помалка сравнено с Тест 1 при един и същи обемен разход на флуид Фиг.4.22. Топлинната ефективност намалява от около 60% на 35% Фиг. 4.23.







Tecm 9

Тест 9 е проведен на 22.08.17г в 14:19 часа при температура на входящия флуид 60°С.

От Фиг. 4.39 се вижда рязко прегряване на PV/Т панела, произведената от него електрическа мощност е видимо по-малка от тази на PV панела. Спада и електрическия КПД и на двата панела. Хибридния панел спира да произвежда топлинна мощност.

Анализ на опитните резултати

При стъпална промяна на температурата от 25 до 60°С са извършени 9 теста при различни средни температури на течността (средната стойност на температурата на входящия и изходящия флуид). Резултатите от изчисленията са представени в графичен вид на фиг.4.42. и 4.43.









На Фиг.4.42 ясно се вижда тенденцията на намаляване на електрическите мощности произведени от PV и PV/T панелите в зависимост от повишаването на температурата.

При около 44°С произведената топлинна мощност става по-малка от електрическата.

Съотношението на произведената топлинна и електрическа мощност от PV/T панел, обобщено за всичките девет теста, е представено на Фиг.4.45

На базата на експерименталните данни е построена апроксимиращата зависимост отчитаща поведението на панелите при стъпално повишение на температурата. Полиномите на уравненията са представени съответно на Фигури 4.45 и 4.46.



Фиг.4.45. Съотношение на получена топлинна и електрическа мощност чрез РV/Т панел



Фиг.4.46. Съотношение на произведената електрическа мощност чрез PV/T панел и PV панел спрямо средната температура на флуида

Анализ и Изводи от проведените експерименти:

Измерена е електрическата мощност на два фотоволтаични панела PV и PV/T тип. Въз основа на извършената работа могат да се направят следните изводи:

1. PV/T панелът, когато е по-интензивно охлаждан с течност, има по-висока ефективност от другия панел; това се случва в средния температурен обхват до 43°C (фиг.4.46 - по-висок диапазон на ефективност);

2. PV панелът има по-висока ефективност от PV/Т панела при средни температури на флуида, по-високи от 43°С (фиг.4.46 - по-нисък диапазон на ефективност); това се дължи на по-добро охлаждане на PV панела от околния въздух в този диапазон;

3. Електрическата мощност, произведена от PV/T панела, е по-висока с 1,5% от електрическата мощност, произведена от PV панел, при средна температура на флуида до 35°C;

4. Производството на топлинна енергия е относително високо (0,29 - 3,38 пъти повече от електрическата енергия) в целия работен температурен диапазон (от 20 до 60°С); колкото по-ниска е работната температура на панела, толкова по-висок става произведения топлинен поток, поради по-високото топлопредаване и по-ниските топлинни загуби;

5. Отчита се добра стабилност на произведената електрическа и топлинна енергия в относително голям температурен интервал (фиг.4.46);

6. В сравнение с по-ранните експерименти с панели от тънък филм от силиций, описани в [94], имаме два пъти по-нисък ефект на повишаване на ефективността на поликристални PV клетки, произведени от CRANE, използвайки комбинирана PV/Т технология.

ГЛАВА 5. ИЗВОДИ

Анализирайки резултатите от работата, извършена в глава 3 могат да се направят следните изводи:

1. Чрез извършване на сравнителен анализ е избрана софтуерна среда за разработка на виртуални инструменти;

- 2. Избран е софтуер за мобилен достъп до данни от виртуалните инструменти;
- 3. Избрани са хардуерните компоненти на измервателната система, както следва:
- температурни сензори;
- уреди за измерване на съставките на слънчевата радиация;
- модул за събиране на данни (DAQ board);
- сензори за обемен разход.

4. Проектирани и оразмерени са схемите на първичните преобразуватели на измерваните величини.

5. Разработена е разширителна платка, позволяваща използването на: до 32 температурни измервателни канала за платинени термо-съпротивления; до 16 нисковолтови напреженови входа; до 8 цифрови броячни входа (за разходомерите и електромерите с импулсен изход); до 128 канала за измерване на температура и влажност с помощта на цифрови сензори DS1820 (1-Wire interface); до 10 напреженови входа (0-5V с усилване 1,2,4,8 и \pm 5V); до 12 релейни и 8 TTL-изхода (за управление на вентилите и помпите).

6. Разработени са виртуални инструменти за измерване на експлоатационните характеристики на хибридни системи за производство и съхранение на топлинна и електрическа енергия.

7. Разработени са два "он-лайн" работещи виртуални инструмента:

- за определяне на статистическите характеристики на измерваните величини;
- за измерване на комплексните неопределености.
- В глава 4 "Експериментални изследвания" са проведени два експеримента.

По време на експеримент 1 разработената, като компонент на хибридната топлинна инсталация нова конструкция на PV/T панел е частично тествана с помощта на реализираните виртуални инструменти. Целта на проведения експеримент е да докаже работоспособността на създадените виртуални измервателни инструменти, позволяващи не само да се измерват и съхраняват контролираните величини, но и да се извършва «он-лайн» анализ на статистическите им характеристики и на комплексните неопределености при измерването на ефективността на панела. В резултат от измерванията бяха установени някои зависимости:

1. Ефективността и електрическата мощност на всяка фотоволтаична клетка намалява с нарастването на температурата.

2. Първоначално, когато PV/T не е добре охладен (температура на PV клетката 75,6°C), неговата електрическа ефективност и електрическа мощност са по-ниски от тези на PV панела, който се охлажда до 60,3°C от околния въздух.

3. След около 700 секунди температурите на панелите се установяват в равновесно състояние. При това равновесно състояние средната температура на флуида на входа на охлаждащата течност отчита стойност от 26,9°С и температурната разлика $\Delta T = 3,55$ °C. Препоръката в този случай е, че охлаждането не трябва да се спира, докато PV/T панелът произвежда електричество. Така неговата електрическа ефективност по-голяма $\eta_{el PV/T} = 18,6\%$, в сравнение с ефективността на PV панела $\eta_{el PV} = 18,3\%$.

В заключение може да се направи извода, че в резултат на успешното решаване на задачите, поставени в глава 1:

4. Създадена е типова структура на контролно измервателната система и избор на основните съставящи хардуерни и софтуерни компоненти;

5. Съставен е на алгоритми за работата на системата с възможности за предварителна обработка на измервателната информация, архивиране и дистанционен контрол;

6. Създаден е прототип на контролно измервателната система, тестване и тариране на измервателните канали и с възможности за дистанционен достъп;

7. Провеждане на практически дългосрочни измервания с обработка на опитните данни;

е постигната целта на дисертацията: да се създаде умна контролно измервателна система, приложима при изследването и експлоатацията на автономни хибридни системи за електро и топлоснабдаване на битови стопанства.

НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ И ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

А) Научно-приложни приноси

1. Разработена e методика за "он-лайн" изчисляване на комплексните неопределености измерваните характеристики (ефективност, на скорост на топлопредаване и др.);

Б) Приложни приноси

2. Разработена е хардуерна платформа, разширяваща възможностите на измервателния модул LabJack UE9 и осигуряваща измерването на до 32 температурни измервателни канала за платинени термо-съпротивления; до 16 нисковолтови напреженови входа; до 8 цифрови броячни входа (за разходомерите и електромерите с импулсен изход); до 128 канала за измерване на температура и влажност с помощта на цифрови сензори DS1820 (1-Wire interface); до 10 напреженови входа (0-5V с усилване 1,2,4,8 и ±5V); до 12 релейни и 8 TTL-изхода (за управление на вентилите и помпите);

3. Разработено е SCADA – приложение, осигуряващо виртуални инструменти за измерване на работните и експлоатационните характеристики на компонентите на хибридни системи за добив и съхранение на електрическа и толинна енергия. Приложението притежава графичен потребителски интерфейс с възможности за дистанционен достъп и контрол през Интернет;

4. Частично тествана е нова, ценово ефективна, конструкция на PV/Т панел;

5. Проведени са сравнителни експериментални изследвания на стандартни PV – панел и PV/T – панел, като е анализирана ефективността им на работа при електропроизводство. Определени са параметрите на топлинната част на PV/T – панела, при работа в различни температурни режими.

СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Росен Спиридонов, Ваня Гърбева, Николай Паунков. Мониторинг на мощността на фотоволтаичен панел, Journal of the Technical University - Sofiaq, Plovdiv branch, Bulgaria - Fundamental Sciences and Applications" Vol. 19, book 1, page (209-213), International Conference on Engineering, Technologies and Systems TECHSYS 2013

2. Ваня Гърбева, Венцеслав Пеев, Николай Паунков, Виртуален инструмент за измерване и обработка на данни от преки многократни измервания, Journal of the Technical University – Sofiaq, Plovdiv branch, Bulgaria - Fundamental Sciences and Applications" Proceedings II, page (125-130), TECHSYS_2017

3. *Nikolay Paunkov*, Factors influecing on the energy needs of the domestic economies. Strategies for saving of energy, Journal of the Technical University - Sofiaq, Plovdiv branch, Bulgaria - Fundamental Sciences and Applications" Vol. 21, Book1, page (175-180), 2015 International Conference on Engineering, Technologies and Systems TECHSYS 2015

4. Paunkov N., Popov R., Nedelcheva S., Georgiev A. On the efficiency of cooled solar panels, Physical Sciences and Technology, Vol. 4 (No. 2), page (80-87) 2017: 80-87 IRSTI 47.29.31

SUMMARY

Of Doctoral Thesis:

"Virtual laboratory for studying solar energy converting systems"

Author: Master of Engineering Nikolay Dimitrov Paunkov

The aim of the present thesis is to create and propose a smart system for measurement and control, applicable in studying and exploitation of autonomous hybrid systems for electricity and heat supply of household farms.

The requirements toward the measuring system have been defined. Appropriate hardware and respective software have been chosen.

All physical or electrical quantities to be monitored have been determined before configuring the system, together with the range and the level of precision of the measurements, their duration and frequency.

A methodology for conducting the experimental studies has been considered.

Prolonged measurements have been carried out with the designed and realized system. The obtained data and characteristics have been summarized, statistically processed and analyzed. Conclusions have been drawn.

The most significant contributions in the dissertation are:

A) Scientific applied contributions

1. A methodology for "on-line" calculation of the complex uncertainties of solar energy converting systems measurable characteristics (efficiency, heat exchange speed etc.) has been developed.

B) Applied contributions

2. A hardware platform has been developed to expand the capabilities of the measuring module LabJack UE9, enabling measurement of: up to 32 temperature measuring channels for platinum thermo-resistances; up to 16 low-voltage inputs; up to 8 digital counting inputs (for flowmeters and electrometers with an impulse output signal); up to 128 channels for measuring temperature and humidity by means of digital sensors DS1820 (1-Wire interface); up to 10 voltage inputs (0-5V with amplification 1,2,4,8 and \pm 5V); and up to 12 relay and 8 TTL-outputs (for control of valves and pumps);

3. A SCADA application has been developed, providing with virtual tools for measuring the operational and exploitation characteristics of the components in hybrid systems for electricity and heat generation and storage. The application has its own graphics user interface with possibilities for remote access and control through the Internet;

4. A new, cost-effective PV/T panel design has been partially tested;

5. Comparative experimental studies of standard PV and PV/T panels have been carried out together with analysis of their performance efficiency during electricity generation. The parameters of the thermal part of the PV/T panel have been determined for different temperature modes of operation.