

РЕЗЮМЕТА НА ТРУДОВЕТЕ СЛЕД ЗАЩИТА НА ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЯ

на гл. ас. д-р инж. **Валентина Василева Ранковска**

за участие в конкурс за заемане на академична длъжност „доцент“
в област на висше образование 5. Технически науки,
професионално направление 5.2 Електротехника, електроника и автоматика,
специалност „Елементи и устройства на автоматиката и изчислителната техника“,
обявен в Държавен вестник, бр. 47 от 24.06.2022 г.

Обобщените резюметата на трудовете, представени в настоящия документ, са систематизирани в следните тематични направления:

1. Проектиране на цифрови и микропроцесорни устройства и системи и иновативни технологии в инженерното образование

1.1. Етапи и средства за проектиране на цифрови и микропроцесорни устройства и системи и обучението по дисциплини, свързани с микроконтролери

1.2. Етапи и средства за проектиране на цифрови и микропроцесорни устройства и системи и обучението по дисциплини, включващи програмируема логика

2. Интелигентни системи за измерване и управление

2.1. Интелигентни системи за измерване, генериране и разпознаване на сигнали и за управление

2.2. Моделиране на индустриални обекти с цел управление

3. Приложение на големи данни в икономиката

1. ПРОЕКТИРАНЕ НА ЦИФРОВИ И МИКРОПРОЦЕСОРНИ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМИ И ИНОВАТИВНИ ТЕХНОЛОГИИ В ИНЖЕНЕРНОТО ОБРАЗОВАНИЕ

1.1. ЕТАПИ И СРЕДСТВА ЗА ПРОЕКТИРАНЕ НА ЦИФРОВИ И МИКРОПРОЦЕСОРНИ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМИ И ОБУЧЕНИЕТО ПО ДИСЦИПЛИНИ, СВЪРЗАНИ С МИКРОКОНТРОЛЕРИ

Към това тематично направление се отнасят следните публикации: [1], [2], [4], [5], [7], [9], [12], [13], [14], [28], [29], [30], [31], [32] (Приложение 6).

Обучението в областта на микропроцесорната схемотехника е съпътствано с проблеми, произтичащи от различни фактори, които най-общо се свеждат до абстрактната и усложняваща се архитектура на съвременните микроконтролери и тяхното програмно управление и нагласите и мисленето на настоящите и идващите поколения обучаеми, които се стремят към постигане на бързи и очевидни резултати. Същевременно при навлизането в микроконтролерите е много трудно да се оцени веднага крайното им приложение, а това допълнително намалява мотивацията на обучаемите. За решаване на тези проблеми се налага да се търсят нови подходи и методи на преподаване.

Обичайно в обучението по дисциплини, базирани на микроконтролери, се използват фирмени апаратни развойни средства, такива от отворен тип или потребителски развойни системи, базирани на микроконтролери на определен производител. Често се налага те да се допълват от разнообразни дъщерни платки, модули и др. В [14] е разработена система за проектиране на цифрови и микропроцесорни устройства на базата на микроконтролер PIC16F87х. Тя включва вътрешно-схемен емулатор на фирмата Microchip, който позволява режими на програмиране и апаратно-програмно тестване на проектираната микропроцесорна система, както и два допълнителни модула, съдържащи микропроцесорен, периферни и комуникационни блокове, които позволяват докомплектоването ѝ с потребителски дъщерни платки.

Друг подход в обучението е използването на развойни платки с минимум периферия – Arduino, Pinguino, Discovery и др., на базата на микроконтролери на различни производители. Тъй като във вградените системи често се прилагат типови периферни блокове, като индикации, бутони, клавиатури, различни видове моторчета и др., то за допълване на функционалните възможности на тези развойни средства е проектиран универсален демонстрационен модул, съдържащ подобни често използвани периферни блокове, при което се намалява обема лабораторно оборудване в дисциплините, свързани с микроконтролери от различен клас [1]. Като по-нататъшно развитие на проекта е разработена микропроцесорна развойна система, базирана на споменатия демо-модул [32]. Освен него, тя включва също входно-изходни и изпълнителни устройства, като матрична клавиатура, няколко типа маломощни електромоторчета, матрична светодиодна индикация. Тя успешно се прилага с развойни платки, базирани на среден клас микроконтролери и на такива с ARM ядро: Arduino Uno (AVR ядро), PIC32-PINGUINO OTG (PIC32 ядро) и Nucleo L476RGT (микроконтролер STM32L476RGT6 с ARM ядро).

Проектиран е микроконтролерен модул с минимум периферия, предназначен за приложение като ядро на микропроцесорни системи с разнообразно приложение [4]. Тъй като е реализиран със същия форм-фактор, като изброените по-горе микроконтролерни модули, той се прилага също и в системата, представена в [32]. Използван е микроконтролер PIC18F25K50 и съдържа всички задължителни компоненти, необходими за неговата работа: тактов генератор, бутон за ресет, рейка за вътрешно-схемено серийно програмиране, входно-изходни изводи на микроконтролера, изведени на разширителни рейки, комуникация с персонален компютър през USB порт.

През последните години е все по-разпространено приложението на хардуер и софтуер от отворен тип. Хардуерът от отворен тип обикновено е прост, евтин и достъпен и работи със софтуер с отворен код и/или безплатен такъв. В [9] се обосновава приложението му в различни курсове за студенти по електроника, автоматизация, компютърни науки, комуникации и др., свързани с проектиране на цифрови схеми, вградени системи, Интернет на нещата и т.н. Систематизирани са основни характеристики и ресурси на развойни платки от отворен тип, базирани на микроконтролери и такива на FPGA. Обичайно такива платки са малки по размер, без или с почти никаква периферия, което ги прави универсални, тъй като проектантът може да добавя такава в зависимост от изискванията на разработвания проект. В [12] е представен кратък литературен обзор върху изследователско и лабораторно оборудване, базирано на хардуер от отворен тип и предназначено за различни области на приложение, като електроника, психология, химия и биохимия и др. Засега приложението на хардуер и софтуер с отворен код за научни и изследователски цели е на ранно ниво. Причината е, че все още се смята, че евтиното лабораторно оборудване не е предпоставка за научни изследвания на високо ниво. В редица литературни източници се доказва обаче, че хардуерът с отворен код дава възможност за проектиране на евтино и напълно функционално лабораторно оборудване.

Развиват се все повече нови подходи и добри практики в преподаването и изучаването на вградени микропроцесорни системи. Обоснована е необходимостта от прилагане на проектно-базирано обучение (project-based learning - PBL) и подхода (Conceive-design-implement-operate - CDIO) [7], [28]. Разработени са редица проекти с различни функционални възможности, които позволяват усвояването на различни аспекти на функционирането на микроконтролерите и вградените системи – от такива с по-прости функции, като управление на светофарна уредба, макет за управление на постояннотоков електромотор, електронен бадж и др. до различни модели на интелигентен дом [5], [30]. Последните представляват сложни обекти, което позволява на студентите да изучават работата на отделни градивни блокове – да ги конфигурират, да включват и свързват допълнителни такива и т.н., да изучават механизмите за обслужване на различни събития в микропроцесорните системи, като прекъсванията и др. Разясняват се различните аспекти, които водят до затруднения при изучаването на прекъсванията, като задаване на приоритет, използване на стека, в зависимост от неговия вид и размер, начини за съхраняване на контекста и др. Проектите са базирани на хардуер от отворен тип, който е взаимозаменяем и включват също различни типове индикация, сензори и изпълнителни механизми, GSM комуникатор и др. Подходящи са също за изучаване на различни типове съвременни безжични интерфейси, като в [31] е направен сравнителен анализ на основните характеристики и параметри на разпространени безжични интерфейси: IrDA, Bluetooth, ZigBee, RFID и NFC, Z-Wave и WiFi. Представен е накратко принципа им на функциониране и топология на свързване. Анализирани са техните предимства и недостатъци, ограничения и потенциални области на приложение в контекста на архитектурата на една вградена система, както и на потенциалните ѝ приложения.

В [2] е представен кратък обзор върху уеб-базирани подходи за управление и мониторинг, прилагани във вградените микропроцесорни системи: чрез Wi-Fi интерфейс, Ethernet, GSM/GPRS. Предложен е гъвкав образователен модел за уеб-базиран мониторинг и управление, позволяващ изучаване на някои подходи за интернет свързаност – чрез Ethernet и Wi-Fi комуникация. Той включва микроконтролерна платка с добавени Ethernet шийлд и Wi-Fi модул, съответно за жична и безжична комуникация с Интернет, сензорни и изпълнителни устройства и бредборд платка. Демонстрира се управлението му чрез проста HTML програма като пример за интернет програмиране за вградени системи, както и с използване на облачната услуга ThingSpeak. Този подход позволява на студентите да се запознаят с областта на Интернет на нещата, без да навлизат дълбоко в интернет програмирането.

В [12] са представени други два проекта, предназначени за лабораторно оборудване, базирани на платформа Arduino: за наблюдение и контрол на температурата на околната среда и автоматична поливна система. И двата включват често използвани периферни устройства, като индикация, бутони, сензори, релета и изпълнителни механизми и т.н. и представляват завършени вградени системи с минимални функции, подходящи за учебния процес.

Съществуването на Интернет и развитието на компютърната, мултимедийната техника и мобилните устройства промениха мисленето, нагласите, начините за възприемане, обработване и приложение на необходимата информация от страна на студентите. Развиват се виртуални Интернет среди и приложения и по-конкретно иновативните облачни технологии, които разширяват възможностите за електронно обучение и могат успешно да се използват за ангажиране на вниманието на обучаемите и повишаване на ефективността на обучението. В [29] се систематизират основни характеристики на платформите за облачни изчисления, прави се кратък литературен обзор върху полезни практики в различни университети и се представят примерни приложения.

Възможностите за самообучение и оценяване на знанията са важни моменти от цялостния образователен процес. Един вариант на автоматизирана програмна обучаваща и тестова система е предложен в [13]. Тя има два режима на работа – авторски и потребителски.

Теоретичният и тестовият материал могат да съдържат текст, формули, изображения с различен формат. Поддържа се съхраняване на статистическа информация при тестване на обучаемите.

1.2. ЕТАПИ И СРЕДСТВА ЗА ПРОЕКТИРАНЕ НА ЦИФРОВИ И МИКРОПРОЦЕСОРНИ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМИ И ОБУЧЕНИЕТО ПО ДИСЦИПЛИНИ, ВКЛЮЧВАЩИ ПРОГРАМИРУЕМА ЛОГИКА

Към това тематично направление се отнасят следните публикации: [8], [22], [23], [24], [25], [27] (Приложение 6).

Възникването и бързото развитие на програмируемите логически устройства (ПЛУ) се оказва важна предпоставка за използване на новата елементна база при реализация на вградени микропроцесорни системи. За това способстват редица нейни предимства в сравнение с традиционната. Непрекъснатото повишаване на логическия капацитет и производителността, увеличаването на набора от вградени функционални блокове, като апаратни умножители, високо-скоростни интерфейси, блокове за цифрова обработка на сигнали и др., дават възможност в една интегрална схема да се реализира голям обем от цифровата част на дадено устройство или система.

В [22] е отразено съвременното състояние на развитието на един клас от тази перспективна елементна база, каквито са ПЛУ с FPGA архитектура. Представени са характеристиките, ресурсите и възможностите на най-новите FPGA схеми на двете водещи фирми-производители – Xilinx (AMD) и Altera (Intel). Систематизирани са основни техни предимства пред традиционната елементна база. Разгледана е съвременната технология за проектиране на тяхна база, като е отделено особено място на симулацията на проекта като важен етап при неговата верификация, гарантиращ до голяма степен работоспособността на последващата практическа реализация.

Наред с възможностите за реализация на разнообразни цифрови схеми, FPGA схемите са мощно средство за реализация също на микропроцесорни системи с почти произволна сложност и предназначение, като това важи особено за микропроцесорни устройства и системи, съдържащи голям обем цифрова апаратна част или при необходимост от множество периферни блокове, някои от които липсват при класическите микроконтролери. Освен гореспоменатите вградени функционални блокове, проектантът разполага също с голямо разнообразие от апаратни и програмни микропроцесорни ядра: от нисък клас с общо предназначение (8-, 16-, 32-, 64-битови) до ARM-базирани ядра и процесори за цифрова обработка на сигнали. В [23] е направена класификация на различните видове микропроцесорни ядра и са обобщени основните характеристики и функционални възможности на софтуерни микропроцесорни ядра на водещи производители. Систематизирани са основни съображения и етапи при проектиране на софтуерни микропроцесорни ядра за сложни ПЛУ. Направен е сравнителен анализ на функционалните възможности, характеристики и параметри на съвременни FPGA-базирани микропроцесорни системи в чип с апаратни процесорни ядра, с цел приложението им в учебния процес и изследователска дейност. Най-важните им предимства са тяхната по-голяма компактност и бързодействие, както и наличните апаратни и програмни средства за развитие [27].

Придобиването на необходимите навици и умения от страна на студентите, свързани с проектирането и приложението на микропроцесорни системи на базата на FPGA, е сложен и труден процес. Във връзка с това е предложена методика за изучаване на проектирането на МП ядра и системи с елементарни функции за учебни и научно-изследователски цели [25]. Систематизирани са необходимите знания, навици и умения, които трябва предварително да

притежават студентите и които са свързани с: елементната база и базови схемни решения на цифровата схемотехника; архитектура и принципи на функциониране на хипотетичен микропроцесор, микроконтролер, вградена система; архитектура, градивни блокове и принципи на функциониране на конвенционални микроконтролери с общо предназначение; програмиране на асемблерен език и езици от високо ниво.

Тази последователност последователност включва най-общо следните етапи с нарастваща сложност [25]:

- *Използване на програмен модул SOPC Builder на програмен продукт Quartus II Web Edition за генерирането на микропроцесорна система с готови библиотечни компоненти.*

За целта е проектирана микропроцесорна система с елементарни функции за учебни цели чрез програмния модул SOPC Builder на интегрираната среда за проектиране Quartus II и програмното микропроцесорно ядро Nios II [24]. Тестването на системата се прави с развойната система DE2-70 на фирмата Terasic Technologies.

- *Проектиране на процесорно ядро с минимален набор операции и периферия чрез моделиране с език VHDL.*

- *Анализ и изследване на възможностите на готово микропроцесорно ядро с проста архитектура* – етап, представляващ изключително сложен процес, поради което може да се прилага в дейности, като извънаудиторна самостоятелна работа или работа в екип към края на курса на обучение, практики, курсово и дипломно проектиране. За целта е удобно да се използва софтуерно ядро с отворен код и сравнително прости функции.

Друго важно приложение на ПЛУ в учебния процес, свързан с микропроцесорната схемотехника, е възможността FPGA схеми да бъдат използвани за демонстриране и изучаване на важни аспекти от функционирането на микроконтролерите, каквито например са механизмите за обслужване на прекъсванията на процесора. Предлага се методика с апаратна емуляция на логическата схема за обслужване на прекъсванията на изучаван микроконтролер (PIC18) в програмируема логическа среда [8]. Синтезирана е логическата схема за обслужване на прекъсванията на микроконтролери PIC18, предназначена за емуляция в FPGA схема Cyclone II на Intel. Направена е симулация на работата ѝ в програмна среда Quartus II. За практическата емуляция се използва развойна система DE2-70, която съдържа подходяща периферия за подаване на входни сигнали за прекъсвания и изобразяване на изходните реакции. Проектът дава възможност на студентите да тестват различни ситуации със задаване или забрана на приоритет, забрана и разрешаване на прекъсвания и др.

2. ИНТЕЛИГЕНТНИ СИСТЕМИ ЗА ИЗМЕРВАНЕ И УПРАВЛЕНИЕ

2.1. ИНТЕЛИГЕНТНИ СИСТЕМИ ЗА ИЗМЕРВАНЕ, ГЕНЕРИРАНЕ И РАЗПОЗНАВАНЕ НА СИГНАЛИ И ЗА УПРАВЛЕНИЕ

Към това тематично направление се отнасят следните публикации: [3], [6], [10], [16], [17], [20], [21], [26] (Приложение б).

Интелигентните методи за управление на различни обекти, събиране и обработка на информация, измерване на различни величини, комуникационни технологии и др., базирани на вградени микропроцесорни системи и програмируема логика, се прилагат в почти всички области на съвременния живот: в индустрията и бита, съвременните автомобили, медицинско и офис оборудване, сградна автоматизация и много други. Публикациите от тази тематична група са свързани с решаването на няколко конкретни проблема:

Измерването на площ в различните области на индустрията се извършва по различни методи. Например при производството на кожи, различната форма, дебелина и цвят на кожата представляват предизвикателство за решаването на тази задача. Едно вече внедрено вариантно решение включва използването на USB камера. За него в [3] е разработен нов софтуер, коригиращ някои от недостатъците на предходната версия: 1) извършва автоматично разпознаване на цветовете на зелен фон и позволява автоматична корекция на фона и 2) вече има възможност да се измерват кожи с произволна форма.

Друг решаван проблем в областта на индустрията касае прилагането на метод за синхронизация чрез мониторинг на скоростта на етикетирална машина за автоматично поставяне на етикети върху стъклен буркан [6]. Разработеният модул е на базата на FPGA Spartan 6 на фирмата Xilinx (понастоящем AMD) и VHDL програма и е адаптиран да работи като PLC. Софтуерът се базира на метод за проследяване на движението, който има своите предимства пред използването на цифров сигнален процесор: възможности за значително по-висока сложност на дизайна на системата, висока изчислителна мощност, икономично изпълнение на сложни схеми, характеризирани се с паралелна работа, ниска консумация на енергия и малка заета площ в чипа.

Двете разработки са внедрени в промишлеността (Приложение 12).

В редица практически случаи се налага измерване на активната мощност, консумирана в променливотокови вериги с товар, който има чисто активен характер или приблизително може да се счита за такъв. С развитието на оптоелектрониката се създадоха фототранзисторни и фотодиодни оптрони, които могат да работят в широк честотен диапазон, и могат успешно да се използват като основни градивни преобразователни елементи при проектиране и изработване на високочестотни измерватели на мощност. На базата на такива в [16] е разработен измервател на активна мощност и графо-аналитична методика за оразмеряването му. Схемното решение и методиката лесно могат да бъдат използвани за разширяване на функционалните възможности и за измерване на консумирана електрическа енергия. Представено е вариантно решение на WEB-базиран цифров електромер, влизащ в състава на централизирана информационна система, която използва като преносна среда Интернет [17]. Схемното решение на цифрово измервателно устройство на еднофазна активна енергия и моментна мощност се базира на специализираната интегрална схема ADE7757 на фирмата Analog Devices. Като управляващо устройство се използва 8-битов микроконтролер PIC16F876, а за комуникация с Интернет - мрежов интерфейс контролер RTL8019A5 на фирма RealTek.

Интелигентното управление на различни обекти е свързано с генерирането на сигнали с различни характеристики и параметри. Един съвременен метод за генериране на сигнали с произволна форма е методът за директен цифров синтез. Той има редица предимства пред други аналогови и цифрови методи, като: висока разделителна способност по честота и фаза; възможност за изключително бърз преход към друга честота с непрекъсваема фаза; много малка стъпка за пренастройка на честотата; цифровата реализация предполага лесно осъществяване на микропроцесорно управление. Тези предимства определят нарастващото му приложение при реализация на функционални генератори, различни видове модуляции в комуникациите и др. [20]. Един от вариантите за задаване на формата на сигнала при DDS метода е с таблично описание на формата му. По този метод е проектиран и реализиран синтезатор на синусоидален сигнал в FPGA схема EP1C6Q240C8 на Altera [20]. Друг метод за цифров синтез на синусоидални сигнали е методът CORDIC (вариант на DDS), който от своя страна има различни реализации. Един такъв вариант е методът с векторна ротация и прекодиране на ъглите [21]. Изяснена е разликата между него и алгоритъма CORDIC и е разработена методика за проектиране на DDS синтезатор на синусоидален/ косинусоидален сигнал на негова база и с използване на ПЛУ с FPGA архитектура.

Възникването и развитието на програмируемата логика дават възможност също за реализацията на иновативни подходи за проектиране на високоефективни управляващи устройства в системите за електрозадвижвания [26]. Систематизирани са основните функции, изпълнявани от управлението на електромеханична система със затворен цикъл на работа, като: пускане, спиране и реверсиране посоката на въртене; поддържане на зададени стойности на координатите; блокировки, изключващи възникването на аварийни и аномални режими и др. Обосновани са недостатъците на традиционно използваните до момента управляващи устройства, като микроконтролери и DSP, които не им позволяват постигане на оптимума при проектиране на високоефективни такива, като: невъзможност за паралелна обработка на информацията, което не позволява реализиране на алгоритми с предсказване; в сложни системи, работещи в режим на реално време е затруднена обработката на прекъсванията, което може да доведе до намаляване на надеждността; ограничен обем ресурси, което затруднява реализацията на сложни системи; за повечето ресурси на микроконтролера има само една тактова честота; липса на диференциални входове и изходи, което води до ниска шумоустойчивост и др.

В [10] е разработен подход за спектрален анализ и разпознаване на гласови профили чрез техники на базата на машинно обучение и изкуствен интелект. За процедурите за обработка на глас е приложен алгоритъмът за бързо преобразуване на Фурие. Извличането на спектрални характеристики се използва за предварителна обработка на набори за обучение относно моделите за класификация на k -най-близки съседи (k -NN) и предаващи невронни мрежи (FFNN) за персонална идентичност на индивида относно целевата група от хора. Синтезирани са висококачествени k -NN и FFNN модели по отношение на персонална гласова идентификация с постигнато ниво на точност 97,68 % и 100,0 %.

2.2. МОДЕЛИРАНЕ НА ИНДУСТРИАЛНИ ОБЕКТИ С ЦЕЛ УПРАВЛЕНИЕ

Към тази група се отнасят следните публикации: [15], [18], [19] (Приложение 6).

Извършено е математическо моделиране на индустриални обекти, в частност инверторни устройства, с цел на следващ етап проектиране и реализация на микропроцесорни системи за интелигентното им управление. Построени са модели на различни типове инвертори във фазовото пространство: асиметричен инвертор [15], инвертор с транслиране на енергията през магнитна връзка [18], сериен инвертор [19]. Определени са основните елементи на моделите, техните връзки със схемните параметри на инверторите и общият вид на фазовите модели. Моделирани са функционалните резултати във фазовото пространство.

3. ПРИЛОЖЕНИЕ НА ГОЛЕМИ ДАННИ В ИКОНОМИКАТА

С тази тематика е публикация [11] (Приложение 6), която е направена във връзка с участието на автора в проект BG05M2OP001-1.002-0002-C01 „Дигитализация на икономиката в среда на големи данни“.

През последните години предизвикателствата пред бизнеса и научната общност, свързани с неимоверното увеличаване на обема от данни и необходимостта от тяхната обработка и използване водят до въвеждане на нови технологиите и платформи.

Създаден е ИКТ (информационни и комуникационни технологии) прототип на система за анализ на големи данни, базирана на техники за извличане на данни, платформа за информационна инфраструктура Hadoop за разпределено събиране на данни и аналитична среда MATLAB. Представени са получените резултати от тестови дейности, свързани с някои системни модули за клъстерен анализ, разпознаване и класифициране на задачи за дефинирани

икономически цели и процеси. Приложени са подходи, базирани на групиране на k-средни стойности, линеен и квадратичен дискриминантен анализ, техники за повторно заместване и кръстосано валидиране, FeedForward Neural Networks (FFNN) с обучителен алгоритъм за скалиран конюгатен градиент. В процеса на изложените процедури са синтезирани модели с наблюдавани високи качествени показатели.

Габрово
19.09.2022 г.

Подпис:
/гл. ас. д-р инж. Валентина В. Ранковска/