



**ПЛОВДИВСКИ УНИВЕРСИТЕТ
ПАИСИЙ ХИЛЕНДАРСКИ**



**ФИЗИКО-
ТЕХНОЛОГИЧЕН
ФАКУЛТЕТ**

РЕКТОРАТ:

ул. „Цар Асен“ 24, 4000 Пловдив, България
тел.: +359 32 261 261
email: rector@uni-plovdiv.bg
www.uni-plovdiv.bg

ДЕКАНАТ:

ул. „Цар Асен“ 24, 4000 Пловдив, България
тел.: +359 32 261 335
email: info.ftf@uni-plovdiv.bg
<https://ftf.uni-plovdiv.bg/>

КАТЕДРА: „ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА И КОМУНИКАЦИИ“

маг. инж. Ангел Христов Чекичев

**„ДИСТАНЦИОННА ЛАБОРАТОРИЯ ПО ЕЛЕКТРОННО
ИЗМЕРВАТЕЛНА ТЕХНИКА“**

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертация за придобиване на образователна и научна степен
„ДОКТОР“

Област на висше образование:

5. Технически науки

Професионално направление:

5.2. Електротехника, електроника и автоматика

Докторска програма:

„Електронизация (по отрасли и групи научни специалности)“

Научен ръководител:

проф. д-р инж. Румен Костадинов Попов

Пловдив, 2026 година

Дисертационният труд е с обем 232 страници, включително 142 фигури, 6 таблици, оформени в увод, 5 глави, общи изводи, научно-приложни и приложни приноси, списък с използваните обозначения и съкращения, списък с публикации на автора. Списъкът на цитираната литература включва 126 заглавия.

Означенията на формулите, фигурите и таблиците в автореферата съвпадат с тези в дисертационния труд на заседание на научно жури.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита на заседание на разширения катедрен съвет на катедра „ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА И КОМУНИКАЦИИ“ при ПЛОВДИВСКИ УНИВЕРСИТЕТ „ПАИСИЙ ХИЛЕНДАРСКИ“ на 30.06.2026 г., Протокол № 86.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 05.10.2026г. от 11.00 ч., ет. 4, ул. „Костаки Пеев“ 21, гр. Пловдив

Материалите по защитата на докторанта са на разположение на интересувашите се в канцеларията на Физико-технологичния факултет при ПЛОВДИВСКИ УНИВЕРСИТЕТ „ПАИСИЙ ХИЛЕНДАРСКИ“, стая 213.

Научно жури: проф. д-р инж. Надежда Митева Кафадарова
доц. д-р инж. Сотир Иванов Сотиров
доц. д-р инж. Борислав Христов Миленков
доц. д-р инж. Владимира Кръстева Ганчовска
доц. д-р инж. Севил Аптула Ахмед-Шиева

Автор: маг. инж. Ангел Христов Чекичев
Заглавие: „**ДИСТАНЦИОННА ЛАБОРАТОРИЯ ПО
ЕЛЕКТРОННО ИЗМЕРВАТЕЛНА ТЕХНИКА**“

Тираж: 30 бр.

ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

Бързото развитие на информационните и комуникационните технологии и нарастващата необходимост от гъвкави форми на обучение поставят дистанционното образование и виртуалните лаборатории като ключов елемент в съвременното инженерно обучение. Това е особено значимо при дисциплина като „Електронно измервателна техника“, където практическите умения представляват основен компонент от професионалната подготовка на обучаваните. Ограниченията, свързани с достъпа до специализирано лабораторно оборудване, високата му стойност и необходимостта от постоянна поддръжка, затрудняват ефективното провеждане на традиционни лабораторни занятия и налагат разработването на алтернативни технологични решения.

Виртуалните лаборатории предоставят възможност за провеждане на експерименти в реално време, независимо от местоположението на обучаемите, като осигуряват безопасна, достъпна и икономически ефективна среда за практическо обучение. Въпреки наличието на различни разработки в тази област, внедряването на подобни системи в инженерните специалности остава ограничено, което подчертава необходимостта от създаване на ефективни модели за дистанционни лабораторни среди, съобразени със спецификата на техническите дисциплини.

Актуалността на дисертационния труд произтича от необходимостта за повишаване качеството на обучение по дисциплини с изразена практическа насоченост и от потребността да се осигури равнопоставен достъп до лабораторни ресурси. Традиционните лабораторни занятия са свързани с редица предизвикателства – ограничен брой работни места, фиксирани времеви рамки, високи разходи за оборудване и невъзможност за индивидуална работа извън учебния график. Съвременните информационни технологии създават предпоставки за преодоляване на тези ограничения чрез изграждане на виртуални лабораторни среди, които разширяват възможностите на класическото обучение и позволяват интегриране на дистанционни форми на практическа подготовка.

Настоящият дисертационен труд е насочен към разработване и изследване на виртуална лаборатория по „Електронно измервателна техника“, която да осигури функционална, достъпна и технологично устойчива среда за провеждане на лабораторни упражнения. Разработката цели да подпомогне модернизацията на инженерното образование, да повиши ефективността на учебния процес и да съдейства за подготовката на висококвалифицирани специалисти, способни да работят в условията на съвременната дигитална инженерна практика.

Обект и предмет на изследването:

Обект на настоящото изследване са лабораторни макети, позволяващи реализиране на дистанционен достъп в реално време до среда за симулации и експериментални изследвания на различни електронни устройства: филтър на Чебишев и Бътъруърд, лентов филтър, върхов детектор.

Предмет на изследванията е сравнителен анализ на теоретичните,

симулационните и експериментални резултати, получени при различни измервателни схеми.

Цел на дисертационния труд:

Цел на изследването е проектиране, реализиране и тестване на средства и методи за дистанционно провеждане на лабораторни упражнения по дисциплината „Електронно измервателна техника“.

Задачи за постигане на целта:

1. Извършване на обзор на системите и средствата за изграждане на виртуална лаборатория.
2. Анализ на използването на различни програмни среди, позволяващи изграждането на дистанционни и виртуални лаборатории.
3. Създаване на методика на изследванията на различни типове устройства.
4. Проектиране на хардуера на дистанционната лаборатория.
5. Създаване на симулационни модели на устройствата.
6. Проектиране на софтуера, позволяващ отдалечен достъп до виртуалната и дистанционна лаборатории.
7. Създаване на лабораторни упражнения и тестване на системата.

Използвани методи и средства на изследване:

В дисертацията са приложени теоретични, аналитични, симулационни и експериментални методи за изследване на полиномен филтър на Бътъруърд, филтър на Чебишев, лентов филтър и върхов детектор. Използвани са съвременни средства и програмни среди за моделиране, симулация и разработване на виртуални измервателни инструменти.

Внедряване и практическа приложимост

Създадената система предоставя надеждна среда за дистанционно обучение и изследвания, оптимизира лабораторната дейност, редуцира разходите и гарантира равнопоставен достъп до реални експерименти, измервателни ресурси и емпирични данни.

Публикации по темата

Резултатите от дисертационния труд са публикувани в 5 научни статии: 3 в сборници на международната конференция ICERI 2021 и 2022, 2 в научни трудове на СУБ-Смолян 2024. Три от представените публикации са реализирани в съавторство с научния ръководител, а две са разработени като самостоятелен автор.

Обем и структура на дисертационния труд

Дисертационният труд е с обем 232 страници, включително 142 фигури, 6 таблици, оформени в увод, 5 глави, общи изводи, научно-приложни и приложни приноси, списък с използваните съкращения и обозначения, списък с публикациите на автора. Списъкът на цитираната литература включва 126 заглавия.

СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ГЛАВА 1. ОБЗОР НА СИСТЕМИТЕ И СРЕДСТВАТА ЗА ИЗГРАЖДАНЕ НА ВИРТУАЛНИ ЛАБОРАТОРИИ

Първа глава представя цялостен анализ на концепциите и технологиите, свързани с дистанционните и виртуални лаборатории, които се утвърждават като ключов инструмент за модернизирание на съвременното инженерно образование. На тази основа е аргументирана необходимостта от изграждане на дистанционна лаборатория по дисциплината „Електронно измервателна техника“ във Физико-технологичния факултет на Пловдивския университет, тъй като съществуващата инфраструктура не осигурява достатъчно възможности за практическо обучение.

Анализът на традиционните лаборатории показва редица ограничения – високи разходи, ограничен достъп и недостиг на ресурси, които затрудняват ефективното усвояване на практически умения. В този контекст дистанционните и виртуалните лаборатории се открояват като решение, разширяващо достъпността и провеждане на симулации на сложни измервателни процеси.

Подчертана е значимостта на електронно измервателната техника в съвременната индустрия, където високата точност и надеждност са критични за технологичните процеси. Поради това обучението в тази област изисква модерна, технологично обезпечена среда, която да поддържа развитието на практически компетенции. Дистанционната лаборатория предлага именно такава среда – мащабируема, икономически ефективна и лесно интегрируема в учебния процес. Тя позволява на студентите да проектират, настройват и анализират измервателни системи в контролирана дигитална среда, включително да изследват сценарии, които трудно се реализират в реални условия. Този подход стимулира аналитичното мислене, креативността и способността за решаване на инженерни задачи. Разгледана е и международната перспектива, като виртуалните лаборатории се посочват като средство за сътрудничество и обмен на знания между различни академични общности. Подобряването на качеството на обучение и създаването на условия за научноизследователска дейност са сред ключовите ползи от подобна инфраструктура.

В заключение е подчертано, че изграждането на дистанционна лаборатория представлява стратегическа стъпка към устойчиво развитие на инженерното образование и подготовка на специалисти, способни да отговорят на изискванията на съвременната технологична среда.

ГЛАВА 2. МЕТОДИКА НА ИЗСЛЕДВАНИЯТА

В настоящата глава е разгледана методиката за разработка, внедряване и оценяване на дистанционна лаборатория като иновативен инструмент за обучение по дисциплината „Електронно измервателна техника“. Фокусът е поставен върху създаването на интегрирана образователна среда, комбинираща симулационни технологии, дистанционен достъп и интерактивни функционалности с цел повишаване ефективността и достъпността на обучението.

ИЗВОДИ ОТ ГЛАВА 2

Анализирани са характеристиките и особеностите на активните филтри в контекста на дистанционните измервания – включително тяхната способност за подтискане на шумове, прецизна селективност и възможност за настройка на параметрите.

Разгледани са в детайли принципите на синтез на активни филтри, като се акцентира върху предавателната функция, полиномните апроксимации (в частност на Бътъруърд), и алгоритмите за избор на реда на филтъра въз основа на зададени честотни изисквания. Демонстрирано е как се определят параметрите на филтрите чрез математически зависимости, използващи логаритмични и нормализирани изчисления, с цел постигане на зададените характеристики и затихване.

Направен е анализ на конкретни схеми на активни филтри от първи и втори ред, като са разгледани тяхната структура, честотна характеристика и усилвателни свойства.

Разработена е методика за изчисляване на филтри на Бътъруърд и Чебишев, лентов филтър и нискочестотен полиномен филтър на Бътъруърд. Посочени са конструктивни съображения, свързани с минимизиране на отклоненията и избор на подходящи операционни усилватели.

Разгледани са особеностите и характеристиките на върхови детектори, техния принцип на работа и приложимост.

В заключение, разработената методика за изграждане на дистанционна лабораторна среда, подкрепена с аналитичен и практико-приложен подход, демонстрира висок потенциал за повишаване на качеството на инженерното обучение. Съчетанието между теоретична строгост и технологична иновативност предоставя устойчива основа за интегриране на съвременни образователни практики в университетската среда, като същевременно осигурява персонализиран достъп, гъвкавост и ефективност в обучението по дисциплината „Електронно измервателна техника“.

ГЛАВА 3. ПРОЕКТИРАНЕ НА ДИСТАНЦИОННА ЛАБОРАТОРИЯ

Глава трета от дисертационния труд е свързана с проектирането на дистанционната лаборатория, в която се моделират и анализират основните аналогови модули като филтри на Чебишев и Бътъруърд, лентов филтър и върхов детектор.

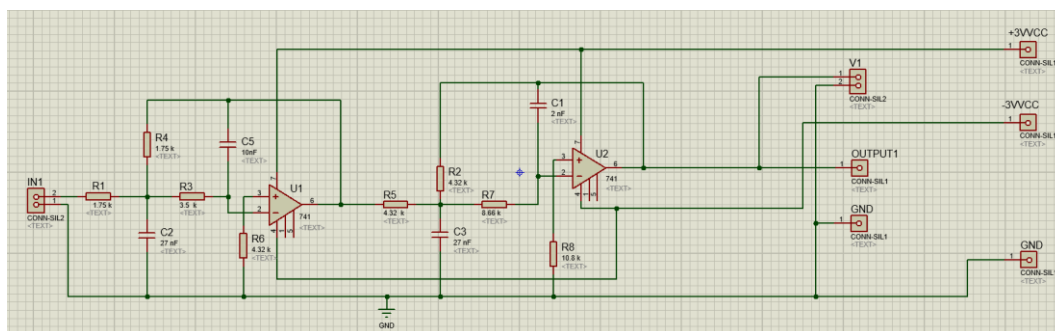
Процесът на проектиране се осъществява в тясна връзка между три софтуерно-хардуерни компоненти: симулация в развойна среда Multisim, разработване на виртуален инструмент в софтуера LabVIEW и експериментална верификация. Тази тристепенна проверка гарантира както съответствие между симулирания реален отклик на системата, така и функционална съвместимост между виртуална и физическа среда. LabVIEW се използва не само като интерфейс, а като активен компонент за извършване на анализ, визуализация и контрол на параметрите в реално време. Възможностите на изброените софтуерно-хардуерни компоненти превръщат виртуалната и дистанционна

лаборатории от заместител на физическата в платформа за експериментална работа, при която теорията и практиката съществуват в непрекъснат диалог.

3.1 Проектиране на тестваните хардуерни модули

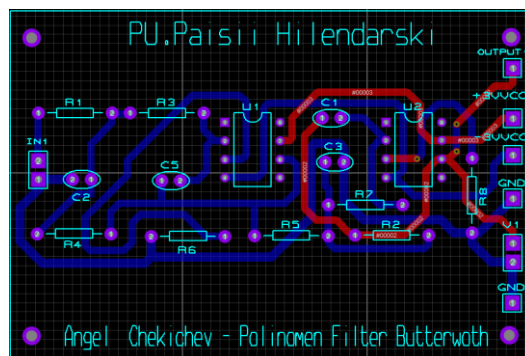
Проектирането на тестваните хардуерни модули е съществена стъпка в процеса на разработване на дистанционна лаборатория, тъй като осигурява необходимата основа за симулационен и експериментален анализ.

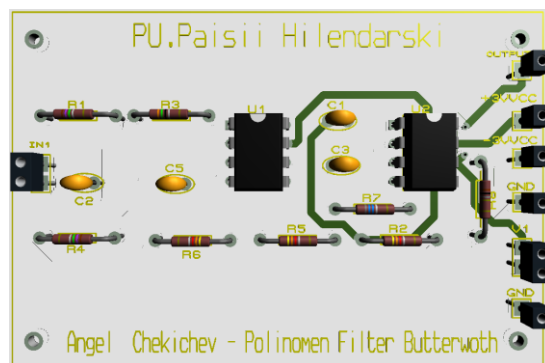
В настоящата част е представен процесът по проектиране и реализиране на печатната платка на полиномния нискочестотен филтър на Бътъруърд от втори ред, изхождайки от горе-изложените изчисления. На фиг. 3.1 е показана принципната електрическа схема на филтъра, която служи като основа за последващото разработване на топологията на печатната платка.



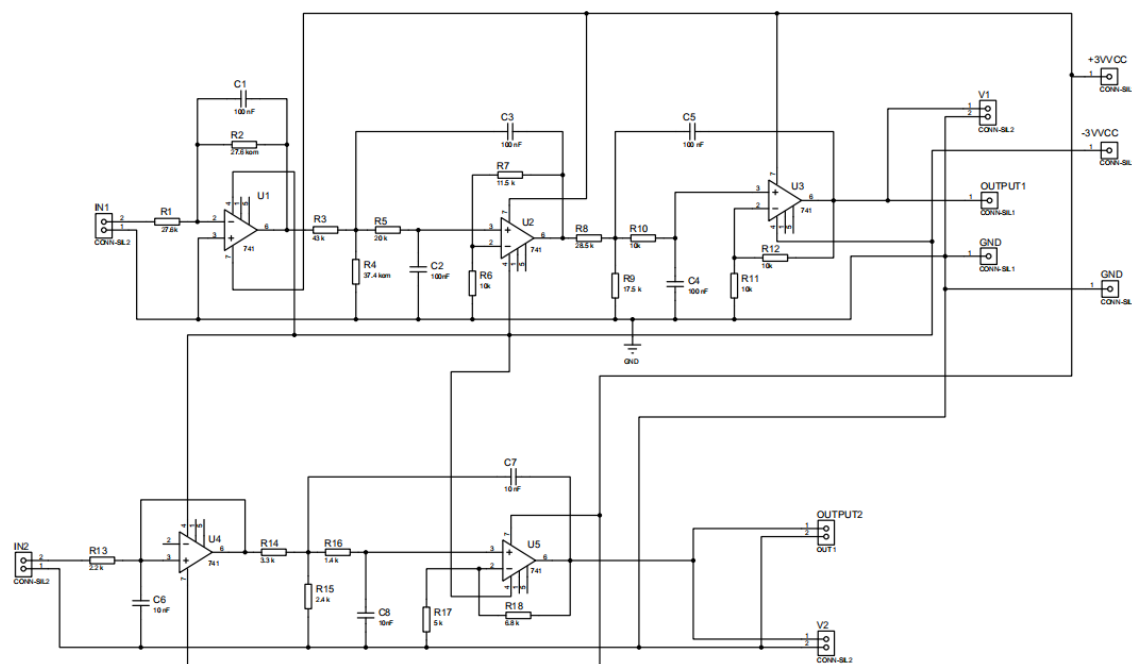
Фигура 3.1. Принципна схема на полиномен нискочестотен филтър на Бътъруърд от втори ред

На следващата фигура е представена топологията на разположение на проводящите писти на филтъра, онагледяваща начина на структуриране на електрическите връзки върху печатната платка.

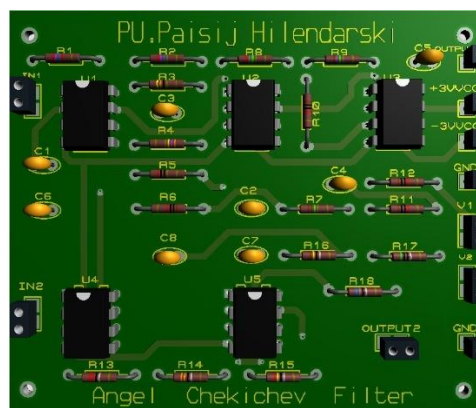
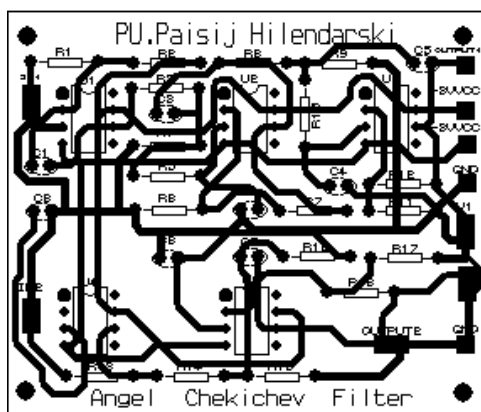




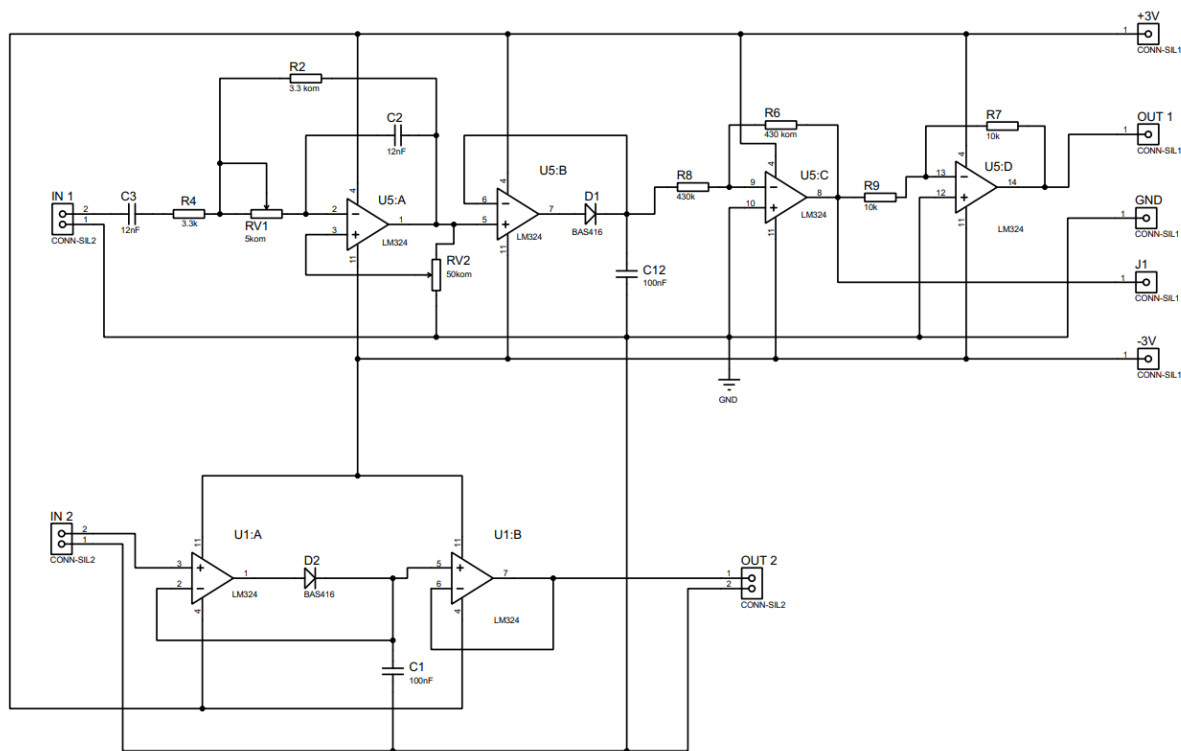
Фигура 3.3. Физическа реализация на полиномния нискофототен филтър на Бътървурд от втори ред



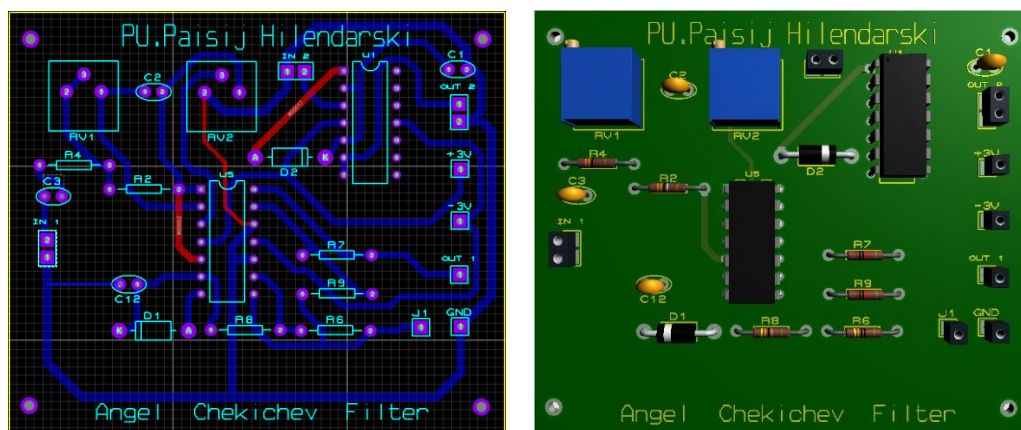
Фигура 3.6. Филтър на Чебишев от трети и пети ред



Фигура 3.7. Топология на печатната платка и физическа реализация на филтър на Чебишев от трети и пети ред

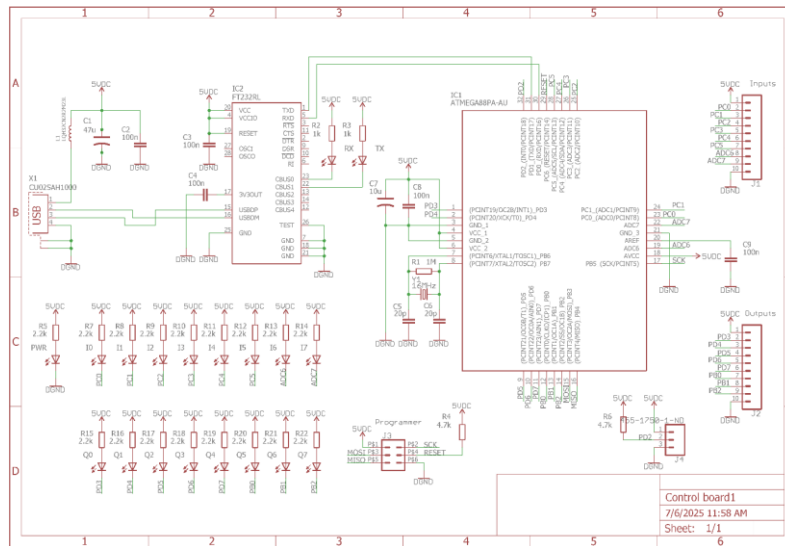


Фигура 3.8. Лентов филтър и върхов детектор

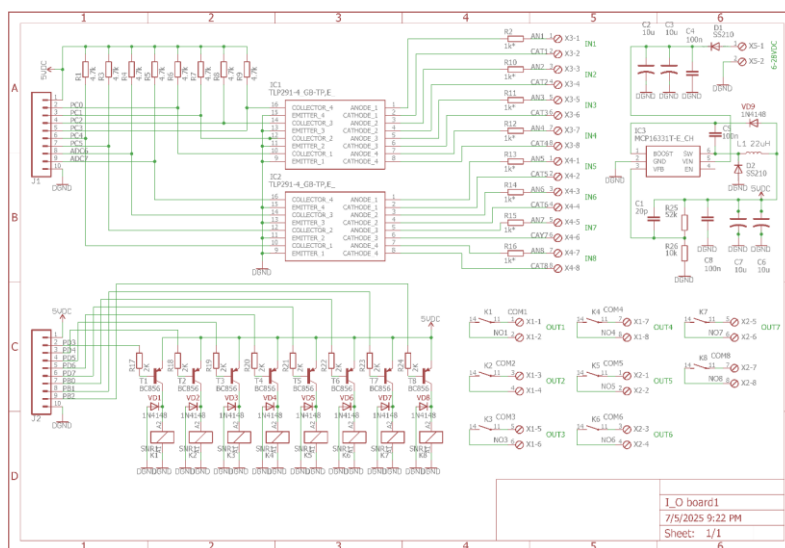


Фигура 3.9. Топология на печатната платка и физическа реализация на лентовия филтър и върхов детектор

Следващите няколко фигури илюстрират блока за управление, реализиран чрез програмируемо логическо устройство, с което се извършва координацията при избор на съответния канал, обработката на входно-изходните сигнали, управлението на изпълнителните елементи в системата, за да се осигури коректно и надеждно функциониране на проектираната система.

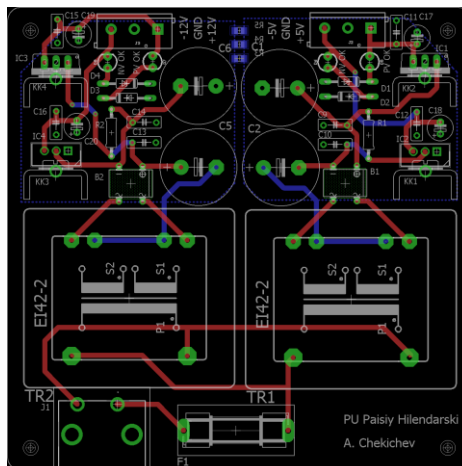


Фигура 3.10. Принципна схема на блока за управление



Фигура 3.11. Принципна схема на входовете и изходите за управление на сигналите

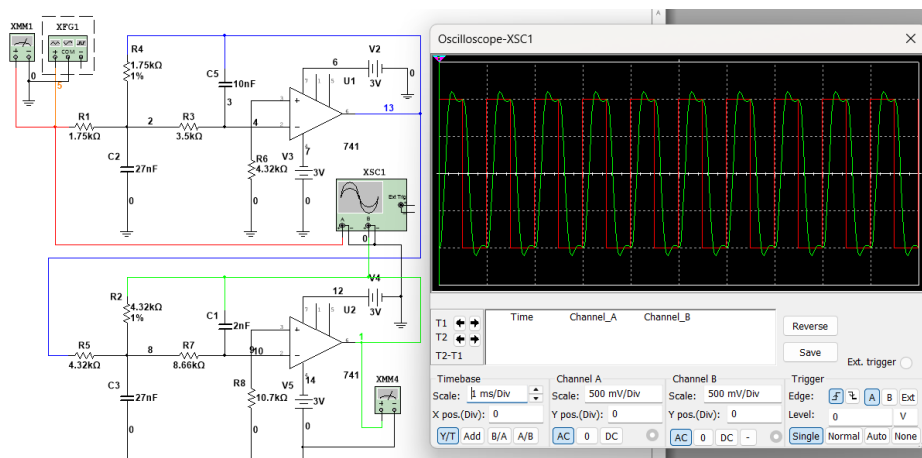
Захранващият блок (фиг. 3.13) е реализиран като линейно стабилизирано захранване с няколко независими изходни напрежения. Основната му задача е да преобразува променливото мрежово напрежение в стабилизирани постоянни напрежения, подходящи за захранване на електронни устройства.



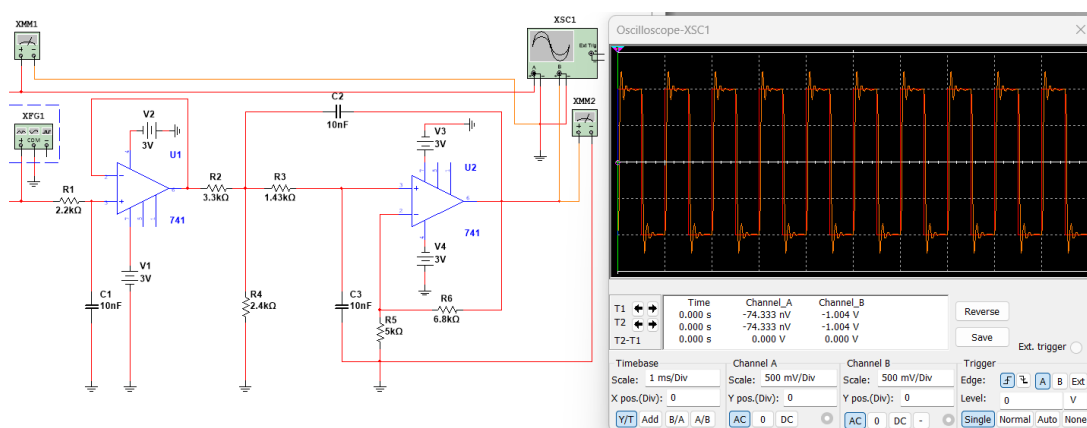
Фигура 3.13. Топология на печатната платка на захранващия блок

3.2 Създаване на симулационни модели

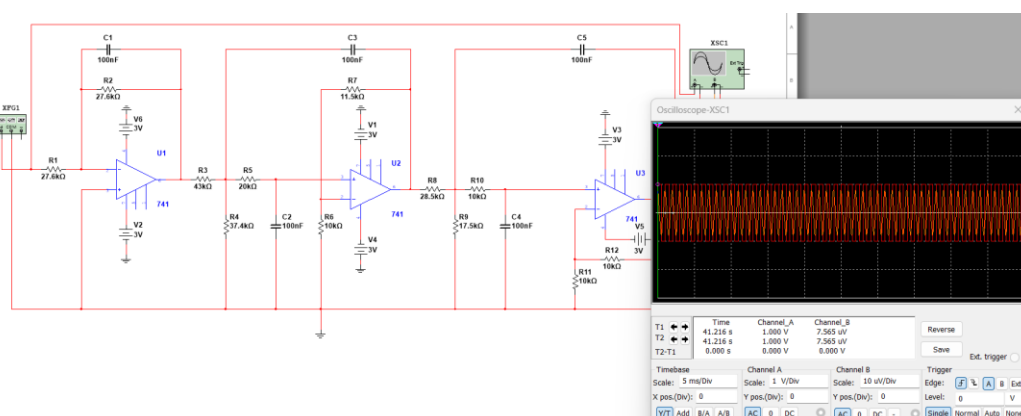
В тази част от дисертационния труд е направена разработка на симулационни модели в средата Multisim, чрез която са реализирани различните филтри на Бътъруърд, Чебишев, лентов филтър и върхов детектор.



Фигура 3.15. Симулационен модел на полиномен нискофестотен филтър на Бътъруърд от втори ред при зададен правоъгълен сигнал с честота 1 kHz



Фигура 3.18. Симулационен модел на нискофестотен филтър на Чебишев от трети ред при зададен правоъгълен сигнал с честота 1 kHz



Фигура 3.22. Симулационен модел на нискофестотен филтър на Чебишев от пети ред при зададен правоъгълен сигнал с честота 1 kHz

Изводи:

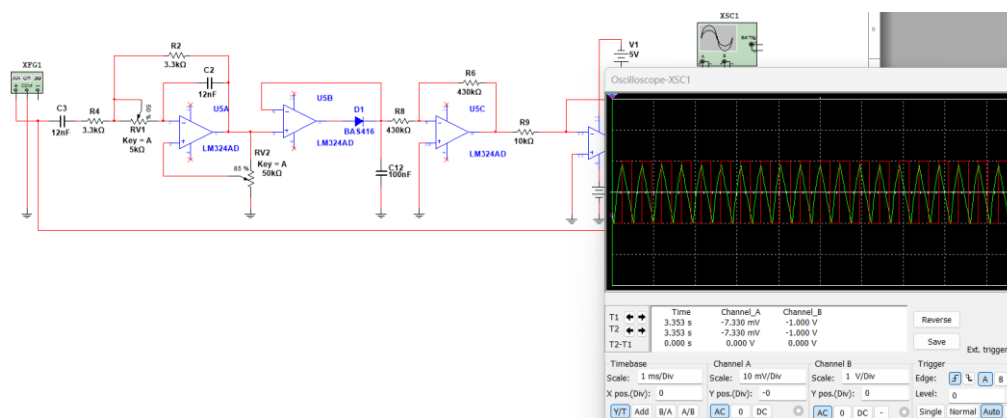
Симулационният модел на филтъра на Бътъруърд от втори ред демонстрира класическо поведение с максимално равномерна амплитудна характеристика в

лентата на пропускане и отсъствие на пулсации. При синусоиден входен сигнал се наблюдава минимално фазово изместване и незначително затихване, отговарящо на теоретично очакваната плоска честотна характеристика. При правоъгълен и триъгълен подаден входен сигнал се отчита изглаждане на високочестотните хармонични съставки, като изходният сигнал придобива по-синусоиден характер. Това потвърждава ефективното потискане на високочестотните компоненти и демонстрира нискочестотния селективен характер на структурата.

Нискочестотният филтър на Чебишев от трети ред показва по-стръмна характеристика в преходната област в сравнение с филтъра на Бътъруърд. Симулационните резултати потвърждават наличието на по-бързо затихване извън лентата на пропускане, което е характерно за този тип апроксимация. Времевият отклик при несинусоидални сигнали показва по-изразени преходни процеси и леки амплитудни неравномерности, следствие от допуснатите пулсации в областта на пропускане.

При филтъра на Чебишев от пети ред се наблюдава още по-изразена селективност. С нарастване на реда на филтъра се постига значително по-стръмна характеристика и по-добро потискане на нежеланите честотни компоненти. Това се потвърждава от формата на изходния сигнал при правоъгълно и триъгълно възбуждане, където високочестотните хармоници са силно редуцирани.

Накрая, резултатите показват теоретичните зависимости между реда на филтъра, вида на апроксимацията и селективността на честотната характеристика. При увеличаване на реда на филтъра се подобрява стръмността на преходната област и способността да бъдат потискани нежелани честоти, но за сметка на усложнение в динамиката и увеличено фазово изместване. Филтърът на Бътъруърд осигурява по-добра равномерност в лентата на пропускане, докато филтрите на Чебишев предлагат по-висока селективност.



Фигура 3.25. Симулационен модел на лентов филтър при зададен правоъгълен сигнал с честота 2,1 kHz

Изводи:

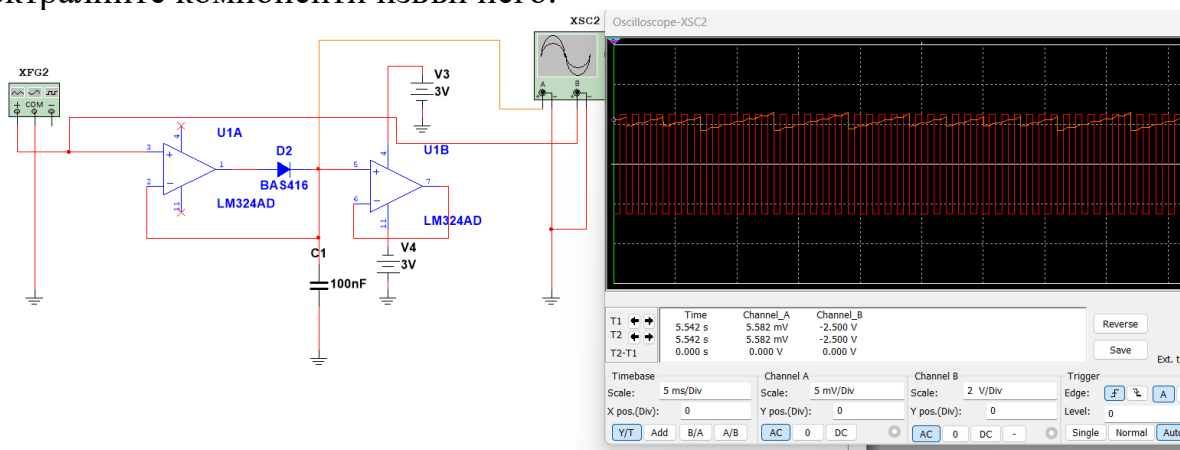
Реализираният лентов филтър демонстрира типично селективно поведение, характеризиращо се с пропускане на сигналите в тесен честотен диапазон около 2,1 kHz и потискане на честотните компоненти извън тази област. При подаване на синусоиден сигнал с честота, съвпадаща или близка до 2,1 kHz, на изхода се

наблюдава максимална амплитуда и минимално изкривяване, следователно, работната точка на филтъра съответства на проектираната централна честота.

При несинусоидални входни сигнали (правоъгълен и триъгълен) се наблюдава ясно изразена спектрална селекция. Тъй като тези сигнали съдържат значителен брой хармонични съставки, лентовият филтър пропуска основния хармоник, ако попада в областта около 2,1 kHz, и ефективно потиска останалите. В резултат изходният сигнал придобива квазисинусоидален характер, което е директно доказателство за честотната селективност на така проектираната система.

От динамична гледна точка се отчита фазово изместване между входния и изходния сигнал, функция от честотата и качествения фактор на филтъра.

Може да се заключи, че разработеният лентов филтър функционира правилно при централна честота около 2,1 kHz, като осигурява селективно пропускане на сигнали в зададения диапазон и ефективно потискане на спектралните компоненти извън него.



Фигура 3.28. Симулационен модел на върхов детектор при зададен правоъгълен сигнал с честота 1 kHz

Изводи:

В представената схема е реализиран върхов детектор с два операционни усилвателя LM324, диод и кондензатор 100 nF. Захранването на операционните усилватели е ± 3 V, а подаденият входен сигнал е синусоидален, триъгълен или правоъгълен с честота 1 kHz, амплитуда 2.5 V и положителен offset 5 V. Това означава, че сигналът се изменя приблизително между 2.5 V и 7.5 V.

Първият операционен усилвател работи съвместно с диода като прецизен изправител. При нарастване на входното напрежение, диодът провежда, а кондензаторът се зарежда до моментната максимална стойност. Когато входът намалява, диодът се запушва и кондензаторът задържа достигнатото напрежение. Поради липсата на разреждащ резистор, разреждането се осъществява чрез входните токове и утечки.

От осцилограмата се вижда характерната „стъпаловидна“ или назъбена форма на напрежението върху кондензатора. Това показва, че той се презарежда при всеки нов по-висок връх и задържа стойността между импулсите.

Вторият LM324 е свързан като повторител на напрежение. Неговата задача е да изолира кондензатора от товара. От осцилограмата се вижда, че изходното напрежение следва напрежението върху кондензатора, което означава, че

буферният етап функционира коректно в рамките на допустимия диапазон.

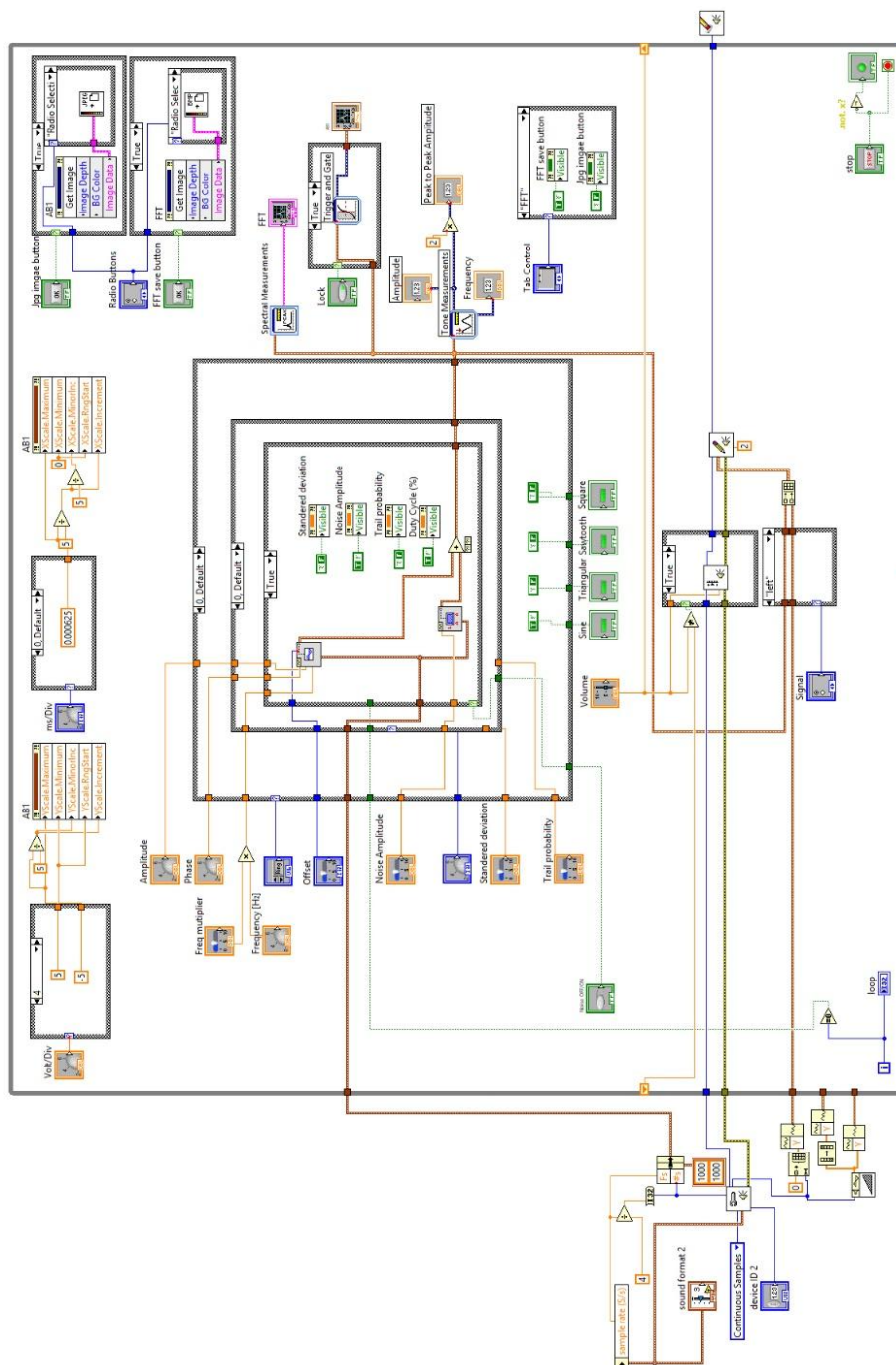
3.3 Проектиране на виртуалния инструмент с LabVIEW

В тази част от дисертационния труд е проектиран виртуален инструмент с LabVIEW. Той използва наличния хардуер и софтуер, за да улесни анализа, експериментите и проверката на различните видове сигнали.

3.3.1. Разработване на функционален генератор в LabVIEW

Разработването на функционалния генератор в LabVIEW е свързано със създаването на компонент, отговорен за симулацията на сигнали и генерирането на различни вълнови форми.

Пълната блокова диаграма на реализирания функционален генератор има вида:



3.4 Дистанционен достъп до виртуалната лабораторна среда

Студентите работят във виртуални машини (VM), предварително конфигурирани с LabVIEW и специализиран виртуален инструмент, което осигурява стандартизирана, контролирана и еднаква среда за всички участници. Достъпът до тези VM се осъществява чрез уеб интерфейс, реализиран с Apache Guacamole и VNC протокол, позволяващ работа от различни устройства без нужда от локални инсталации или специфични версии на Windows. Всяка виртуална машина функционира като изолирана и защитена среда, независима от хардуера и настройките на студентските устройства, което гарантира консистентност и сигурност на работата. След влизане чрез уникален акаунт студентът избира своята VM и зарежда десктопа директно в брауъра, откъдето стартира LabVIEW и изпълнява симулации, анализи и обработка на данни. Всички файлове и резултати се съхраняват във виртуалната среда, което осигурява повторемост и съответствие с академичните изисквания. За да се поддържа едновременно достъп на голям брой студенти, се използват клонирани VM с отделни VNC портове и пароли, гарантиращи независима работа без конфликти. Тази архитектура позволява централизирано управление, лесна поддръжка и бързо обновяване на инструментите, което е особено важно при големи групи. Основните предимства включват равен достъп, висока сигурност, мащабируемост и минимизиране на техническите проблеми, свързани с локални инсталации. Ограниченията се свеждат до необходимостта от стабилна интернет връзка и достатъчно сървърни ресурси за поддържане на всички едновременни сесии.



Фигура 3.79. Блокова схема на дистанционния достъп до виртуалната лабораторна среда

3.5 ИЗВОДИ ОТ ГЛАВА 3

В главата е разработена цялостна концепция за изграждане на виртуална лаборатория, базирана на интегрирано взаимодействие между аналитичен синтез, симулационно моделиране и хардуерна реализация.

Методологичният принос се състои в прилагането на тристепенна инженерна верификация чрез математически модел, симулация и физическа реализация, което осигурява висока степен на съответствие между теория и практика.

Практическата валидност на подхода е потвърдена чрез синтез, симулация и реализация на нискочестотни филтри на Бътъруърд и Чебишев от III и V ред. Получените резултати показват, че увеличаването на реда подобрява селективността и потискането на хармоничните съставки, като същевременно води до по-сложен динамичен отклик. Установено е, че филтрите на Бътъруърд осигуряват равномерна честотна характеристика в лентата на пропускане, докато филтрите на Чебишев реализират по-стръмна преходна област за сметка на контролирани пулсации. Експерименталните резултати съвпадат с теоретичните изчисления в рамките на допустимите технологични отклонения и потвърждават валидността на използваните апроксимационни модели. Физическата реализация върху печатни платки доказва приложимостта на методиката при използване на стандартни елементни стойности и толеранси, като подчертава значението на топологията, обратните връзки и захранващото байпасиране за честотната стабилност.

Реализираният лентов филтър с централна честота около 2,1 kHz и върховият детектор демонстрират очакваните селективни и измервателни характеристики, съответстващи на теоретичните предвиждания.

Разработеният виртуален инструмент в LabVIEW осигурява функционален генератор, автоматизирани измервания, спектрален анализ и осцилоскопска визуализация, като позволява интеграция с реален хардуер. Извършеното проектиране, моделиране, експериментална реализация и виртуална инструментализация доказват възможността за изграждане на интегрирана виртуална лабораторна среда.

ГЛАВА 4. РЕЗУЛТАТИ ОТ ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИТЕ ИЗСЛЕДВАНИЯ

Четвърта глава от дисертационния труд представя резултатите от проведените експериментални изследвания, насочени към валидирането на разработената дистанционна лабораторна система и оценката на нейната практическа приложимост. Основната цел на изследванията е да се потвърди ефективността на предложените методики, разработени в Глава 2, да се верифицира функционирането на хардуерните решения, реализирани в Глава 3, и да се анализират получените резултати чрез използваната измервателна апаратура и средствата за управление и контрол на процесите.

4.1. Валидиране на данните

С цел валидиране на коректната работа на генератора на сигнали и системата е необходимо да се потвърди, че генерираните сигнали отговарят на зададените параметри – форма на сигнала, амплитуда и честота – както и че тези

параметри се измерват точно от използвания измервателен инструмент. За целта като еталонно измервателно средство се използва цифров осцилоскоп Siglent SDS1052DL с честотна лента 50 MHz.

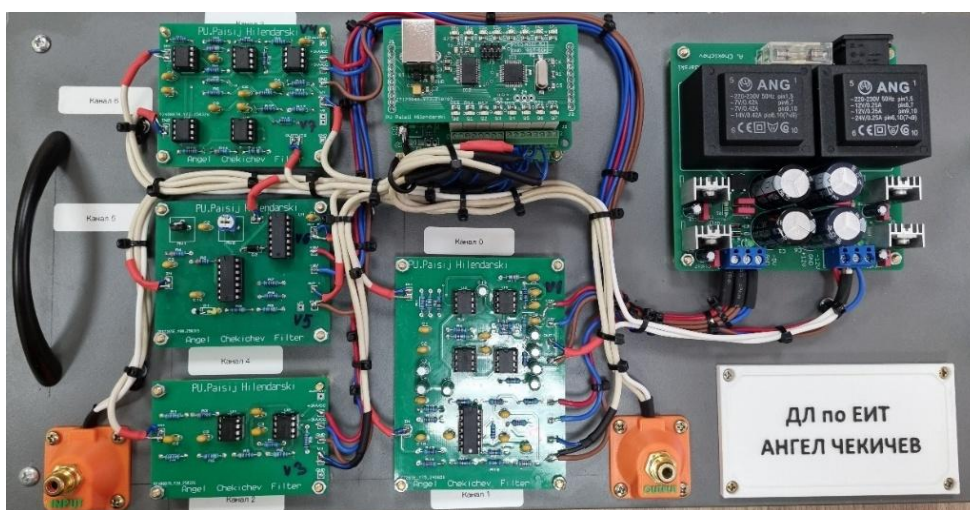
4.2. Конфигуриране и настройка за извършване на експерименталните изследвания

В рамките на експеримента се използва персонален компютър с инсталиран на него софтуерен продукт LabVIEW и експерименталната схема. Компютърът управлява софтуера на генератора, процеса на генериране на сигнала и работата с измервателния инструмент за независимо регистриране, визуализация и анализ на измерените данни.



Фигура 4.1. Входа и изхода на компютъра, използвани при измерванията и анализа

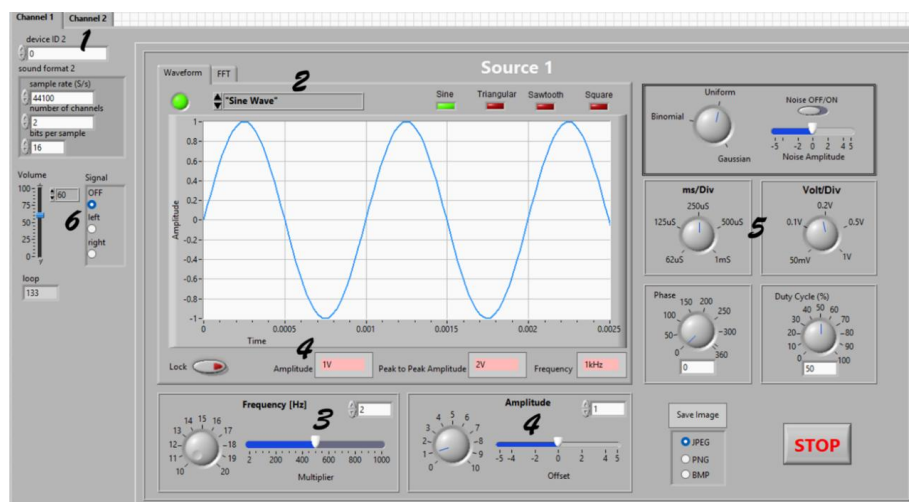
Свързването между компютъра и апаратурата се осъществява посредством AUX кабел. На дистанционният експериментален стенд са разположени отделни входен и изходен конектор (фиг. 4.2) за подаването на сигнал от компютъра към системата и последващото му обработване в рамките на измервателната схема.



Фигура 4.2. Дистанционен експериментален стенд

Фигура 4.3 представя основния прозорец на функционалния генератор и основните елементи за управление. Чрез този интерфейс се извършва настройката на параметрите на генерирувания сигнал, необходими за провеждането

на експеримента и за последващото му измерване и анализ.



Фигура 4.3. Потребителски интерфейс на функционалния генератор, настроен да генерира синусоидален сигнал с честота 1 kHz и амплитуда 1 V

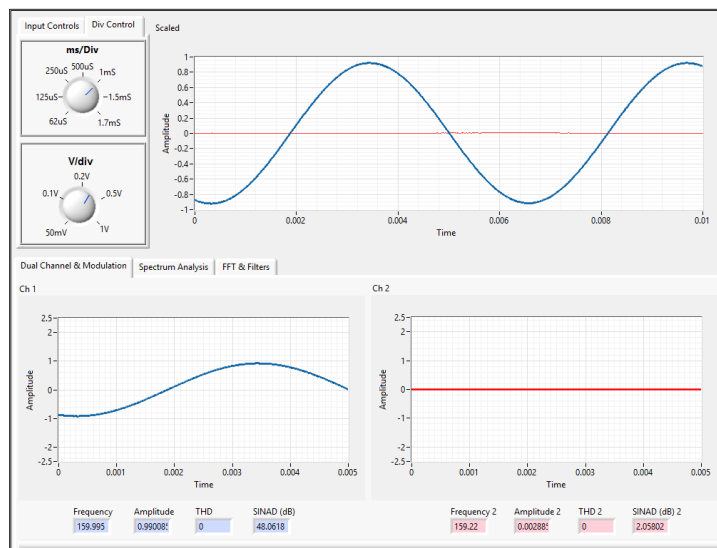
При изпълнение на експеримента се използва един източник на сигнал (1), чрез който се генерира тестовият сигнал. В следващата стъпка се задава формата на сигнала (2), като за целите на измерването се избира синусоидална форма (Sine Wave). Този тип сигнал е широко използван при тестове и валидиране на измервателни системи, защото позволява лесно определяне на основни параметри като амплитудата, честота и фазови характеристики.

Честотата на генерирания сигнал се настройва на 1 kHz (3). Изборът на тази честота позволява стабилно наблюдение на сигнала и удобното му измерване с използвания измервателен инструмент. Амплитудата на сигнала се задава на 1 V (4), достатъчно за ясно визуализиране и коректно измерване, без риск от претоварване на входа на измервателния прибор.

За правилното наблюдение на сигнала върху екрана е необходимо да се извърши подходяща настройка на мащаба на деленията (5). Чрез нея се регулира вертикалната и хоризонталната чувствителност на визуализацията, така че формата на сигнала да бъде ясно видима и да заема подходяща част от екрана за лесен анализ на неговите параметри.

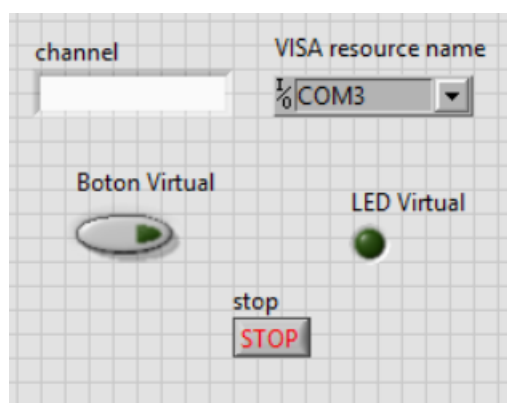
В последната стъпка се избира изходният канал (6), през който генерираният сигнал ще бъде подаден към измервателната система. Правилният избор на канал е от съществено значение за коректното свързване между генератора и измервателния инструмент, и за осигуряване на надеждно предаване на сигнала към входа на измервателното устройство.

Потребителският интерфейс на измервателната програма (фиг. 4.4) е предназначен за регистриране, обработка и визуализация на сигналите, подавани от изхода на функционалния генератор и преминаващи през системата. Чрез този интерфейс се осъществява наблюдение в реално време на входния сигнал, анализ на неговите основни параметри – амплитудата, честота и форма на вълната.



Фигура 4.4. Потребителски интерфейс на измервателната програма

За реализиране на превключването между отделните канали или между различните функционални схеми на системата е разработена специализирана блокова схема в средата на LabVIEW.



Фигура 4.6. Преден панел на управляващия алгоритъм

4.3. Резултати от изследването

Изследването започва с подаване на синусоиден сигнал от генератор към входа на съответния филтър. Амплитудата на този сигнал се поддържа постоянна за всички честоти, в случая е 1 V, за да се улесни сравнението между входа и изхода. След това честотата на сигнала се променя стъпково – задават се честоти 1 Hz, 100 Hz, 200 Hz, 500 Hz, 800 Hz, 1 kHz, 1.5 kHz и т.н., като за всяка честота се извършват отделни измервания.

За всяка избрана честота първоначално се наблюдава входният сигнал, а след това и изходният сигнал след филтъра. Това става чрез осцилоскоп или измервателната среда, където могат едновременно да се визуализират двете вълни. Основното, което се измерва, е амплитудата на сигнала. В много случаи се вижда, че изходният сигнал има по-малка амплитуда от входния, което означава, че филтърът отслабва (затихва) сигнала при тази честота.

След като се измерят входната и изходната амплитуда, те се използват за изчисляване на амплитудното затихване в децибели. Това се извършва чрез логаритмична зависимост, преобразуваща отношението между двете напрежения в удобна скала.

$$A(f) = 20 \lg \left(\frac{U_{out}}{U_{in}} \right),$$

където:

- U_{in} е измереното входно напрежение; U_{out} е измереното изходно напрежение.

Паралелно с измерването на амплитудата се определя и фазовото изместване между входния и изходния сигнал.

$$\varphi = -360^\circ \cdot f \cdot \Delta t,$$

където:

- φ – фазово изместване (в градуси); f – честота (Hz); Δt – времезакъснение (s).

В таблица 4.1 са представени експериментално определените АЧХ и ФЧХ на изследваните филтри при различни честоти в диапазона от 0 Hz до 10 kHz. Данните са получени чрез последователно измерване и изчисление на амплитудното затихване и фазовото изместване на изходния сигнал спрямо входния.

Таблица 4.1. Експериментални данни

Честота (Hz)	АЧХ Полиномен филтър на Бътъруърд от втори ред (dB)	Фаза (°)	АЧХ Филтър на Чебишев от трети ред (dB)	Фаза (°)
1	0	0	0	0
100	-0.004	-4.72	-0.056	-1.15
200	-0.015	-9.41	-0.057	-2.29
500	-0.093	-23.73	-0.062	-5.75
800	-0.223	-37.52	-0.072	-9.18
1000	-0.346	-47.37	-0.080	-11.48
1500	-0.793	-74.59	-0.110	-17.51
2000	-1.26	-95.69	-0.146	-22.65
2500	-2.07	-121.87	-0.184	-28.48
3000	-3.52	-156.00	-0.221	-33.88
4000	-7.97	-196.89	-0.275	-44.98
5000	-13.74	-231.82	-0.274	-56.23
8000	-28.15	-279.29	0.056	-93.94
10 000	-35.52	-295.59	-0.415	-131.22
Честота (Hz)	АЧХ Филтър на Чебишев от пети ред (dB)	Фаза (°)	Лентов филтър (dB)	Фаза (°)
1	-2.37	178.03	-74.30	-102.22
100	-8.81	-46.75	-60.81	-176.94
200	-32.06	-171.85	-60.76	-177.84
500	-73.05	-237.37	-60.46	-177.31
800	-93.60	-250.48	-59.88	-176.00
1000	-104.13	-254.87	-59.30	-174.88
1500	-121.51	-260.11	-56.80	-170.41
2000	-133.94	-263.02	-52.28	-160.37
2500	-144.08	-264.96	-44.51	-86.94
3000	-151.93	-266.43	-55.25	-31.83

4000	-164.67	-269.16	-64.71	-5.31
5000	-174.14	-271.82	-70.38	-1.74
8000	-194.27	-284.21	-79.90	3.23
10 000	-203.42	-297.13	-84.17	5.24

Представената таблица 4.1 съдържа експериментални данни за АЧХ и ФЧХ на няколко типа аналогови филтри: полиномен филтър на Бътъруърд от втори ред, филтър на Чебишев от трети ред, филтър на Чебишев от пети ред и лентов филтър. Анализът обхваща широк честотен диапазон – от 1 Hz до 10 kHz, което позволява да се проследи поведението на филтрите и в двете области – на пропускане и непропускане. Направеното сравнително изследване е важно, тъй като изборът на филтър зависи от конкретните изисквания към селективност, фазова линейност и допустими изкривявания.

На първо място се разгледа поведението на филтъра на Бътъруърд от втори ред. Този тип филтър е известен със своята максимално гладка АЧХ в областта на пропускане. От данните се наблюдава, че при ниски честоти, в интервала от 1 Hz до приблизително 200 Hz, затихването е практически пренебрежимо малко и клони към 0 dB. Това потвърждава теоретичното очакване за липсата на пулсации в лентата на пропускане. С увеличаване на честотата, особено след границата около 1 kHz, се наблюдава постепенно и монотонно нарастване на затихването. При честота 10 kHz затихването достига стойности приблизително -36 dB, което е сравнително умерено за филтър от втори ред. Фазовата характеристика на този филтър също се изменя плавно, без резки скокове, което е индикация за относително добра фазова линейност.

Следващият обект на анализ е филтърът на Чебишев от трети ред. За разлика от полиномния филтър на Бътъруърд, този филтър се характеризира с наличие на пулсации в областта на пропускане. От таблицата ясно може да се забележи, че още при ниски честоти се появяват минимални отклонения в АЧХ, макар и те да са с малка амплитуда. Основното предимство на този филтър е по-рязкото преминаване от областта на пропускане към областта на задръжка. Това се потвърждава от по-бързото нарастване на затихването с увеличаване на честотата в сравнение с филтъра на Бътъруърд. Фазовата характеристика показва по-изразени изменения, което е типично за филтрите на Чебишев. Наличието на нелинейна фаза може да доведе до изкривяване на сигнали, особено при широколентови приложения. Въпреки това, филтърът на Чебишев от трети ред предлага добър компромис между селективност и сложност на реализация.

При анализа на филтъра на Чебишев от пети ред се наблюдава по-различно поведение. Още при сравнително ниски честоти около 200 Hz, затихването достига стойности от порядъка на десетки децибели. Това показва изключително висока селективност. С увеличаване на честотата затихването нараства лавинообразно и при 10 kHz достига стойности над -200 dB. Подобно поведение е характерно за филтри от по-висок ред, при които стръмността на характеристиката значително се увеличава. Фазовата характеристика на този филтър е силно нелинейна и демонстрира резки изменения. Това води до значителни фазови изкривявания, които могат да бъдат критични в системи, чувствителни към фазата на сигнала. Въпреки това, този тип филтър е изключително ефективен, където основният приоритет е потискането на

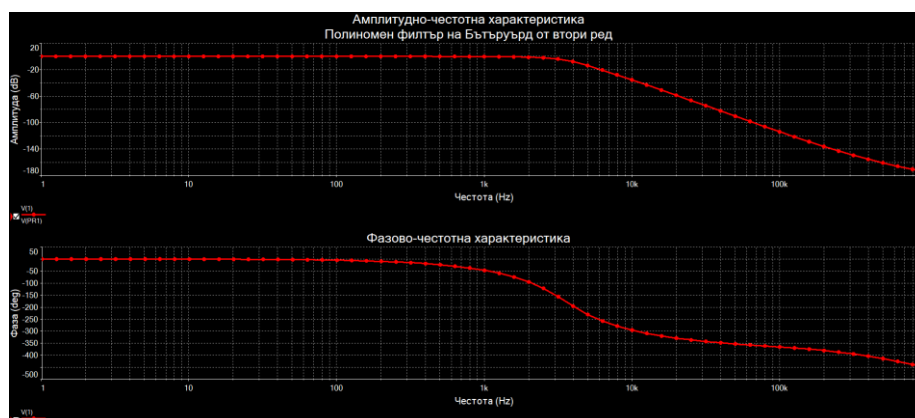
нежелани честоти.

Лентовият филтър представлява различен клас система, при която се пропуска само определен честотен диапазон, а честотите извън него се потискат. Данните от таблицата показват, че при ниски честоти затихването е много голямо, което означава, че тези честоти се намират в областта на непропускане. С увеличаване на честотата се достига до зона, в която затихването намалява и филтърът започва да пропуска сигнала. Това е приблизително в средночестотния диапазон. След тази област затихването отново нараства, което показва горната граница на лентата на пропуски. Фазовата характеристика на лентовия филтър е силно зависима от честотата и демонстрира сложна динамика, особено в преходните области.

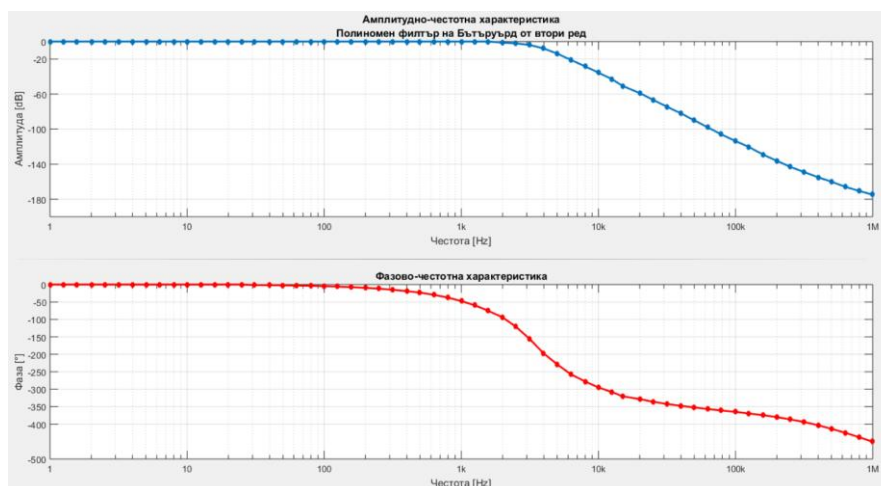
Сравнителният анализ между разглежданите филтри показва ясно изразен компромис между гладкостта на АЧХ и селективността на филтъра. Филтърът на Бътъруърд предлага най-гладка характеристика, но за сметка на по-бавно затихване. От друга страна, филтрите на Чебишев осигуряват по-рязък преход между областите, но въвеждат пулсации и фазови изкривявания. Увеличаването на реда на филтъра води до значително подобряване на селективността, увеличава сложността на реализация и влошава фазовите характеристики.

В заключение, представената таблица и нейният анализ илюстрират фундаменталните принципи на проектиране на филтри. Наблюдаваните зависимости между честота, затихване и фаза съответстват на теоретичните модели и потвърждават класическите инженерни подходи. Анализът подчертава значението на компромисите при избора на филтър и необходимостта от внимателно съобразяване на параметрите с изискванията на конкретната система.

На следващите графични зависимости са представени АЧХ и ФЧХ, получени в резултат на симулационното изследване на разглежданите филтърни структури, реализирани в програмната среда Multisim, както и експериментално измерените характеристики от реалната измервателна система, което създава възможност за извършване на прецизен съпоставителен анализ между теоретичните модели и практическите резултати.



Фигура 4.9. Амплитудно-честотна и фазово-честотна характеристика на реализирания полиномен филтър на Бътъруърд от втори ред в среда Multisim

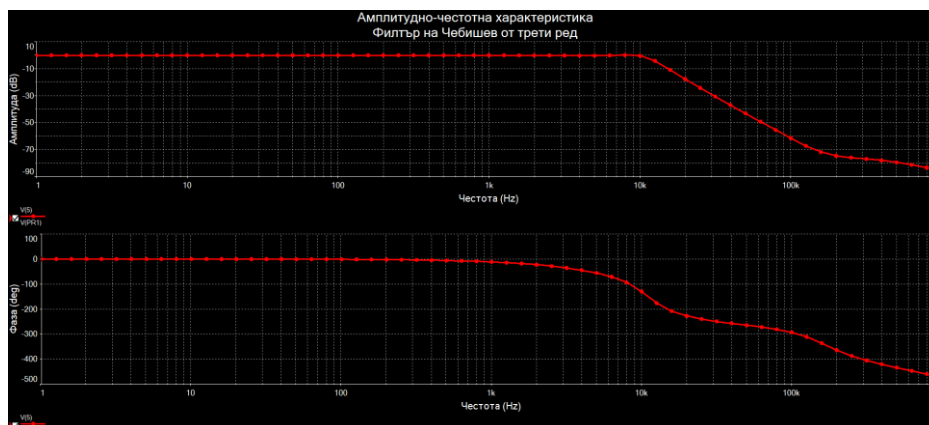


Фигура 4.10. Отчетена амплитудно-честотна и фазово-честотна характеристика на реализирания полиномен филтър на Бътъруърд от втори ред

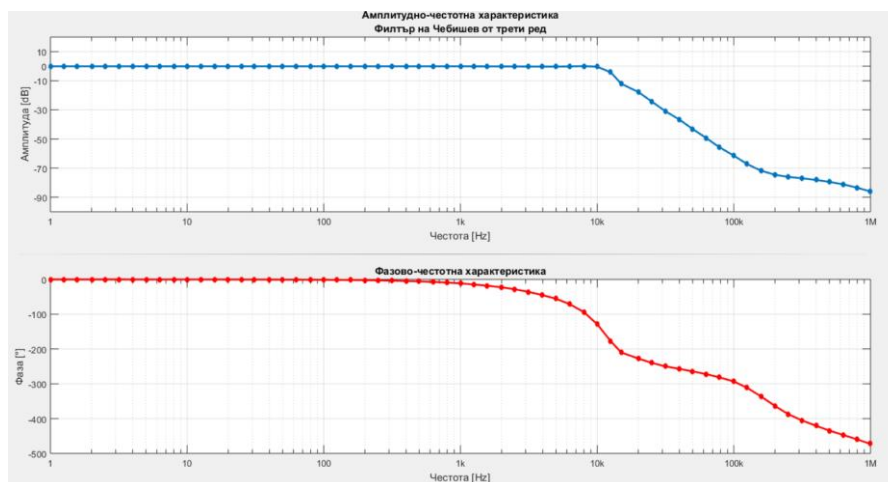
Фигура 4.9 представя симулационната амплитудно-честотна и фазово-честотна характеристика на полиномен филтър на Бътъруърд от втори ред, реализиран в среда Multisim. Теоретично, този тип филтър се характеризира с максимално гладка АЧХ в областта на пропускане, без наличие на пулсации. Симулационните резултати потвърждават това поведение, като в нискочестотния диапазон се наблюдава практически нулево затихване и плавно изменение на фазата. Преходът към задържащата област е постепенен, като наклонът на характеристиката е сравнително умерен, което е типично за филтри от втори ред.

Фигура 4.10 представя експериментално отчетените характеристики на същия филтър. Данните от таблица 4.1 показват, че при ниски честоти (1–200 Hz) затихването е близко до 0 dB, което съвпада със симулацията. С увеличаване на честотата се наблюдава плавно нарастване на затихването, достигащо приблизително около -36 dB при 10 kHz. Фазовата характеристика също следва очаквания плавен спад.

Съпоставката между симулация и експеримент показва много добро съвпадение. Наблюдаваните малки отклонения могат да се обяснят с реални фактори като толеранси на елементите, паразитни капацитети и шум. Въпреки това, общото поведение на филтъра остава консистентно.



Фигура 4.11. Амплитудно-честотна и фазово-честотна характеристика на реализирания филтър на Чебишев от трети ред в среда Multisim

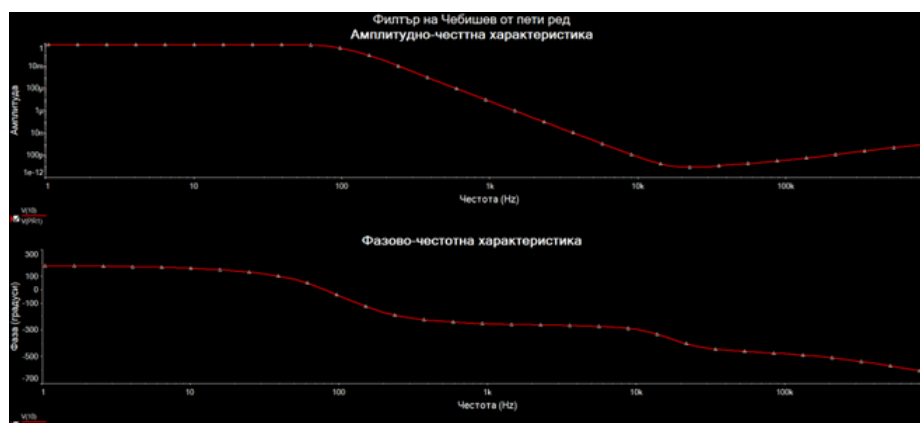


Фигура 4.12. Отчетена амплитудно-честотна и фазово-честотна характеристика на реализирания филтър на Чебишев от трети ред

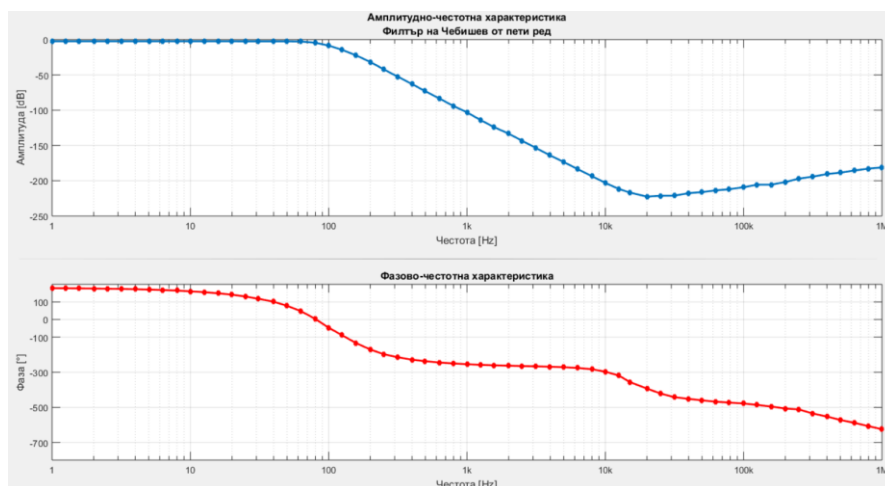
Фигура 4.11 представя симулационните характеристики на филтър на Чебишев от трети ред. Основната особеност е наличието на пулсации в областта на пропускане, което е характерно за този тип филтри. Симулацията показва по-рязък преход към задържащата област в сравнение с полиномния филтър на Бътъруърд от втори ред, което е пряко следствие от по-високия ред и специфичната апроксимация.

Фигура 4.12 съдържа експериментално измерените характеристики. Данните показват, че пулсациите са с малка амплитуда, но все пак различни. Затихването нараства по-бързо в сравнение с филтъра на Бътъруърд, което потвърждава по-високата селективност. Фазовата характеристика демонстрира по-изразена нелинейност.

При съпоставка се наблюдава добро съответствие между симулация и измервания, като разликите са малко по-осезаеми в областта на пулсациите. Наблюдаваните малки отклонения могат да се обяснят с реални фактори като толеранси на елементите, паразитни капацитети и шум.



Фигура 4.13. Амплитудно-честотна и фазово-честотна характеристика на реализирания филтър на Чебишев от пети ред в среда Multisim

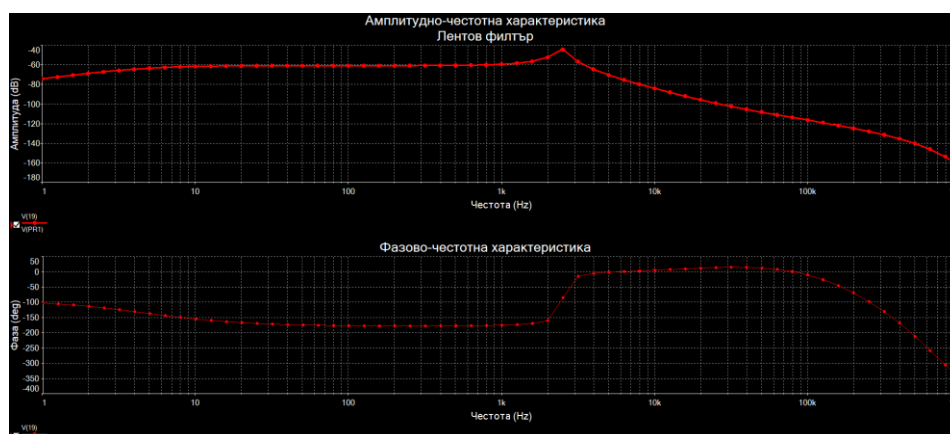


Фигура 4.14. Отчетена амплитудно-честотна и фазово-честотна характеристика на реализирания филтър на Чебишев от пети ред

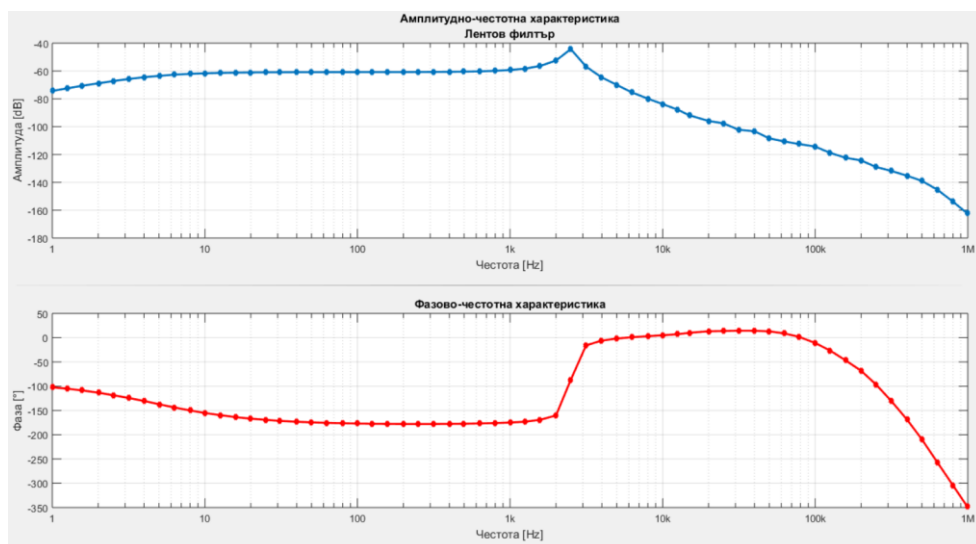
Фигура 4.13 представя симулацията на филтър на Чебишев от пети ред. Очаквано, този филтър демонстрира изключително стръмна амплитудно-честотна характеристика. Преходът между областта на пропускане и задържащата област е рязък, а затихването нараства експоненциално. Фазовата характеристика е силно нелинейна, с големи фазови отмествания.

Фигура 4.14 съдържа експерименталните резултати. Данните от таблица 4.1 показват, че още при ниски честоти започва значително затихване, което е по-силно изразено в сравнение със симулацията. При високи честоти затихването достига изключително големи стойности (над -200 dB), което потвърждава високата селективност.

Съпоставката показва, че макар основната форма на характеристиката да съвпада, съществуват по-значителни разлики спрямо симулацията. Това е очаквано, тъй като филтрите от висок ред са по-чувствителни към параметрични отклонения. Малки изменения в компонентите водят до значителни изменения в характеристиката.



Фигура 4.15. Амплитудно-честотна и фазово-честотна характеристика на реализирания лентов филтър в среда Multisim



Фигура 4.16. Отчетена амплитудно-честотна и фазово-честотна характеристика на реализирания лентов филтър

На фиг. 4.15 е представена симулационната характеристика на лентов филтър. Очаквано се наблюдава ясно дефинирана област на пропускане, разположена в средночестотния диапазон. Извън тази област затихването е значително. Формата на АЧХ е типична за лентовия филтър, с максимум в централната честота.

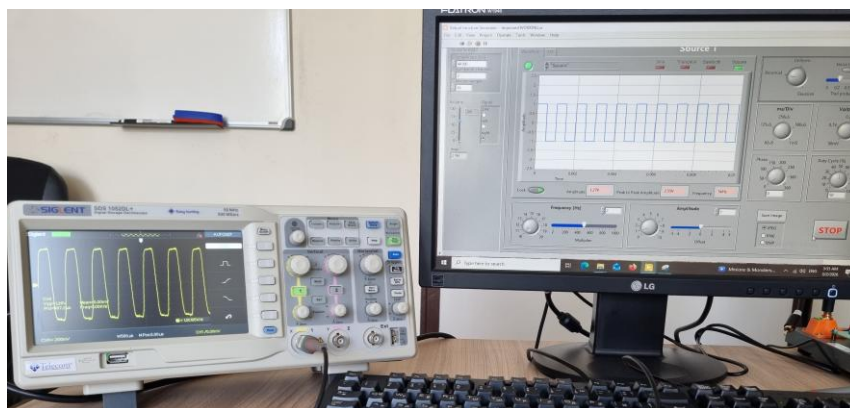
Експерименталните резултати са показани на фиг. 4.16. Данните потвърждават наличието на зона на пропускане около 2-3 kHz, където затихването е минимално. При ниски и високи честоти се наблюдава силно потискане. Фазовата характеристика е сложна и силно честотно зависима.

Съпоставката между симулация и измерване показва добро съвпадение по отношение на централната честота и ширината на лентата. Наблюдават се малки разлики в нивото на затихване, които могат да се обяснят с реални загуби и неточности в компонентите.

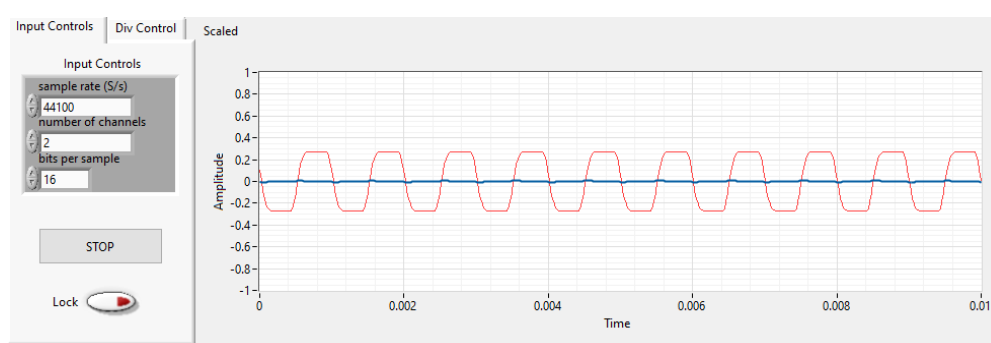
На следващите фигури са представени експерименталните резултати, получени при изследването на филтъра на Бътъруърд и Чебишев, лентовия филтър и върховия детектор. Визуализираните графики отразяват основните измерени параметри и характерните особености на експерименталния процес.



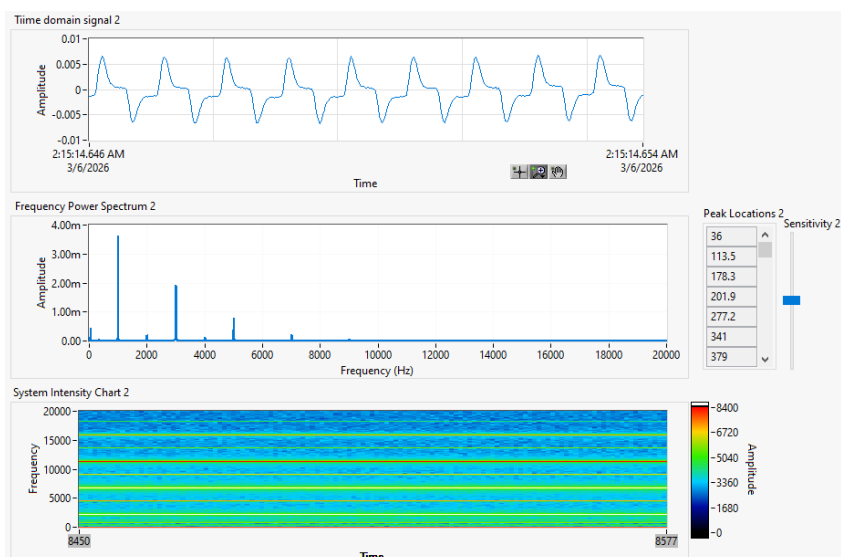
Фигура 4.17. Експериментална постановка на системата за генериране и измерване на сигнали при активиран лентов филтър и зададен от функционалния генератор синусоиден сигнал



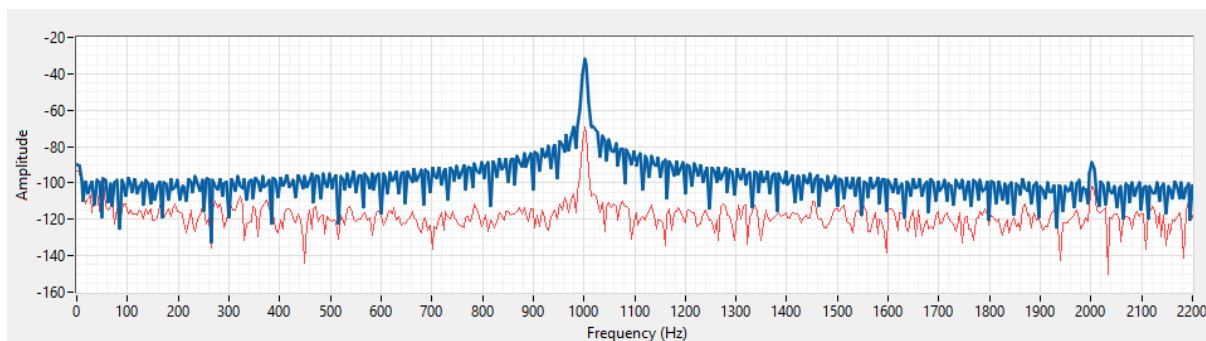
Фигура 4.20. Експериментална постановка на системата за генериране и измерване на сигнали при активиран лентов филтър и зададен от функционалния генератор правоъгълен сигнал



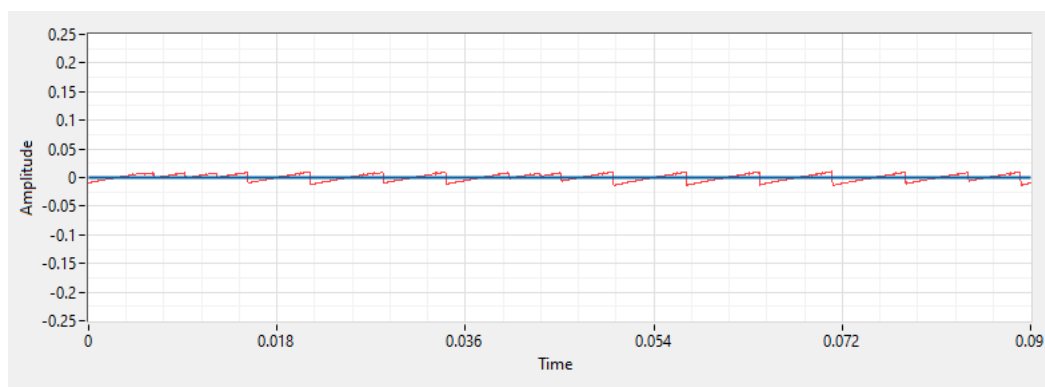
Фигура 4.27. Измерен сигнал при работа на системата с активиран полиномен филтър на Бътъруърд от втори ред и зададен от функционалния генератор правоъгълен сигнал



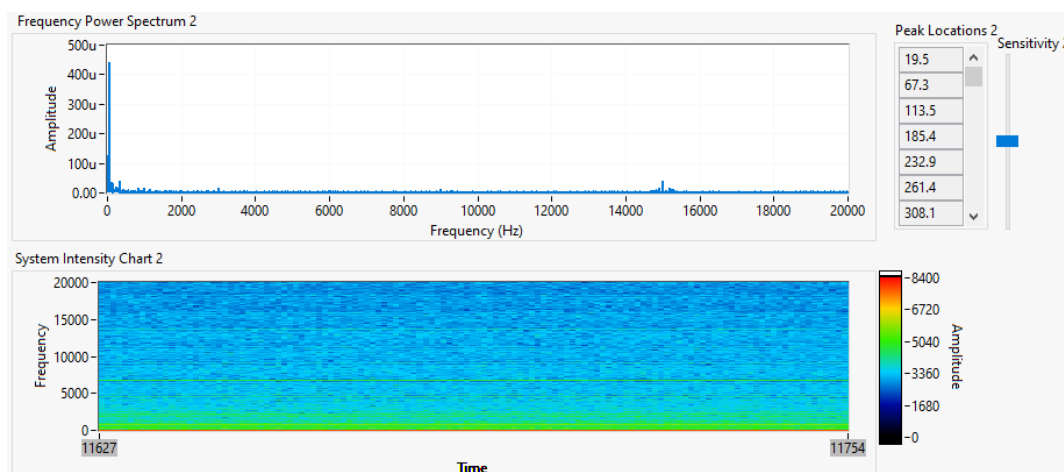
Фигура 4.28. Графично представяне на измерения сигнал във времевата и честотната област, неговия интензитет при активен полиномен филтър на Бътъруърд от втори ред и зададен от функционалния генератор правоъгълен сигнал



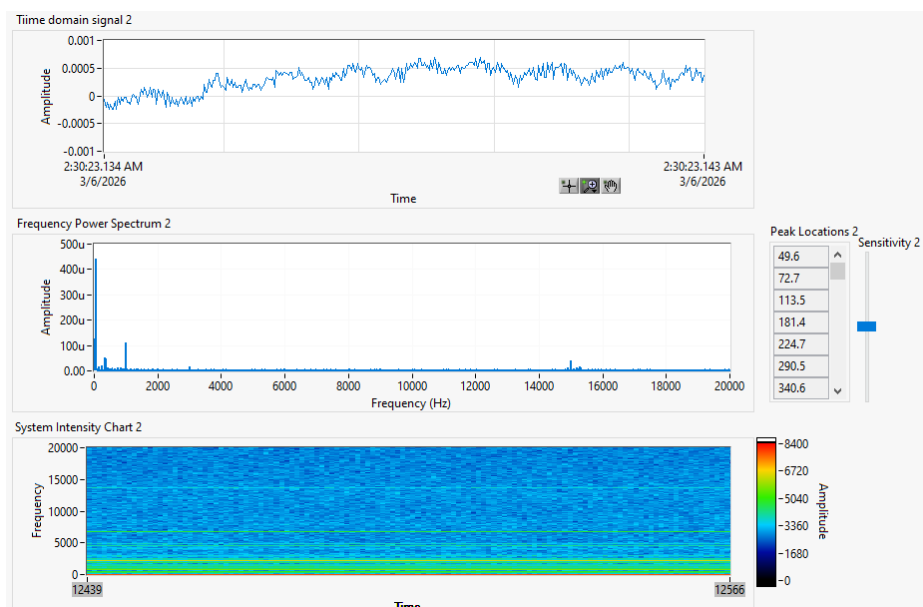
Фигура 4.29. FFT-преобразуване на сигнала при активен полиномен филтър на Бътървърд от втори ред и зададен от функционалния генератор правоъгълен сигнал (десен канал – син цвят, ляв канал – червен цвят)



Фигура 4.33. Измерен сигнал при работа на системата с активиран върхов детектор и зададен от функционалния генератор правоъгълен сигнал



Фигура 4.34. Графично представяне на измерения сигнал в честотната област, неговия интензитет при върхов детектор и зададен от функционалния генератор правоъгълен сигнал



Фигура 4.35. Графично представяне на измерения сигнал във времевата и честотната област, неговия интензитет при филтър на Чебишев от пети ред и зададен от функционалния генератор синусоидален сигнал

4.3 ИЗВОДИ ОТ ГЛАВА 4

Представените в Глава 4 експериментални резултати позволяват формулирането на последователни и научно обосновани изводи, които потвърждават както коректността на разработената измервателна система, така и надеждността на приложените методи за анализ на аналогови филтри. Валидирането на системата показва висока точност на измерванията: разликите между зададените параметри и отчетените стойности чрез цифров осцилоскоп са минимални и се вписват в допустимите инженерни толеранси. Това доказва, че използваната конфигурация от генератор, измервателна апаратура и софтуерна обработка осигурява надеждно възпроизвеждане и регистриране на сигналите, като малките отклонения се обясняват с реални фактори като паразитни параметри, шумове и ограничения на приборите.

Експерименталната постановка демонстрира висока функционалност благодарение на интеграцията между LabVIEW и хардуерната част, което позволява автоматизирано управление, визуализация в реално време и ефективен анализ. Разработеният управляващ алгоритъм улеснява превключването между различни режими и филтърни конфигурации, повишавайки практическата приложимост на системата.

Получените резултати потвърждават теоретично очакваното поведение на филтрите. Филтърът на Бътъруърд от втори ред показва гладка амплитудно-честотна характеристика и добра фазова линейност. Филтрите на Чебишев демонстрират по-висока селективност: третият ред предлага разумен компромис между стръмност и пулсации, докато петият ред осигурява изключително високо затихване, но с по-силно изразена фазова нелинейност. Лентовият филтър ясно очертава своята пропускателна област и ефективно потиска честотите извън нея, в пълно съответствие с теоретичния модел.

Съпоставката между симулационните резултати в Multisim и

експерименталните измервания показва висока степен на съответствие, особено при филтъра на Бътъруърд. По-значителни отклонения при филтрите от по-висок ред се дължат на тяхната чувствителност към вариации в компонентите и паразитни ефекти. Анализът чрез FFT допълнително потвърждава ефективността на филтрите: при синусоидален вход се наблюдават минимални изкривявания, а при несинусоидални сигнали високочестотните хармоници се потискат, което води до изглаждане на формата.

В обобщение, разработената експериментална система се доказва като надежден инструмент за анализ на аналогови филтри. Резултатите съответстват на теоретичните модели и предоставят стабилна основа за практическо приложение в инженерни системи.

ГЛАВА 5. ИЗВОДИ И ПРИНОСИ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Научно-приложни приноси:

- 1. Разработена е интегрирана методика за проектиране, моделиране и изграждане на дистанционна лаборатория по „Електронно измервателна техника“, базирана на симулационни модели, виртуални измервателни инструменти и реални експериментални обекти в единна хибридна образователна среда, осигуряваща висока степен на достоверност и съпоставимост на измерванията.**
- 2. Предложен е обобщен модел на виртуална и дистанционна лабораторна среда, обединяваща софтуерни и хардуерни компоненти в единна архитектура, позволяваща едновременно обучение, експериментално изследване и анализ на електронни системи в реално време.**
- 3. Разработен е формализиран подход за управление и конфигуриране на измервателни процеси в среда LabVIEW, осигуряващ гъвкаво превключване между различни режими, структури и методи за обработка на сигнали без необходимост от промени в хардуерната конфигурация.**
- 4. Извършен е систематичен сравнителен анализ между теоретични, симулационни и реални експериментални данни, който валидира точността, надеждността и ефективността на предложената лабораторна система и демонстрира нейната приложимост в инженерното обучение.**

Приложни приноси:

- 1. Разработена и реализирана е интегрирана виртуална лабораторна платформа, която осигурява дистанционен достъп до реални електронни измервателни устройства и експериментални обекти, като по този начин**

разширява традиционната лабораторна инфраструктура и създава нов модел за провеждане на практически занятия в инженерното образование.

2. **Създадени са функционални схеми** (активни филтри на Бътъруърд и Чебишев, лентов филтър, върхов детектор), оптимизирани за дистанционно управление и многократно експериментирание, което позволява изследване на реални електронни процеси в условия на виртуализирана лабораторна среда.
3. **Разработени са симулационни модели на електронните устройства**, които осигуряват възможност за сравнение между теоретични, симулационни и експериментални резултати, подпомагайки валидирането на лабораторните методики и повишавайки надеждността на обучителния процес.
4. **Създаден е виртуален измервателен комплекс в среда LabVIEW**, който реализира реалистично цифрово измерване и анализ на сигнали и служи като основен инструментариум за дистанционните лабораторни упражнения.
5. **Разработената лабораторна система е адаптирана за внедряване в учебни програми по електроника, електротехника и автоматизация**, като предоставя стандартизирана, мащабируема и лесно интегрируема платформа за практическо обучение в присъствена и дистанционна форма.
6. **Създадени са три на брой структурирани лабораторни упражнения**, които формализират процеса на дистанционно измерване и анализ, осигуряват проследимост на резултатите и подпомагат изграждането на практически компетентности в инженерното образование.

СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ, СВЪРЗАНИ С ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. **A. Chekichev**, R. Popov, S. Asenov. (2021). THE VIRTUAL LABORATORIES AS A MEANS OF TRAINING STUDENTS IN ENGINEERING EDUCATION IN THE CONDITIONS OF COVID-19, ICERI2021 Proceedings, pp. 9234-9238
2. **A. Chekichev**, R. Popov, S. Asenov. (2021). USE OF THE LABVIEW VIRTUAL INSTRUMENT IN THE ENGINEERING EDUCATION, ICERI2021 Proceedings, pp. 9428-9432
3. **A. Chekichev**, A. Parushev, R. Popov. (2022). BUILDING A VIRTUAL INSTRUMENT FOR RESEARCH AND ANALYZING FILTERS IN LABVIEW AND MATLAB, ICERI2022 Proceedings, pp. 4795-4800
4. **Ангел Чекичев**. (2024). ОБЗОР НА СТАНДАРТИЗИРАЩИТЕ ОРГАНИЗАЦИИ, СЪЮЗ НА УЧЕНИТЕ В БЪЛГАРИЯ – СМОЛЯН, Научни трудове Том 4, 2024, ISSN:1314-9490 (online), pp. 46-57
5. **Ангел Чекичев**. (2024). СОФТУЕРНИ ПРОДУКТИ ЗА ВИРТУАЛНИ ЛАБОРАТОРИИ, СЪЮЗ НА УЧЕНИТЕ В БЪЛГАРИЯ – СМОЛЯН, Научни трудове Том 4, 2024, ISSN:1314-9490 (online), pp. 58-69