



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ

Факултет по Електронна техника и технологии

Катедра Електронна техника

маг. инж. Басри Кул

**ИЗСЛЕДВАНЕ И РАЗВИТИЕ НА ЕЛЕКТРОННИ МЕТОДИ И
СРЕДСТВА ЗА ИНТЕЛИГЕНТНО ИЗМЕРВАНЕ НА
ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЯ С РАЗШИРЕНИ МРЕЖОВИ
ВЪЗМОЖНОСТИ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

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

Област: 5. Технически науки

Професионално направление: 5.2 Електротехника, електроника и автоматика

Научна специалност: Електронизация

Научни ръководители:

проф. д-р Рачо Иванов

доц. д-р Петър Якимов

СОФИЯ, 2019 г.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от Катедрения съвет на катедра „Електронна техника“ към Факултет по Електронна техника и технологии на ТУ-София на редовно заседание, проведено на 18.02.2019 г.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 27.05.2019 г. от 13.00 часа в Конферентната зала на БИЦ на Технически университет – София на открито заседание на научното жури, определено със заповеди № ОЖ-5.2-25 от 06.03.2019 г. и № ОЖ-5.2-44 от 07.05.2019 г. на Ректора на ТУ-София в състав:

1. чл.-кор. проф. д-н Георги Михов – председател
2. проф. д-р Рачо Иванов – научен секретар
3. проф. д-н Тодор Стоилов
4. проф. д-р Никола Колев, дн
5. проф. д-р Тодор Нешков

Рецензенти:

1. чл.-кор. проф. д-н Георги Михов
2. проф. д-н Тодор Стоилов

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на Факултет по Електронна техника и технологии на ТУ-София, блок №1, кабинет № 1355.

Дисертантът е редовен докторант към катедра „Електронна техника“ на факултет по Електронна техника и технологии. Изследванията по дисертационната разработка са направени от автора, като някои от тях са подкрепени от научноизследователски проекти.

Автор: маг. инж. Басри Кул

Заглавие: Изследване и развитие на електронни методи и средства за интелигентно измерване на електроенергия с разширени мрежови възможности

Тираж: 30 броя

Отпечатано в ИПК на Технически университет – София

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

Електрическата енергия е от голяма важност за съвременното общество и има пряко въздействие върху социалното и икономическо развитие на държавите. Постоянното увеличаване на цените на електроенергията обуславя необходимостта от точно измерване и ефективно управление на консуматорите с цел реализиране на икономии. Интелигентното измерване без съмнение е тема, която привлича вниманието на много изследователи в последно време. На интелигентните измервателни уреди обикновено се възлагат задачи не само за измерване, но и за обмен на данни и управление на товарите. Всички тези предпоставки определят актуалността на проблема.

Цел на дисертационния труд, основни задачи и методи за изследване

Целта на дисертацията е изследване и развитие на електронни методи и средства за устойчиво измерване на електроенергия с разширени мрежови възможности. За постигането на тази цел са определени следните задачи:

1. Проектиране и експериментално изследване на апаратни методи и инструменти за интелигентно измерване.
2. Изследване на програмни методи за подобряване на възможностите за измерване.
3. Изследване на възможностите за прилагане на облачните технологии в интелигентното измерване на електроенергия.

Научна новост

Разработен е и е изследван алгоритъм за автоматично идентифициране на състоянието „готовност“ на електрически консуматор (офис или битово устройство). В следствие на това се взима решение за изключване на неработещите устройства, което води до намаляване на разходите за енергия. Разработено е и е изследвано устройство за интелигентно измерване на електрическа енергия и управление на консуматорите с възможност и за отдалечен достъп.

Практическа приложимост

Използването на разработеното устройство за интелигентно измерване на консумираната електроенергия и управление на потреблението има положителен ефект, свързан с намаляване на разходите за енергия. Устройството намира приложение в големи административни сгради и търговски обекти с голям брой компютърни, комуникационни и битови устройства. Чрез идентификация на режим „готовност“ и автоматично изключване на неработещи устройства се реализира значителна икономия на енергия. Разработеното устройство може да се използва и при управление на

климатизацията в сгради с цел намаляване потреблението на електроенергия чрез изключване на съответни мощности.

Апробация

Разработеното в дисертацията устройство IoT-PDU (Internet of Things - Power Distribution Unit) е преминало успешно изпитанията за електромагнитна съвместимост съгласно EN61000-4-2, EN61000-4-5, EN61000-4-6, EN61000-4-3, EN61000-4-4, EN61000-4-3 и EN61000-3-2 в ELDAŞ International Testing and Calibration Center. Устройството е изпитано в работен режим в следните търговски и банкови институции в Република Турция – MNG Cargo Company, MediaMarkt, Yapı Kredi Bank, Technology Development branch at Uludağ University (Университетски технологичен център Улудаг в Бурса). След извършените измервания и изчисления на икономии на електроенергия се очаква годишен икономически ефект от 500 000 TL в MediaMarkt, 2 милиона TL в Yapı Kredi Bank и около 200 000 TL в Technology Development branch at Uludağ University. Устройството IoT-PDU вече е в масово производство в KUL Electronic Technologies, Република Турция.

Публикации

Основни постижения и резултати от дисертационния труд са публикувани в 8 научни статии и доклади, от които 1 в списание, 1 в годишник на университет и 6 на IEEE конференции, реферирани в SCOPUS. От докладите на конференции 2 са самостоятелни.

Структура и обем на дисертационния труд

Дисертационният труд е в обем от 129 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 138 литературни източници, като всички са на латиница. Работата включва общо 56 фигури и 14 таблици. Номерата на фигурите и таблиците в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ГЛАВА 1. Изследване на технологии за интелигентно измерване на електроенергия

Разработването на цялостен енергиен профил с цел определяне методите за реализиране на икономия на електроенергия и развитие на политиката за управление на енергията изисква създаването на цялостна структура за генериране на по-големи обеми от данни, получени от дълговременни измервания на консумираната електрическа енергия. За изпълнение на целта – определяне на нарастващата нужда от енергия в следващите години и също така необходимостта от инвестиции в оптимизирането на консумацията и в съответните устройства, бяха проведени проучвания на голямо количество информация.

В зависимост от вида на приложението се използват както жични, така и безжични комуникационни технологии. Първо, благодарение на развитието на технологиите, металните кабели са предпочитани за комуникации по RS232, RS485 и по захранващата мрежа. След това към възможностите се включват оптични среди за RS232, RS485, Modbus, CANbus, profiBUS и IRDA [2]. Безжичните комуникации получиха ускорено развитие поради факта, че безжичните технологии са по-икономични и лесни за интегриране. Днес, с развитието на безжичните технологии, честотите от свободния обхват като нормалния RF (433.866 MHz) са заменени от многоканални комуникационни структури с функции за скачащи честоти като ZigBee и Bluetooth. Поради устойчиво намаляващите цени, GSM (2G, 3G, 4G) комуникациите се предпочитат все повече. Използването на Ethernet и други мрежови архитектури в световен мащаб достигна много широко разпространение. С IoT (Интернет на нещата) целта е всяко устройство, кабелно или безжично, да бъде включено в интернет мрежата. След 2030 г. се предвижда, че в света няма да има електронни устройства, които да не са свързани с интернет. Мрежовите архитектури биха получили много добро приложение в преноса на информация при измерването на консумацията на енергия и управлението на товарите в големи жилища, административни и промишлени сгради. Следователно интегрирането на информационните и комуникационните технологии в процесите на измерването на електрическа енергия и управлението на консуматорите ще подобри ефективността на сградите и ще предостави нови услуги на потребителите.

Като резултат от литературното проучване са формулирани цел и задачи на дисертационния труд.

Целта на дисертацията е изследване и развитие на електронни методи и средства за устойчиво измерване на електроенергия с разширени мрежови възможности. За постигането на тази цел са определени следните задачи:

1. Проектиране и експериментално изследване на апаратни методи и инструменти за интелигентно измерване.

2. Изследване на програмни методи за подобряване на възможностите за измерване.

3. Изследване на възможностите за прилагане на облачните технологии в интелигентното измерване на електроенергия.

Резултатите от изследването да се верифицират с разработването на прототип, който демонстрира работоспособността и приложимостта на системата.

ГЛАВА 2. Апаратни методи и инструменти за интелигентно измерване

В тази глава се разглеждат голям брой апаратни средства и се предлага различен и усъвършенстван метод за тяхното проектиране и реализация. От важно значение за съществуващото измервателно оборудване при битови електроуреди е осигуряването на възможности за изолиране на блоковете с високо напрежение от измервателния блок, за да се сведе до минимум опасността от високо напрежение, да се изключи консумацията в режим на готовност, да се пести енергия и да се удължи експлоатационния срок на устройствата. Разработените апаратни средства позволяват използването на кабелни и безжични комуникационни технологии, като същевременно осигуряват реализация на ниска цена. Предложеният хардуер осигурява консумация под 0.1 W в режим на готовност. С него бяха изследвани използваните методи, които дават възможност на ежедневния потребител да извършва интелигентно управление на консумацията на енергията.

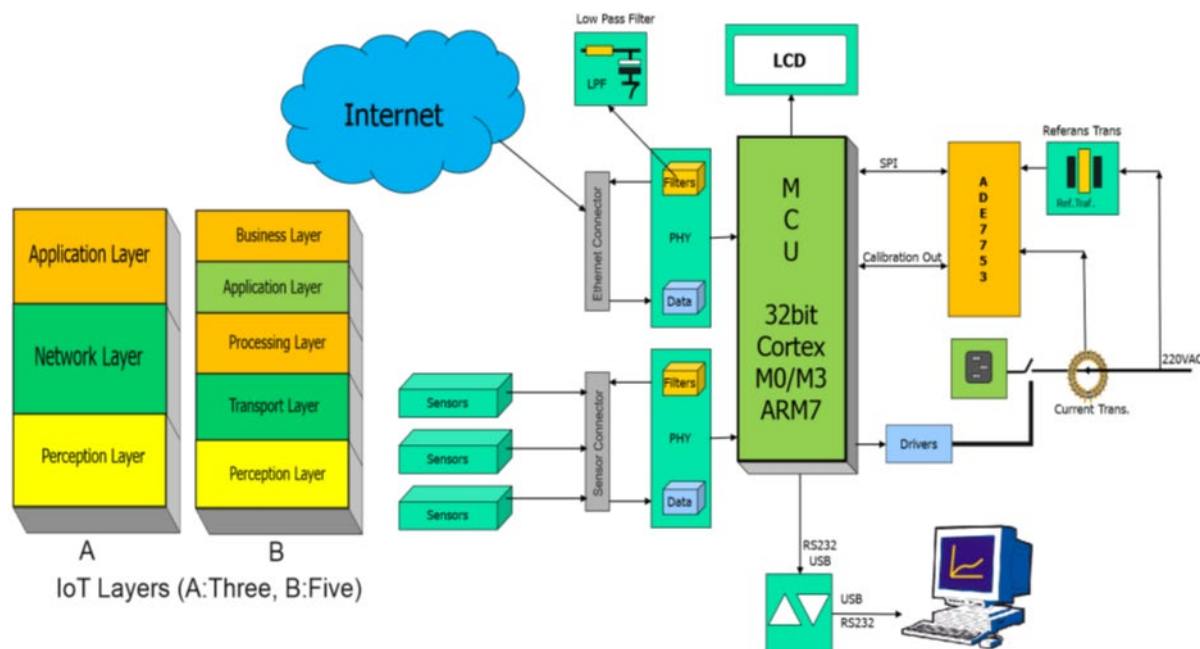
Критериите за безопасност и електромагнитна съвместимост се удовлетворяват, когато се използват сензори с ефект Хол при измерването на ток. При измерването и изчисленията на енергията се използва част от допълнителна интегрална схема. Тъй като изследването е съсредоточено към система за измерване и управление с минимална консумация на енергия, изчисленията и всички комуникации се извършват от един процесор.

В резултат на това изследване бяха доказани икономии на енергия в различни сектори. Икономии на енергия от 20-33% бяха постигнати от приложенията за енергийно ефективно управление на сградите, а друго приложение беше внедрено в пазари за технологични стоки, което осигури икономии от 800 USD на месец.

Изисквания към хардуера при проектиране на измервателни системи

Днес електрическите уреди са класифицирани според тяхната консумация на енергия и чувствителност. Измерването на напрежението и на енергията не отговарят на тези изисквания през повечето време. В допълнение, нежеланата реактивна енергия се генерира от фазовите разлики между тока и напрежението в зависимост от товара, и затова тя трябва да се измерва. Освен това, колебанията на напрежението на мрежата и неговите хармоници имат важна роля при изчислението на енергията. За тази цел е необходимо точно и правилно да се изчисли общата енергия, произтичаща от тока, напрежението, активната мощност, реактивната мощност, активната енергия

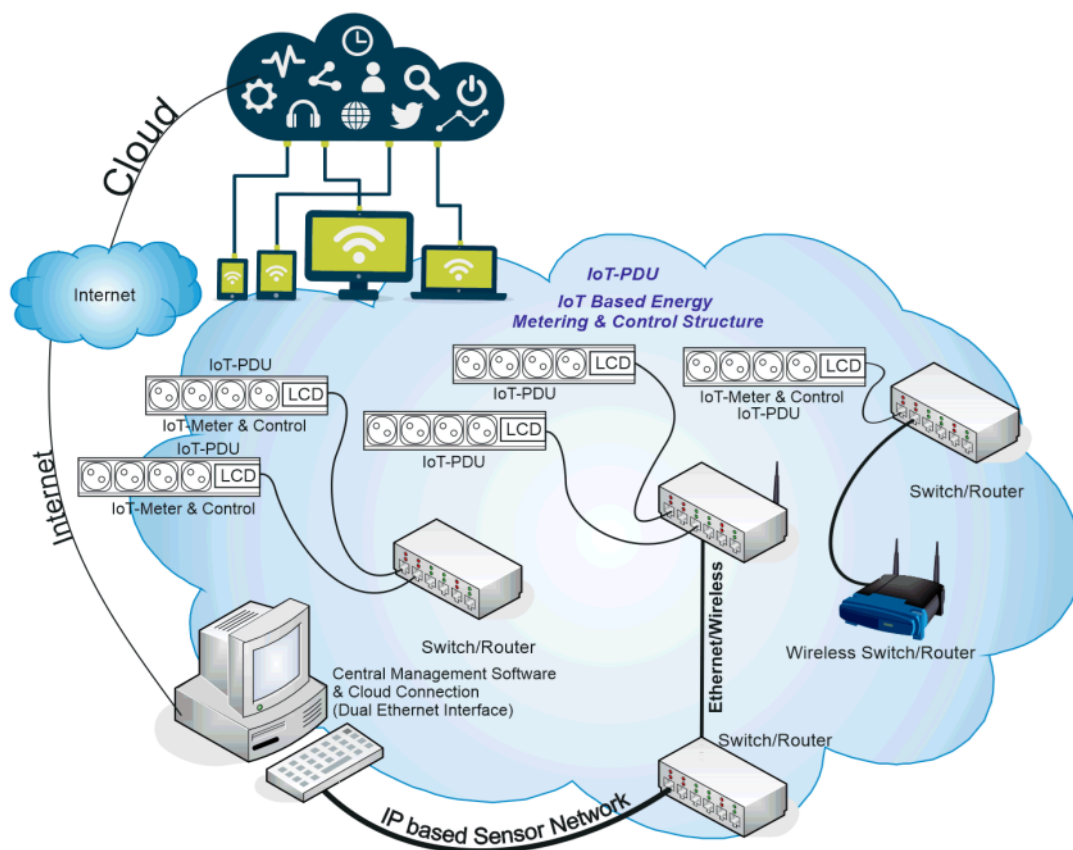
и реактивната енергия и тяхната връзка. В процеса на измерване се изискват изчисления в реално време. На Фиг. 5 е показано устройство за електроенергийни измервания IP-PDU (IoT Power Distribution Unit), което е изградено според концепцията за Интернет на нещата и осигурява слой за връзка с обектите (възприемащ слой - Perception layer).



Фиг. 5. Структура на IP-PDU, включваща специализирана интегрална схема

Всички функции на IoT-PDU по мониторинг и управление са преместени в облака, за да се осигурят по-ефективно управление и по-големи енергийни икономии. Интеграцията на IoT-PDU устройствата към облачната структура е показана на Фиг. 6.

Въпреки недостатъчните критерии за безопасност на IoT устройствата, облачните технологии са предпочитани, защото осигуряват най-високо ниво на сигурност, поддръжка и удобство на управлението. В това изследване, за да се изгради структурата по най-гъвкавия начин, беше използвана едноцентрирана база данни с цел енергийна ефективност и икономия на енергия. IoT базираните уреди за измерване на енергия изпращат измерените стойности в облака на интервали от 100 ms. Облакът на локалната захранваща мрежа създава потребителски профил, включващ измерената консумация на енергия за офиса, бизнес центъра или дома, включително и информация за това кои електрически уреди да се използват и кога. IoT базираното измерване определя също кои електрически уреди могат да бъдат източник на икономия. Облачните технологии осигуряват също и голямо количество данни. Всички видове данни за приложения, поддържани от изкуствен интелект, са извън обхвата на това изследване.



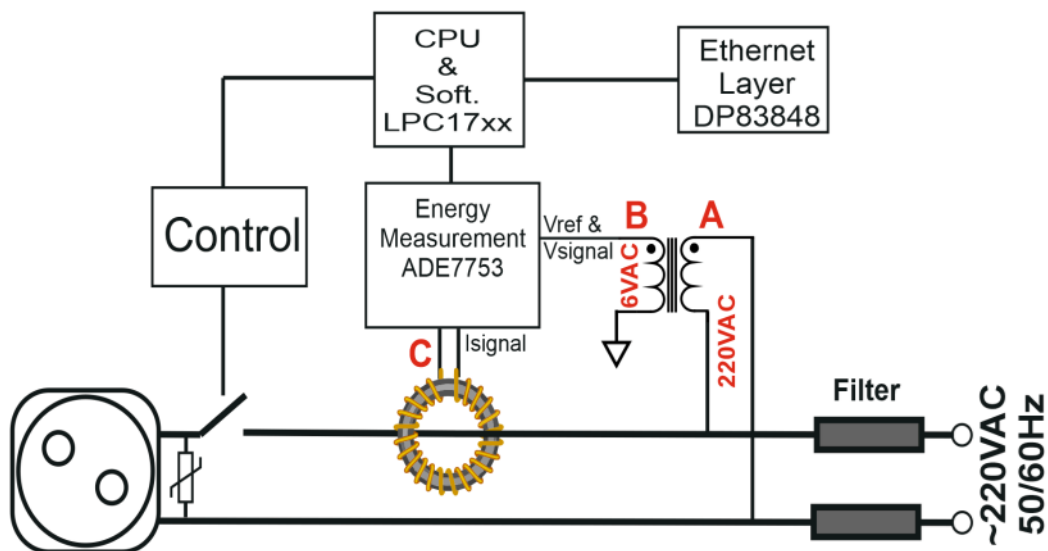
Фиг. 6. Архитектура на проектирания облак на IP-PDU устройства

Измерване на консумацията на електроенергия в реално време

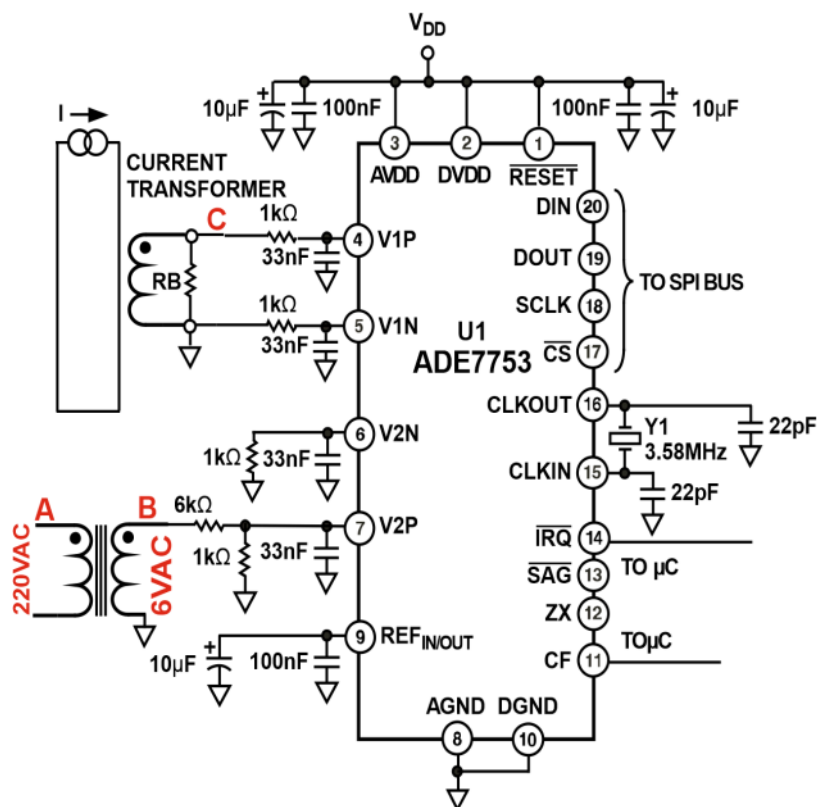
Изследване и реализация на входните преобразуватели

При измерване на енергия, обичайно е използването на шунтов резистор за предотвратяване на фазово изместване. В това изследване, поради големия брой IoT базирани уреди, частите от схемата с високо и ниско напрежение трябва да бъдат разделени. За целта е използвана галванична изолация както за тока, така и за напрежението. Поради галваничната изолация на тока и напрежението, която внася фазово изместване, се изисква изравняване на фазите на напрежението и тока.

На Фиг. 7 е показано галваничното разделяне на входните вериги за измерване на тока и напрежението. Тъй като токът в режим на готовност има ниски стойности, се изисква точно измерване. Затова, осигурявайки 0.1% линейност при измерването на ток, беше използвана интегралната схема ADE7753 [122], която поддържа стандартите IEC 60687/61036/61268 и IEC 62053-21 / 62053-22 / 62053-23. В голямата част от случаите при измерване ADE7753 се включва директно към мрежата, а фазовото изместване е същото, както е посочено по-горе. На Фиг. 10 е показано свързването на схемата с галванична изолация на напрежителната верига, с използване на трансформатор.

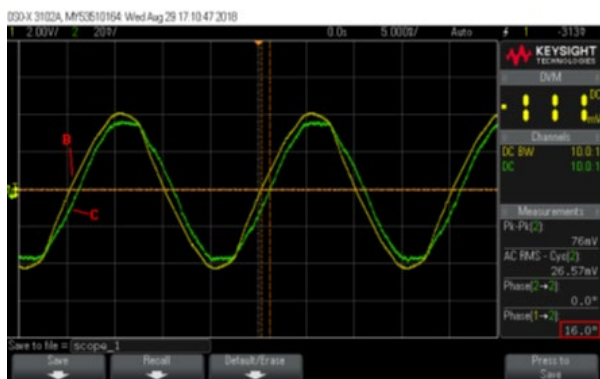


Фиг. 7. Галванично развързване на входните вериги на IP-PDU устройства

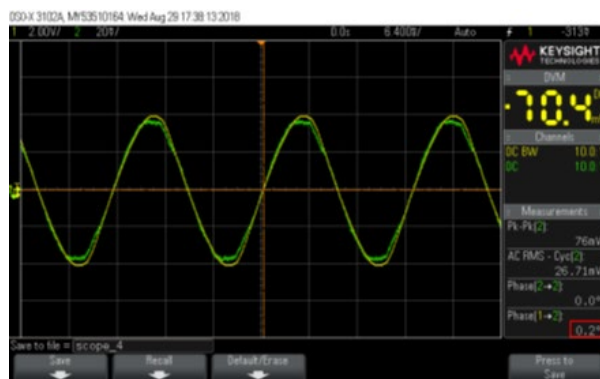


Фиг. 10. Свързване на ADE7753 към мрежата с напрежителен трансформатор

При измерванията, направени върху активен (100 W – 2 kW) товар, се създава фазова разлика между $\sim 15,4^\circ$ и $17,6^\circ$ в зависимост от индуктивността на трансформатора. На Фиг. 11 са показани сигналите в точки В и С на схемата при активен товар 100W. С използване на фазовия регистър на ADE7753 фазовата разлика може да се настрои между $0,1^\circ$ и $0,5^\circ$. Затова $3,9\mu\text{F}$ кондензатор беше включен към точката В, и дефазирането се получи $\sim 0,2^\circ$, както е показано на фигура 12.



Фиг. 11. Фазова грешка при използване на напрежителен трансформатор



Фиг. 12. Резултат след фазова компенсация с кондензатор 3,9μF

При измерванията на тока беше използван тороидален токов трансформатор, с товар на вторичната намотка 20 Ω, и коефициент на трансформация СТ 1500: 1. На Фиг. 18 са показани токовият трансформатор и печатната платка с входните преобразуватели и захранващия блок.

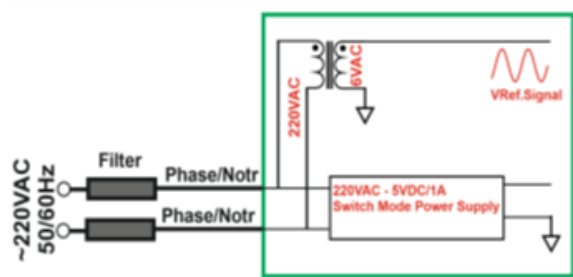


Фиг. 18. Реализация на входните вериги и захранването на IP-PDU устройства

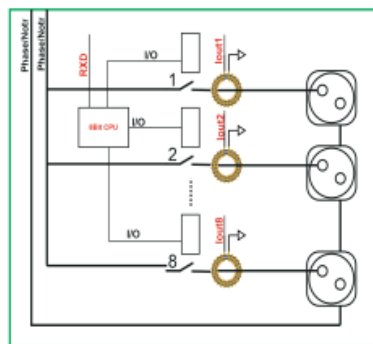
Изследване и реализация на вградена система за измерване

В този раздел на изследването ще бъдат обсъдени подробно основните параметри на IoT-PDU. Целта е да се пести енергия чрез използване на IoT-PDU според дневните нужди. Интеграцията на отделните модули – CPU, високоволтова част, измервателен и управление на товара е организирана както следва. На фигура 20 е показано свързването на устройството към захранващата мрежа. От този вход се формират захранващите напрежения чрез импулсен преобразувател и също така чрез разделителния трансформатор се подава сигнал за измерване на напрежението. Релейните изходи на фигура 21 се управляват от главния процесор LPC1769. Втори процесор е необходим за начално установяване на главния процесор, когато

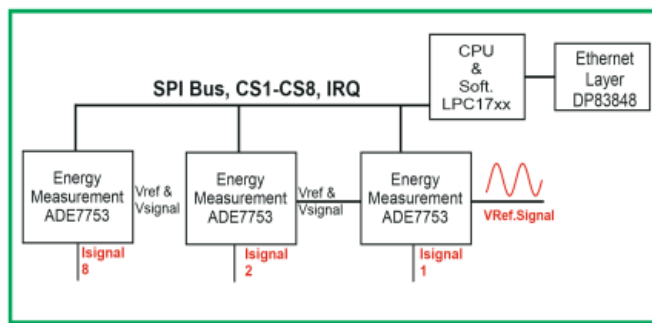
ТСР/ІР свързващата таблица в комуникационния слой предизвиква препълване в паметта на процесора LPC1769. Работата на релейните изходи не се нарушава. По този начин свързаните устройства се проверяват без внезапна загуба на мощност. На фигура 22 е показана блокова схема на основния модул. На него са поставени процесора LPC1769, 6-8 модула за измерване на енергия с ADE7753 и DP83848C, който изпълнява физическия слой на Ethernet. За да се пести енергия в офис приложения, детекторът за движение, който е поставен на входа на помещението, е на основния модул. Целта е изключване на оборудване като отоплителни или вентилационни устройства, за да се пести енергия, когато няма никой в офиса за поне един час. С прилагането на резултатите от това изследване беше реализирано управление консумацията на енергия в сграда чрез HVAC система, описана в Глава 5.



Фиг. 20. Свързване на напрежителната верига на ADE7753



Фиг. 21. Схема на релейните изходи за управление на консуматори



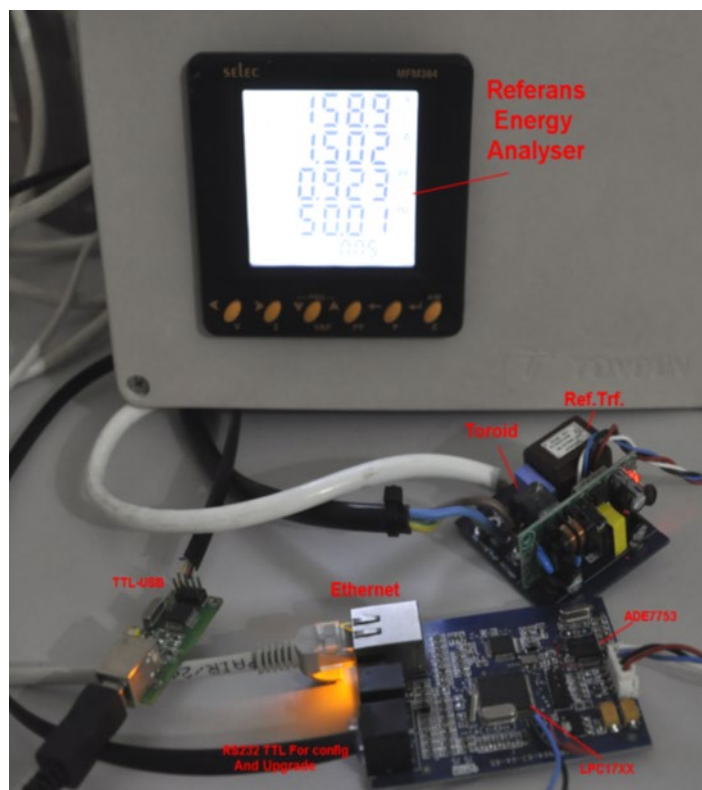
Фиг. 22. Обща блокова схема на IP-PDU устройство

Главният процесор LPC1769 комуникира с ADE7753 по шината SPI. За всяка схема ADE7753 е необходим допълнителен сигнал за избор на чип, докато IRQ изходите от всички схеми ADE7753, които са с "отворен колектор", са свързани към процесора като един общ IRQ сигнал. Тъй като всички интегрални схеми ADE7753 се четат по време на всяко "пресичане на напрежението през нулата", тези, които завършват пълния цикъл на интегриране на енергията, могат да бъдат открити чрез регистъра на състоянието на съответната схема.

Изследване и реализация на комуникационен хардуер

Основният процесор, използван в това изследване [125], е LPC1769 с 32-битова cortexM3 архитектура, който е избран според нуждите на софтуера.

Тъй като е планирано минимално потребление на енергия, този софтуер е проектиран и разработен така, че да отговаря на необходимите TCP/IP протоколи, уеб страници, измерване на енергия и всички други функции. Въпреки че основният процесор на LPC17XX включва Ethernet интерфейс, той не включва физически слой. Затова интегралната схема DP83848C Ethernet беше използвана за реализиране на физически слой, като е показано на фигура 24.



Фиг. 24. Работа на прототип на IP-PDU устройство в лабораторни условия

Заклучение

Тази глава от дисертацията е посветена на изследване на предложената архитектура. В нея са изследвани апаратни средства, които се изискват за решаване на първата задача на дисертационния труд.

В тази глава са заявени следните приноси:

1. Изследвани са специализирана интегрална схема за измерване на енергия, методи за измерване на ток и тяхното приложение.
2. Разгледани са и са сравнени възможностите на различни токови сензори и е изследвано експериментално тяхното действие при малки стойности на тока.
3. Проектирана е и е изследвана апаратната част на устройство за измерване и управление на консумираната електрическа енергия с мрежов интерфейс за дистанционен достъп.
4. Изследвана е апаратната част за измерване на енергията в реално време и са определени точността и ограниченията на системата.

ГЛАВА 3. Програмни методи за подобряване на възможностите за измерване

Методът, който е представен и изследван в тази глава е различен от широкоразпространените методи за измерване на консумираната енергия. Програмното осигуряване е предназначено за работа върху хардуер на базата на Ethernet архитектура, фокусиран върху измерване и управление консумацията на енергия и интернет комуникационни протоколи. Всички оперативни действия като управление на реално време, управление на консумацията на енергия в зависимост от времето, управление в режим на готовност (фантомно натоварване) се изпълняват от един процесор.

Анализиране на режим на готовност

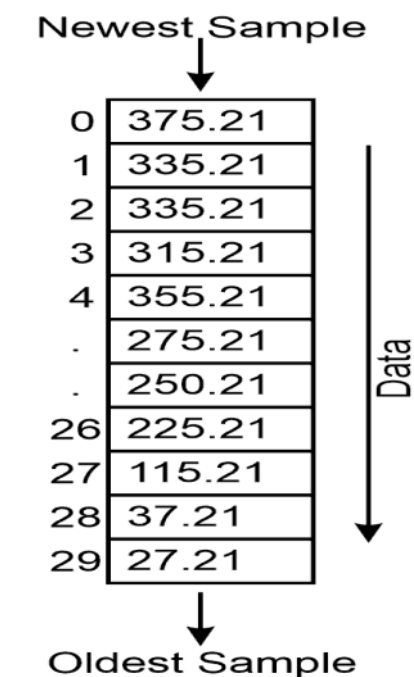
Енергията в режим на готовност или фантомният товар е енергията, консумирана от мрежата, въпреки че устройството не се използва активно и се счита за изключено. Въпреки че тази енергия е много малка, поради мултиплициращия ефект тя достига много големи стойности. Електрическите устройства не се изключват след приключване на работата им. Повечето от тези устройства, които не са изключени след всяка употреба, продължават да консумират енергия от мрежата. Най-добрите примери са места като банки и публични институции, които работят на една смяна. Също така, много устройства в домовете (телевизори, комутатори, рутери, принтери и т.н.) остават свързани към мрежата през нощта, когато жителите спят. По-специално, банките, които имат десетки хиляди клонове, консумират енергия, което води до скъсяване живота на оборудването и причиняване на въглеродни емисии.

За да се определи енергията в режим на готовност на включените устройства, високата консумация на енергия се установява, като се разгледат нормалните работни токове и консумацията на енергия на устройството. За това се разглежда максималната консумация на мощност на устройството, стандартното отклонение на най-ниската консумация на енергия и Z-score (уравнения 10, 11, 12). Устройството, свързано към изхода на IoT-PDU, се управлява чрез Web ON и след първите 30 s се правят измервания на мощността на интервали от 1 s. След първите 30 измервания, стойностите на мощността се измерват на интервали от 100 ms. Експериментално е установено, че 30 измервания са достатъчни, тъй като 30-те стойности, измерени през интервали от 100 ms, представляват данните за консумацията на енергия през предходните три месеца на избраното устройство. Измерванията продължават на всеки 100 ms, като данните от тях се актуализират в буфера, показан на Фиг. 25.

$$P_{avr} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n} \quad (1)$$

$$P_{sdt} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n P_n - P_{avr}}{n - 1}} \quad (2)$$

$$ZScore_n = \frac{P_n - P_{avr}}{P_{sdt}} \quad (3)$$



Фиг. 25. Актуализиране на буфера с измерените стойности на мощността

След това се откриват средните стойности на мощността (P_{avr}), техните стандартни отклонения (P_{sdt}) и стандартно отклонение (Z -score). $Z-score_n$ показва Z -score от измерването. Z -scores на данните за мощността се мащабират между 0 и 100 и се създава класификационна таблица, базирана на тяхната консумация на енергия. В тази класификация с последното измерване беше установено, че стойностите на мощността са в областта 0-100.

Определен е масива със стойности на мощността с указатели Range (h) и Range (l), който е показан в Таблица 3.

Таблица 3. Z -score [%]

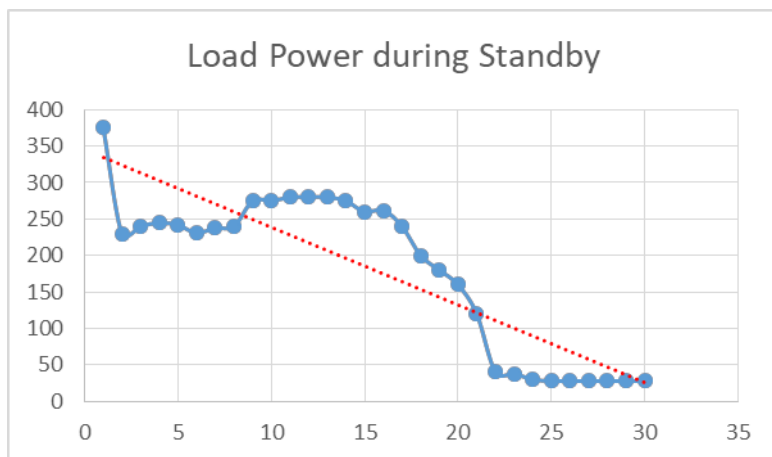
Range (l)	Range (h)	S1 (l)	S1 (h)	S2 (l)	S2 (h)	S3 (l)	S3 (h)	S4 (l)	S4 (h)	S5 (l)	S5 (h)	S6 (l)	S6 (h)	S7 (l)	S7 (h)	S8 (l)	S8 (h)	S9 (l)	S9 (h)
80.0	100.0	57.0	100.0	52.0	56.9	47.0	51.9	42.0	46.9	37.0	41.9	32.0	36.9	27.0	31.9	22.0	26.9	0.0	21.9
70.0	80.0	59.0	100.0	54.0	58.9	49.0	53.9	44.0	48.9	39.0	43.9	34.0	38.9	29.0	33.9	24.0	28.9	0.0	23.9
62.5	70.0	61.0	100.0	56.0	60.9	51.0	55.9	46.0	50.9	41.0	45.9	36.0	40.9	31.0	35.9	26.0	30.9	0.0	25.9
57.5	62.5	63.0	100.0	58.0	62.9	53.0	57.9	48.0	52.9	43.0	47.9	38.0	42.9	33.0	37.9	28.0	32.9	0.0	27.9
52.5	57.5	65.0	100.0	60.0	64.9	55.0	59.9	50.0	54.9	45.0	49.9	40.0	44.9	35.0	39.9	30.0	34.9	0.0	29.9
47.5	52.5	67.0	100.0	62.0	66.9	57.0	61.9	52.0	56.9	47.0	51.9	42.0	46.9	37.0	41.9	32.0	36.9	0.0	31.9
42.5	47.5	69.0	100.0	64.0	68.9	59.0	63.9	54.0	58.9	49.0	53.9	44.0	48.9	39.0	43.9	34.0	38.9	0.0	33.9
0.0	42.5	71.0	100.0	66.0	70.9	61.0	65.9	56.0	60.9	51.0	55.9	46.0	50.9	41.0	45.9	36.0	40.9	0.0	35.9

Например, мощността е между 80% и 100% според последните данни от измерването. По същия начин мощността може да бъде между 47,5% и 52,5%. Тези процентни гранични стойности също са получени от Z -Score. Диапазоните S1 (висок), S1 (нисък) - S9 (висок) и S9 (нисък) показват граничните стойности на обхвата на промените в стойността на мощността

като резултат от стандартното отклонение. Дали мощността на устройството, свързано към IoT-PDU, е 50W или 5000W не е важно, защото може да се променя постоянно. Така се създава таблица за мащабиране, независима от мощността на свързаното устройство. В тази таблица от последните 30 измерени стойности на мощността, диапазонът на мощността е определен в [%]. Ако стандартното отклонение в [%] е малко, свързаното устройство е в режим на готовност или в нормален режим на работа. Ако стойността на стандартното отклонение е висока, устройството е влязло в режим на готовност, изключено е след работа или е започнало да работи, след като е било изключено. Таблица 3 показва S-1 (H) Z-Score-1 висока стойност, S-1 (L) Z-Score-1 ниска стойност, S-2 (H) Z-Score-2 висока стойност, S-2 (L) Z-Score-2 ниска стойност и т.н. Тъй като стойностите на Z-Score в таблица 3 се променят след всяко измерване на мощността, стандартното отклонение се променя, но позволява определянето режима на консумация на мощност, в който ще влезе устройството. Примерите в Таблица 4 дават по-добро разбиране за същността на предложения метод.

За да може да се оценят стойностите на стандартното отклонение в същия мащаб при различни натоварвания, най-високата стойност на измерената мощност се изчислява в [%]. Това позволява използването на същата скала за различни натоварвания.

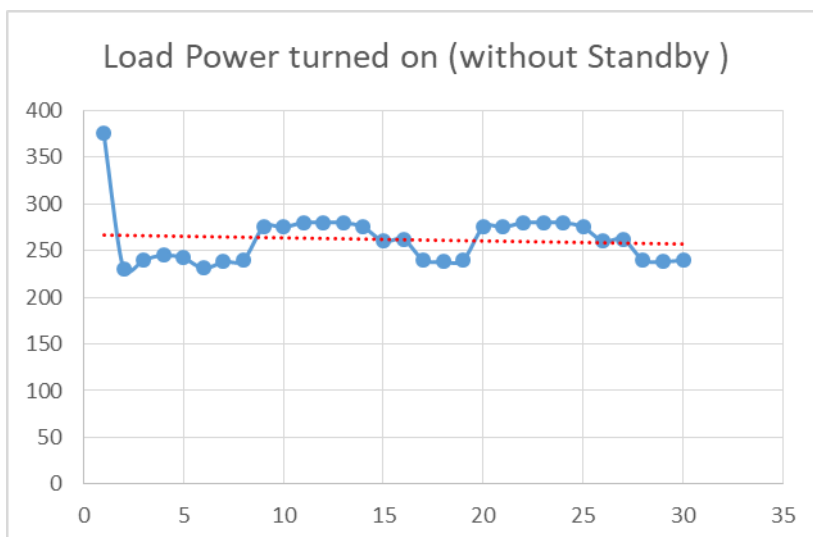
Графиката на Фиг. 27 показва консумираната и въведена в Таблица 4 мощност и стойностите Z-Score (червена пунктирна линия) на устройството, влизащо в режим на готовност.



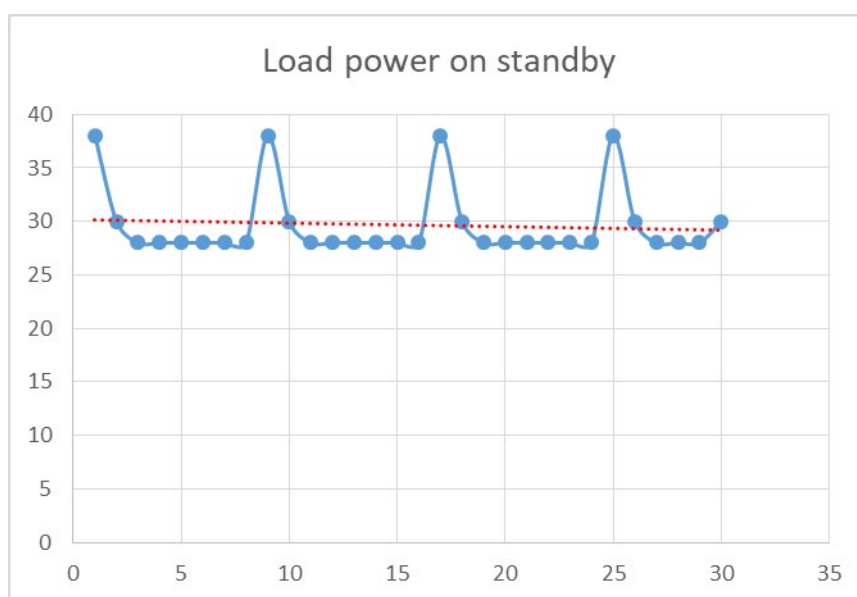
Фиг. 27. Консумирана мощност по време на преминаване в режим на готовност

На Фиг. 29 е показана графиката на мощността и стойностите Z-Score на устройството при нормален работен режим.

На Фиг. 31 е изобразено изменението на мощността и стойностите Z-Score (Таблица 5) на устройство в режим на готовност.



Фиг. 29. Консумирана мощност при нормални работни условия (без режим на готовност)

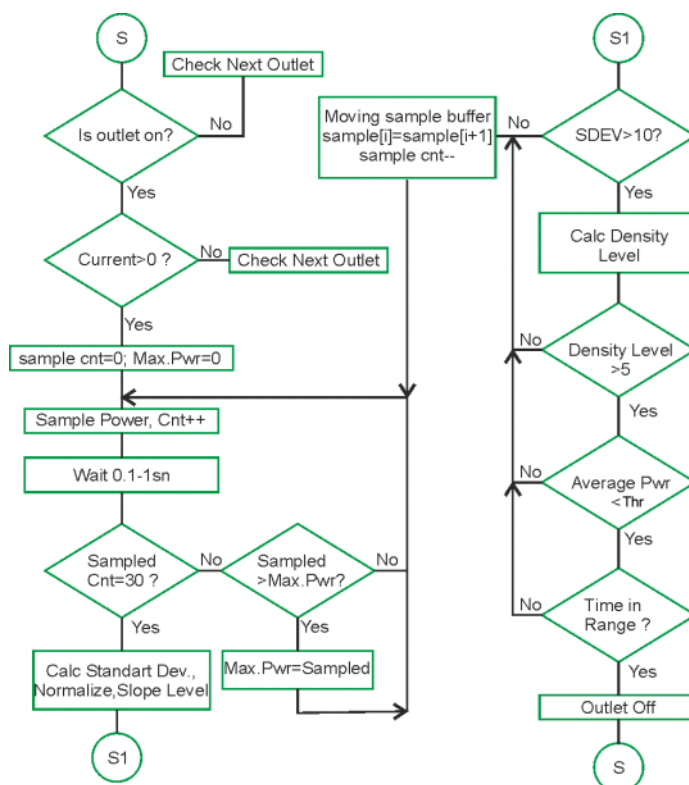


Фиг. 31. Консумирана мощност в режим на готовност

Таблица 5. Стойности на отклонението и Z-Score на мощността в трите режима

Description	Result of Sampled Power (with Standby)	Result of Sampled Power (without Standby)	Result of Sampled Power (only Standby)
Average	45,733	69,7	7,5
Standart Dev.	29,556	7,5	1,040
Total Sample	30	30	30
Z-Score level 1	100	78	10
Z-Score level 2	87	74	9
Z-Score level 3	72	70	9
Z-Score level 4	58	67	8
Z-Score level 5	43	63	8
Z-Score level 6	28	59	7
Z-Score level 7	13	55	7
Z-Score level 8	-2	52	6
Z-Score level 9	0	0	0

Блоковата схема на алгоритъма на програмата за определяне на състоянието на режим на готовност е показана по-долу на Фиг. 32.



Фиг. 32. Алгоритъм на програмата за установяване режим на готовност

Очаква се, че първата измерена стойност ще се появи, 30s след като бъде включен всеки изход чрез Уеб интерфейса. Ключовите хранващи устройства обикновено консумират по-голям ток при първоначалното хранване. След измерване на 30 стойности, първата стойност се игнорира. На този етап се запомня най-високата стойност на мощността от всичките, получени на интервали от 1s. Най-високата стойност се приема за следващите 30s. Докато устройствата работят, понякога могат да достигнат по-високи стойности на консумирана мощност. Следователно тези стойности се приемат като максимална мощност, защото се открива по-висока консумация на енергия, докато устройството не се изключи чрез интерфейса. Например, при гледане на телевизия, увеличаването на яркостта или увеличаването на силата на звука ще увеличи консумацията на енергия и ще определи максималната мощност. Тъй като консумацията на енергия ще бъде намалена чрез намаляване на силата на звука, тя се различава от режим на готовност. От друга страна, различни устройства могат да бъдат свързани към един и същ изход и следователно е необходимо да се мащабират резултатите от измерванията по скала от 100. Следователно данните от измерванията се мащабират според най-високата стойност на мощността. След това се изчислява стандартното отклонение. След изчислението, ако мощността е по-малка от прага на стойността на отклонението, данните се елиминират и презареждат. След този етап измерването на мощност трябва да се извършва на интервали от 100 ms. Когато устройствата, свързани към изхода, преминават в режим на готовност, стойността на мощността се

измерва експериментално за максимум 3s поради запасената енергия в кондензаторите на устройството. Междувременно, когато се наблюдава спад на мощността, както е показано на Фиг. 24, може да се забележи влиянието на капацитетите. Само стандартното отклонение не е достатъчно, за да покаже дали устройството е в режим на готовност. След стандартното отклонение се разглежда процесът на промяна на данните. Този процес представлява скоростта, с която данните за консумацията на енергия намаляват, след като устройството влезе в режим на готовност. Консумацията намалява по-бавно в началото и след това - по-бързо. С увеличаването на скоростта на намаляване, стандартното отклонение се увеличава, така че непрекъснато изчисленото стандартно отклонение се очаква да се увеличи. Тъй като интензитетът на данните ще се промени след всяко изчисление на стандартното отклонение, се установява, че устройството ще намали консумацията на енергия с 95%, когато се достигне експериментална стойност от 5%. В допълнение, устройството може да бъде с ниска консумация на енергия и следователно може да има твърде малка консумация за откриване на режим на готовност. На този етап, дори ако е в режим на готовност, устройството не трябва да се изключва от Уеб интерфейса, освен за определено време по желание. Например, когато капакът на преносим компютър е затворен, захранването не трябва да се изключва, за да може зареждането на батерията да продължи.

Псевдо код на IoT-PDU

Методът на псевдокода е избран да служи като източник за други изследователи да работят по въпросите на измерването на енергията, всички TCP / IP протоколи и енергоспестяващи алгоритми.

Псевдокод на системата

Всички IoT устройства трябва да имат структура, която започва с активиране (Initialize, Set defaults, Get last user parameters, и т.н.) (Таблица 6).

Таблица 6. Псевдокод на IoT-PDU

Pseudo Code
1. Initialize hardware and software Set defaults and Get last user parameters
2. If (True) then Process_Ethernet_operations(); If cycle_count==100 then get_calc_energy; If second_changed then process_time_op(); process_sensor_op(); end If 100 ms_changed then if time==work_time_started then outlets On else If Check_device_in_stand_by()>0 then if time_not_work_range=work_time_ended then outlets Off; End

Псевдокод на уеб и TCP / IP протоколи

В това изследване са използвани TCP / IP, UDP, HTTP, e-mail клиент и протоколи SNMP за интернет комуникация на IoT-PDU (Таблица 8).

Таблица 8. Псевдокод на TCP / IP протоколи

Pseudo Code of TCP/IP protocols	
1. If not Check Ethernet packet received then exit	
Transfer packet to TCP/IP stack	
Initialize Sessions	
2. While(new_packet_ready) then	
Transfer packet to TCP/IP stack;	
If(TCP/IP packet) then	
If(request==http) then send_web_pages(page requested);	
If (request==e-Mail) then send_email_to_server;	
End	
If(UDP packet) then	
If (request==SNMP) then send_SNMP(OID requested);	
End	
End	
3. If(sensor_alarm) then	
send_SNMP(OID trap sensor);	
send_email_to_server;	
End	
4. If (power_alarm) then	
send_SNMP(OID trap power);	
send_email_to_server;	
End	
5. If(outlet[n] state changed) then	
send_SNMP(OID trap outlet);	
send_email_to_server;	
End	
6. If(outlet[n] over_current) then	
Outlet[n] Off;	
send_SNMP(OID trap outlet);	
send_email_to_server;	
End	

Псевдокод на измерване

Интегралната схема за измерване на енергия ADE7753, използвана в това изследване, е в състояние да измерва kW, kWh, kVAr, kVArh, VA, RMS стойности на напрежение и ток, напрежение и ток на мрежата и период на мрежата (Таблица 9).

Таблица 9. Псевдокод на измерване

Pseudo Code of Metering	
Set line_cycle to 100 //complete energy accumulation every 2 s	
1. While (line_cycle occurred for Outlet[n]) then	
	outlet[n].voltage[n]= Read V_rms [n]; outlet[n].current [n]=Read I_rms[n]; Get_active_power; Get_reactive_power; active_power +=Get_active_energy; reactive_energy +=Get_reactive_energy; apperant_energy +=Get_apparent_energy; Power_factor= Get_active_energy / Get_apparent_energy; Reset_active_energy; Reset_reactive_energy; Reset_apparent_energy; //line_cycle automatically resetted when reading any enery register
End	
2. If(outlet[n].current > Over_current) then	
	Over_current_alarm_occured;
End	
3. If(Power_factor < Threshold) then	
	Bad_device_alarm_occured;
End	

Изпълнение на уеб интерфейс с HTML

Тази част от изследването е разработена с помощта на компилатора Keil MDK-ARM. Разработеният код поддържа HTML линии в LPC1769 флаш паметта. Уеб интерфейсът изисква HTTPD сървър протокол, който е разработен в рамките на изследването. Когато изпраща всяка html линия, LPC1769 е конфигуриран да попълва полетата с данни в реда. Други потребителски настройки, стойности на измерена мощност и работни режими, изисквани в това изследване, са зададени в уеб интерфейса. Многобройни настройки на IoT-PDU могат да бъдат направени по-бързо през облака. Подробностите не са споменати в това изследване.

Заклучение

Тази глава от дисертацията илюстрира детайлите на предложената софтуерна архитектура и в нея са заявени следните приноси:

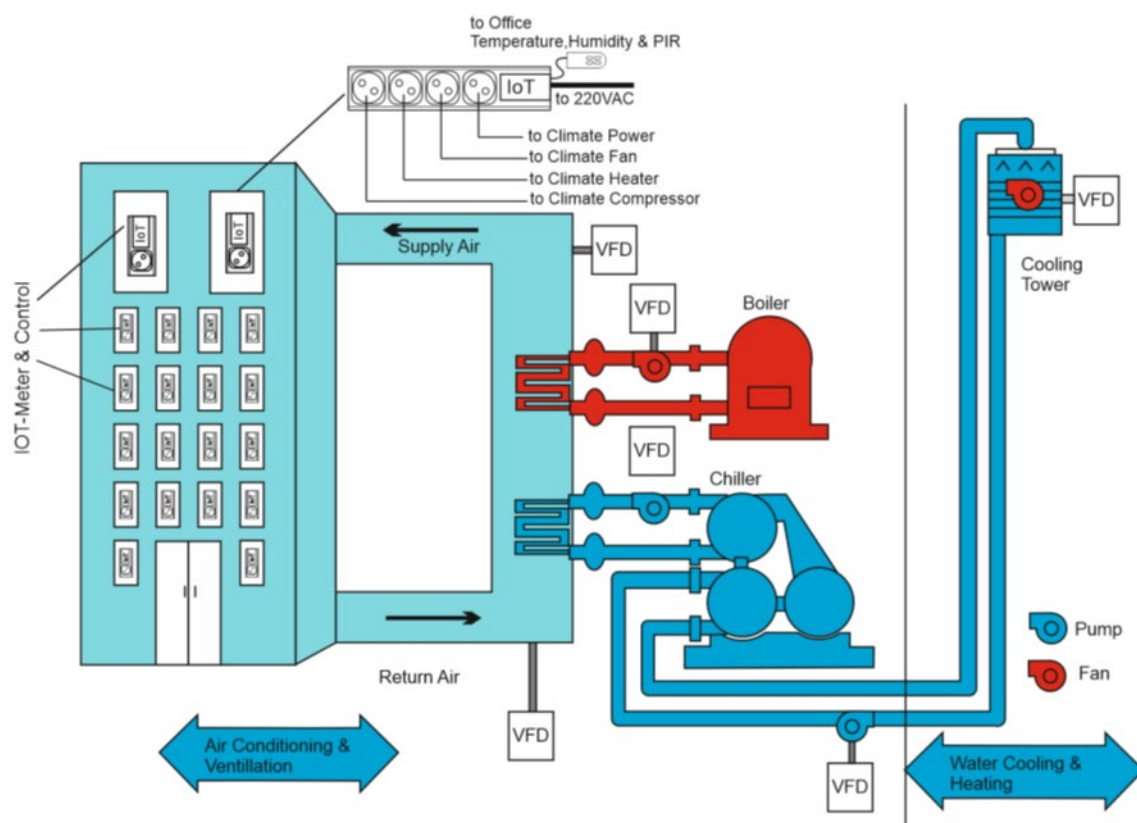
1. Изследвани са програмните аспекти на измерването на енергия в реално време, точността и ограниченията на системата.
2. Предложен и изследван е метод за анализ на профила на консумираната мощност и установяване на режим на готовност или нормален режим на консуматор.
3. Изследвана е класификация на енергийния профил на устройствата с цел изключване в режим на готовност.

ГЛАВА 4. Приложение на облачните технологии в интелигентното измерване на електроенергия

Понастоящем разширяването приложението на концепцията за Интернет на нещата се затруднява поради съществуващите проблеми, свързани с адаптацията на IPv4. 32-битовото адресно ограничение от 4,294,967,296 (2³²) вече е запълнено и облачните технологии имат съществена роля в това отношение. Облачните технологии се използват широко за технологии, ориентирани към услуги (service oriented technologies - SOT), модерни изчислителни технологии (advanced computing technologies - ACTs), технологии за виртуализация, вградени технологии, кибер-физически системи (CPSs) и IoT.

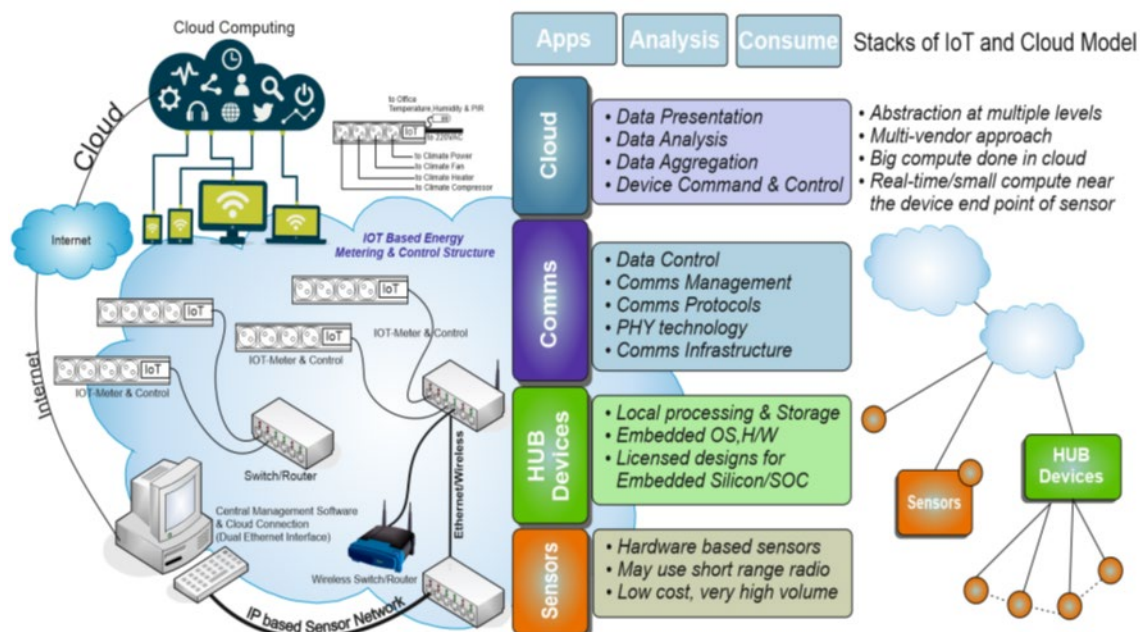
В това изследване, устройствата, свързани към IoT-PDU, бяха включвани или изключвани чрез облака, с цел измерване стойностите на енергията от IoT-PDU и осигуряване на енергийна ефективност.

За целите на изследването са проведени експерименти в университетския технологичен център Улудаг (Technology Development branch at Uludağ University). Оперативно енергийната ефективност в HVAC системите се основава на интелигентно измерване. Връзката на HVAC системата и офисните климатици към IoT-PDU е показана на Фиг. 34. В изследването се гарантира, че енергийните профили на уредите за климатизация в офисите са установени, в следствие анализ на данните от дистанционния контрол на достъпа, измерването на температурата и влажността, и PIR сензора в офисите, който анализ показва дали има служители в офиса.



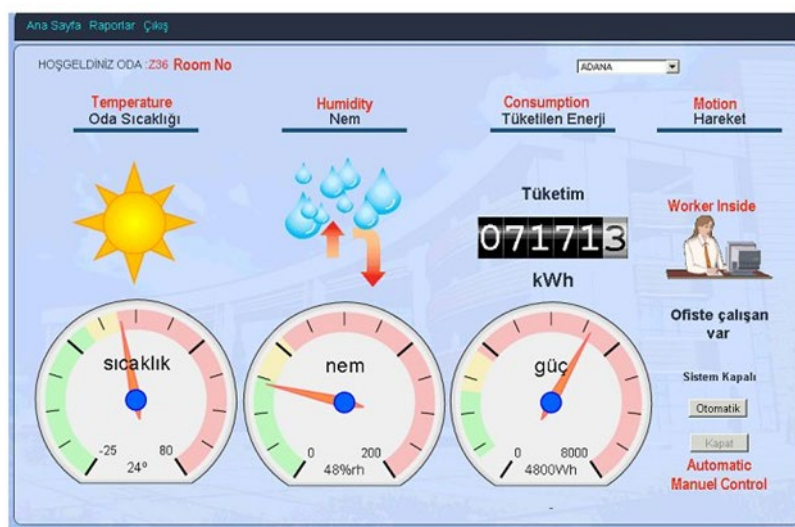
Фиг. 34. Управление на климатизацията на офиси чрез IoT-PDU

По този начин, енергийните измервания и други фактори, които биха могли да намалят потреблението на енергия, бяха осигурени с използването на IoT-PDU. На Фиг. 36 е показана структурата на облачната система за измерване на електроенергия и управление на консуматорите.

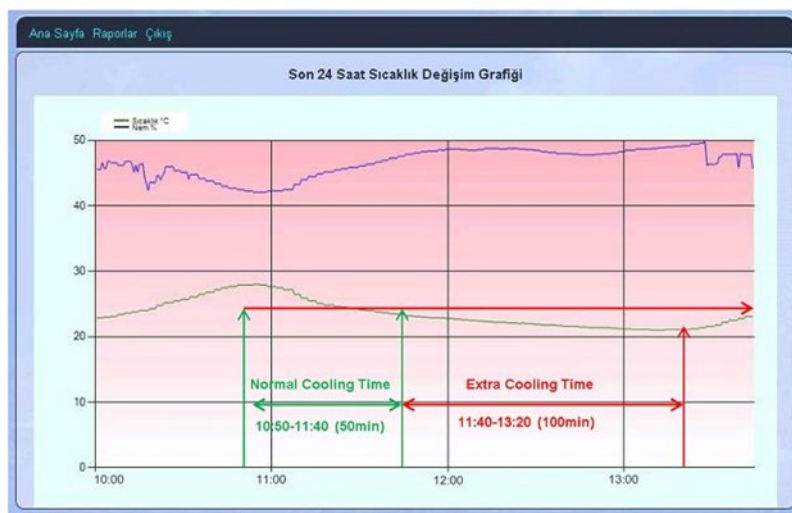


Фиг. 36. Облачна система за измерване на електроенергия и управление на консуматорите

Освен енергийните измервания в офиса, чрез използване на PIR сензори и измерване на вътрешната температура се определя дали има присъствие на служители. Разположението на сензорите в офисите е показано на Фиг. 43. Уеб интерфейсът е разработен с използване на Microsoft Azure, SOT софтуер за услуги, Apache, MySQL и PHP софтуер. Той работи и на две виртуални машини, базирани на Microsoft и Linux. Linux виртуалната машина е предпочитана от съображения за сигурност. Услугата SOT е в Azure. На фигури 37 и 38 е показан уеб интерфейса, работещ на Apache Web Server и Cloud Linux Virtual Web Server.



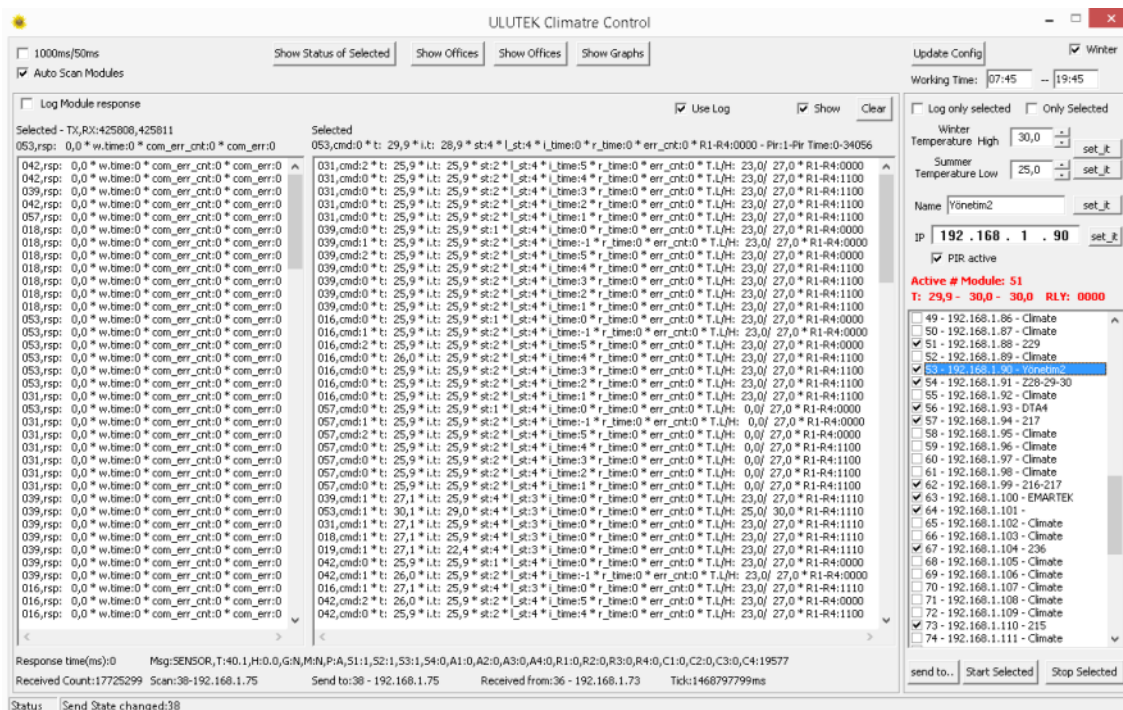
Фиг. 37. Уеб интерфейс на Apache Web Server



Фиг. 38. Уеб интерфейс на Cloud Linux Virtual Web Server

Облачният софтуер за услуги обслужва на всеки 100 милисекунди, приблизително 100 офиса в бизнес център, и ако никой не работи в офиса, изключва всички управлявани устройства.

Изображението на екрана на услугата Microsoft Azure е показано на Фиг. 39. 60 милиона комуникационни пакета се създават средно седмично. Приблизително всеки втори офис се следи, енергията се измерва, осреднява и записва всяка минута. Ежедневно се съхраняват приблизително 1440 записа за измерване за всеки офис.



Фиг. 39. Виртуален работен плот като услуга на Microsoft Azure Cloud

Псевдо код на облачен софтуер за управление на консуматорите

В рамките на изследването беше внедрено приложението на облачни технологии за подобряването на енергийната ефективност в бизнес център с използване на IoT-PDU. Софтуерът в облака измерва енергията в около 100

офиса в бизнес центъра на всеки 100 милисекунди, изключвайки свързаните устройства в офиса, когато те не работят. Облачните технологии премахнаха много от проблемите на системните компоненти като сървър, поддръжка на сървъри и сигурност. Когато са направени промени в софтуера на сървъра, актуализацията се извършва автоматично, което позволява на всички свързани IoT-PDU устройства да актуализират профилите си за управление на енергията. Тъй като всички данни са били в една и съща среда, техните статистики, система за подпомагане на вземането на решения (DSS) или методи за AI могат да бъдат приложени (Таблица 10). Данните за DSS или AI за енергоспестяване ще бъдат представени в други изследвания.

Таблица 10. Псевдокод на облачния софтуер

Pseudo Code in Cloud	
1.	Broadcast signal to all IoT-PDUs
2.	When packet is received by IoT-PDU[n]) then
	Update to database;
	End
3.	Analyze energy efficiency, DSS
	If any available device is not used and can be closed == Yes, then IoT-PDU[n].Outlet[i] Off;
	End
4.	Find user energy usage profile
5.	If Web acces is available, then
	Serve it
6.	If time is <100 ms from last broadcast, goto 3
7.	Goto 1

Заклучение

Тази глава от дисертацията показва резултатите от изследването на приложението на облачните технологии.

Изследвани са алгоритмите на облачния софтуер за събиране на данни и взимане на решения за управление на консуматорите.

Изследвано е предоставянето на услуги за измерване на електроенергия и управление на консуматорите.

ГЛАВА 5. Изследване за електромагнитна съвместимост. Експериментални резултати

Потреблението на електрическа енергия се увеличава бързо, тъй като тя започва да замества енергията от изкопаемите енергийни източници. По-ефективното използване на наличните ресурси и премахването на ненужното потребление на енергия представляват някои от най-важните проблеми по света. Например, цената на енергията за улично осветление в света е около 230 милиарда долара годишно.

Резултати от изпитване за енергийна ефективност в MNG Cargo Company

Проведено е изследване за енергийна ефективност в над 550 клона на MNG Cargo Company. Допълнителните разходи, свързани с потреблението, са 20%, което прави 54.58 TL на месец и 654.91 TL годишно. Общите годишни разходи за 550 клона:

Обща годишна сума в режим на изчакване = $12 \text{ (месеца)} \times 550 \times 54.58 = 360.228 \text{ TL}$.

Измерване на енергията в Carrefour-BIMEKS

Измерванията са направени в рамките на организацията на Bimeks (сега MediaMarkt) за различни марки устройства, включително 27 модела телевизори, 7 преносими компютри, 10 монитора и 10 таблета. В резултат на тези измервания бяха определени големи разлики в зависимост от марките и моделите на производителите. Данните от измерванията на различните модели телевизори са дадени в Таблица 13.

В това изследване са направени измервания на активната енергия заедно с анализ и измерване на тока при импулсните захранващите блокове. Като се намери средната стойност на тока се вижда, че тя надвишава номиналната стойност с 20%.

За 27-те модела телевизори, които са активно включени в контакта всяка нощ и са в режим на готовност, общите годишни разходи биха достигнали 507,4460 TL. За 130 телевизора в един клон тази стойност е $130 \times 507.4460 \text{ TL} / 27 = 2443.26 \text{ TL}$.

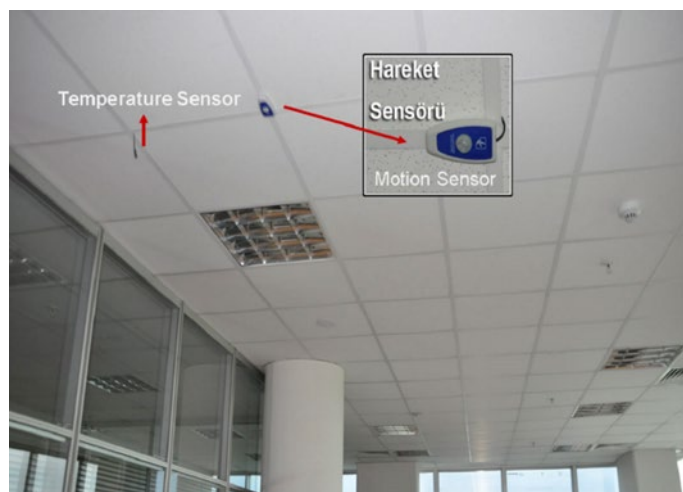
За 102 клона общата стойност на консумацията в режим на готовност е $102 \times 2443.26 \text{ TL} = 249, 212.72 \text{ TL}$.

Измерване на енергията в държавните институции

Друго експериментално изследване е проведено в Университетския технологичен център Улудаг, Бурса. Сградата има система за отопление, вентилация и климатизация (HVAC) и от 15% до 60% от общото енергийно потребление на сградата обикновено се губят поради неефективността на тази система. Компресорите в горните отвори на офисите имат средна мощност от 5 kW. В това изследване, допълнително към IoT-PDU е включен изход сух контакт за всеки офис.

Централизираният софтуер за управление контролира измерването на температурата и влажността и консумацията на енергия за всеки офис чрез IP-базирани сензори (Фиг. 43, Фиг. 44) и управлява ефективността и работния обхват на компресорите и вентилаторите в зависимост от тенденциите за спадане и повишаване на температурата. Например, в офис с множество изходи и входи, ако температурата е зададена на ниво, което никога не може да бъде намалено, компресорите ще работят непрекъснато, но желаният спад на температурата няма да бъде постигнат. Като друг пример, офис служител може да поиска настройка на климатик чрез задаване на температура 18° C. Понякога компресорът трябва да работи 1 час, за да понижи температурата до 20° C, а друг път може да са необходими 8 часа, за

да се намали температурата до 18° C, тъй като охлаждането непрекъснато се прекъсва поради влизането и излизането. Информацията за температурата и влажността, получена от IP-базирани сензори на интервали от 1 минута, се следи от централния софтуер и се определя характеристиката на офиса. Освен това, когато в офиса няма работещ служител за определен период от време, централният софтуер осигурява енергиен контрол чрез изключване на компресора или вентилаторите. Още повече температурата в различни точки на офиса може да бъде зададена чрез централизирания софтуер, като по този начин не се разрешава нейната промяна от работещите в офиса.



Фиг. 43. Разположение на сензорите за температура и влажност в офис

На Фиг. 45 е показан пример за охлаждане на офис чрез Уеб интерфейс, показващ управлението на температурата между 23° C и 21° C във времето.

Поради долната граница на температурата, определена от централния софтуер за управление, в зависимост от характеристиките на офиса и сградата, се предотвратява ненужно загряване или охлаждане от компресорите или вентилаторите в рамките на 1,5° - 2° C. Опитът да се достигне стойността, зададена автоматично от системата като резултат от измерванията, осигурява допълнителни спестявания от 60-70 минути работа. Номиналната мощност на компресорите и вентилаторите, използвани в съществуващите офиси, е между 3,8 и 5,1 kW с консумация от 4.5 kWh. Икономии за този период са били $0,3 \text{ TL} \times 4.5 \text{ kWh} \times 1,16 \text{ h} = 1,575 \text{ TL}$. В офиси със средно работно време 8 часа икономията е $1,575 \times 4 = 6,3 \text{ TL}$, постигната, когато климатикът беше включван и изключван четири пъти. Общият брой на офисите е 103, а когато се изчислява за 25 работни дни, това представлява месечна икономия от $6,3 \times 103 \times 25 = 16\,222,5 \text{ TL}$. Преразходът, причинен от служители в офиса, беше избегнат в следствие работата на централния софтуер за управление и по този начин беше изключен от това изчисление на получените икономии.

Това изследване е проведено за 103 офиса в Университетския технологичен център Улудаг, при температурни изменения от ~ 30% през лятото и ~ 22% през зимата. Тъй като архитектурата, разработена в това проучване, използва съществуващата IP мрежа, нейното инсталиране е

завършено за кратко време и на ниска цена, като цялата система се изплаща за 2,7 месеца чрез осигурената икономия на електроенергия.

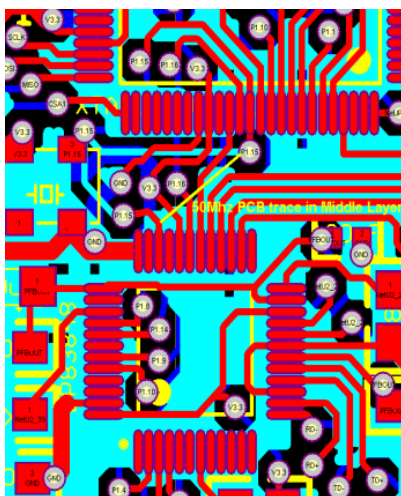
Резултати от EMC / LVD на IoT-PDU

В директивите за EMC / LVD за устройствата, базирани на концепцията за IoT имат няколко разлики в зависимост от това дали се захранват от мрежовото напрежение или от външно захранване. В това изследване за захранване се използва мрежата 220 VAC. В този случай изискванията за съответствие включват EN61000-4-2, EN61000-4-5, EN61000-4-6, EN61000-4-3, EN61000-4-4, EN CISPR 32 / CE, EN CISPR 32 / RE, EN61000-4 -11, EN61000-4-8, EN61000-3-3 и EN61000-3-2. Краткото им обяснение е дадено в Таблица 14.

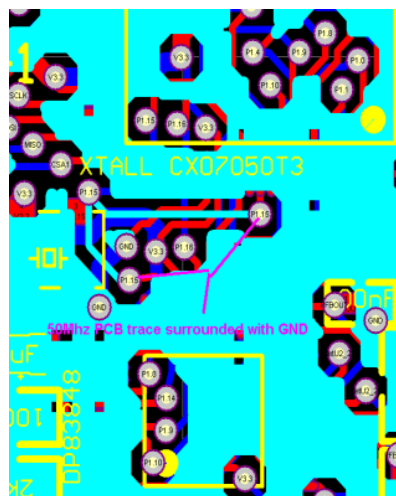
Таблица 14. Изисквания за EMC / LVD за PDU, базирано на IoT

EMC Tests	(TS / EN / IEC)
1 - Electrostatic Discharge Immunity Test	61000-4-2
2 - Surge Immunity Test	61000-4-5
3 - Immunity to Conducted Disturbances Induced by Radio Frequency fields	61000-4-6
4 - Radiated, Radio Frequency, Electromagnetic Field Immunity Test	61000-4-3
5 - Electrical Fast Transient / Burst Immunity Test	61000-4-4
6 - Conducted Emission	CISPR 32/ C.E.
7 - Radiated Emission	CISPR 32/ R.E.
8 - Voltage Dips, Short Interruptions and Voltage Variations Immunity tests	61000-4-11
9 - Power Frequency Magnetic Field	61000-4-8
10 - Voltage Variations and Flicker	61000-3-3
11 – Harmonics	61000-3-2

Процесорът, използван в това изследване, е LPC1769 (Фиг. 49), който работи с вътрешна честота от 100 MHz. Вътрешната PLL и вътрешната честота на процесора могат да бъдат настроени между 275 и 550 MHz. Освен това, Ethernet PHY DP83848C (Фиг. 50) също работи с външен осцилатор, който е с честота 50 MHz. EMC и LVD тестовете за прототипа, създаден в това изследване, бяха проведени от Международния център за изпитване и калибриране на ELDAŞ. Тестовете, изброени в Таблица 14, са преминали успешно. EMC / LVD докладът е приложен към дисертацията.



Фиг. 49. Трасировка на вътрешен слой

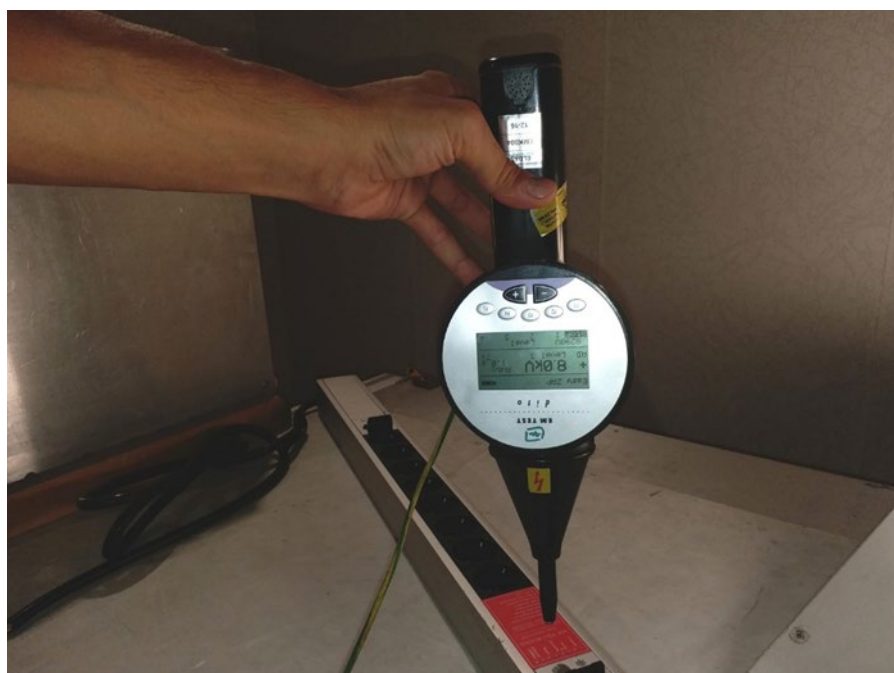


Фиг. 50. Трасировка на екран

При изпитанията за излъчени емисии хармоникът с честота 400 MHz от външния осцилатор на РНУ с честота 50 MHz беше над нормата. Това наложи печатната платка да бъде преработена и проектирана с четири слоя, и така този тест беше преминал успешно. На следващите фигури са показани снимки от изпитанията за електромагнитна съвместимост.



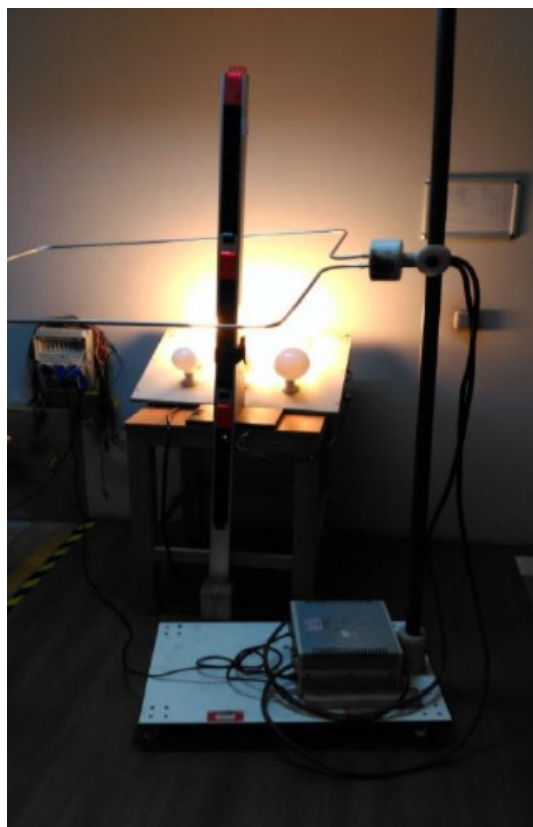
Фиг. 52. Изпитване за излъчени емисии



Фиг. 53. Изпитване на електростатичен разряд (ESD testing – 8 kV)



Фиг. 54. Изпитване на устойчивост на излъчвани смущения



Фиг. 55. Изпитване на устойчивост на мощни магнитни полета



Фиг. 56. Изпитване на устойчивост на хармоници и Фликер шум

НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ И ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

Научно-приложни приноси

1. Предложен и изследван е метод за анализ на профила на консумираната мощност и установяване на режим на готовност или нормален режим на консуматор.

2. Реализиран и изследван е облачен софтуер за събиране на информация и взимане на решения за управление на консумацията на енергия в офиси с цел реализирането на икономии.

Приложни приноси

1. Разгледани са и са сравнени възможностите на различни токови сензори и е изследвано експериментално тяхното действие при малки стойности на тока.

2. Изследвани са специализирана интегрална схема за измерване на енергия, методи за измерване на ток и тяхното приложение.

3. Проектирана е и е изследвана апаратната част на устройство за измерване и управление на консумираната електрическа енергия с мрежов интерфейс за дистанционен достъп.

4. Изследвани са програмните аспекти на измерването на енергия в реално време, точността и ограниченията на системата.

5. Изследвана е класификация на енергийния профил на устройствата с цел изключване в режим на готовност.

СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

- [1] B. Kul, M. Sen, and K. Kas, "IP based smart energy metering with energy saving," in *Proc. 2016 XXV International Scientific Conference Electronics (ET), 12-14 September, 2016, Sozopol, Bulgaria, Electronic ISBN: 978-1-5090-2883-2, DOI: 10.1109/ET.2016.7753493*
- [2] B. Kul, "IP-based smart sensors for energy metering and efficient HVAC infrastructure in buildings," in *Proc. 2017 15th International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA), 1-3 June, 2017, Sofia, Bulgaria, Electronic ISBN: 978-1-5090-6691-9, DOI: 10.1109/ELMA.2017.7955444*
- [3] B. Kul, "IoT-GSM-based high-efficiency LED street light control system (IoT-SLCS)," in *Proc. 2017 XXVI International Scientific Conference Electronics (ET), 13-15 September, 2017, Sozopol, Bulgaria, Electronic ISBN: 978-1-5386-1753-3, DOI: 10.1109/ET.2017.8124361*
- [4] B. Kul and M. Şen, "Energy saving IoT-based advanced load limiter," in *Proc. 2017 XXVI International Scientific Conference Electronics (ET), 13-15 September, 2017, Sozopol, Bulgaria, Electronic ISBN: 978-1-5386-1753-3, DOI: 10.1109/ET.2017.8124362*
- [5] M. Şen and B. Kul, "IoT-based wireless induction motor monitoring," in *Proc. 2017 XXVI International Scientific Conference Electronics (ET), 13-15 September, 2017, Sozopol, Bulgaria, Electronic ISBN: 978-1-5386-1753-3, DOI: 10.1109/ET.2017.8124386*
- [6] B. Kul, Y. Ulusoy, and R. Arslan, "Development of a specific electronic control system for an engine dynamometer," in *Proc. 2016 XXV International Scientific Conference Electronics (ET), 12-14 September, 2016, Sozopol, Bulgaria, Electronic ISBN: 978-1-5090-2883-2, DOI: 10.1109/ET.2016.7753492*
- [7] Y. Tekin, B. Kul, and R. Okursoy, "Sensing and 3D mapping of soil compaction", *Sensors* 2008, 8(5), 3447-3459;
<https://doi.org/10.3390/s8053447>
- [8] Y.Ulusoy, R.Arsan, A.Hilal Ulukardeşler, C.Kaplan, B.Kul, R.Arsan, "Investigation of Biogas Potential of Agricultural Organic Waste in Bursa and Use of Biogas as Fuel in Diesel Engines", *Uludag Univ.* 06-2015

SUMMARY
of Philosophy Doctoral Thesis:
**“Investigation and Development of Electronic Methods and Tools for Smart
Energy Metering with Extended Networking Capabilities”**
by Basri KUL, MSc, Eng

Energy cannot be managed well unless there is a way to identify the major users and then easily track the consumption patterns to identify potential reductions in energy per unit of production or per service performed. In the words of one old adage: "If you can't meter it, you can't manage it." Thus, a carefully constructed utilities metering/monitoring and trend analysis process is an essential first step toward effective energy control.

Metering/monitoring is a method used to obtain energy data; the trend analysis process is a method of converting data to useful information in the form of graphical and report outputs. Meters represent mature and familiar technologies used to obtain data. Trend analysis capabilities are now available in personal computer energy software products that include statistical analysis and graphing capabilities.

This study is focused on standby energy consumption and how to reduce it with smart metering and billing using networking capabilities. IoT-based hardware and software techniques have been successfully developed and applied, thus demonstrating how to reduce the energy consumption successfully.

The prototype which is a result of the investigation successfully passed EMC and LVD tests at ELDAŞ International Testing and Calibration Center.

The performance of the prototype has been verified by experimental exploitation at several institutions in Turkey - MNG Cargo Company, MediaMarkt, Yapı Kredi Bank, Technology Development branch at Uludağ University.

Keywords: Smart metering, IoT, phantom load, stand-by energy saving, Internet protocol-power distribution unit (IP-PDU), energy management via consumption cycle, IP-based smart sensors, smart energy, HVAC, VRF, smart metering.