

## РЕЗЮМЕТА

на научноизследователските трудове на д-р инж. Фирган Нихатов Ферадов представени за участие в конкурс за академична длъжност „Доцент“ в професионално направление 5.2 „Електротехника, електроника и автоматика“ за Учебна дисциплина „Цифрова обработка на сигнали“, към катедра „Електронна техника и микроелектроника“ при „Факултет по изчислителна техника и автоматизация“, обявен в ДВ бр. №31/19.04.2022 г.

За участие в конкурса са подбрани общо 19 рецензирани научни труда. Кратка статистика за научните публикации е представена в Таблица 1.

**Таблица 1. Научни трудове - показатели**

Показател	Брой
Публикации	19
Публикации индексирани в базата данни SCOPUS	18
Публикации индексирани в базата данни IEEE eXplore	12
Публикации индексирани в базата данни Web of science	2
Самостоятелни публикации	5

Научните публикации са разделени в три групи – В4, Г7 и Г8, спрямо групирането им в документ **„5. Подробна справка за изпълнение на минималните национални изисквания“**

Резюметата представят трудовете в общ план, като претенциите на автора за приноси и цитирания са в документи **„6. Справка за оригиналните научни приноси на представените научни трудове“** и **„9.1. Списък на цитиранията представени за конкурса“**

[Показател В4] Хабилитационен труд – научни публикации в издания, които са реферирани и индексирани в световноизвестни бази данни с научна информация.

**[B4.1]** Van den Bossche, A., Bikorimana, J. M. V., & Feradov, F. (2014). Reduced losses in PV converters by modulation of the DC link voltage. *Renewable Energy and Power Quality Journal*, 1(12)

Статията представя подходи за намаляване на загубите във фотоволтаични преобразуватели чрез използването на полипропиленов кондензатор в постояннотоковата връзка на преобразувателя и чрез модулация на напрежението ѝ. Използването на този подход поражда проблем касаещ управляемостта на и стабилността на схемата. За отстраняването на тези проблеми са разгледани два метода за управление – чрез константно време на изключване и базирано на ШИМ с използване на високочестотен филтър от втори ред.

Разгледаната топология е базирана на трифазен мост използван за еднофазно инжектиране на енергия в мрежата. Топологията се използва като LCL филтър, интегриращ понижавач и повишаващ преобразувател. Предимствата на този подход са в по-ниските колебания на входния и изходния ток, по-ниските загуби поради ограниченото използване на някои от транзисторите и поради ограниченото напрежение върху кондензаторите. Като цяло загубите в фотоволтаичния преобразувател се дължат на различни явления, като едно от най-значимите е превключването на силовите електронни компоненти. Тъй като превключването се осъществява при високи нива на тока в постояннотоковата връзка, е нужно използването на кондензатор с ниско еквивалентно съпротивление, като полипропиленовите кондензатори покриват това условие.

За управлението на схемата е избрано управление по пиков ток, тъй като то предоставя и допълнителна защита. Този тип управление се активира след достигането на предварително зададени нива на ток. Избраният метод е оценен както експериментално, така и чрез компютърни симулации. Целта на симулациите е да се оцени динамиката в постояннотоковата връзка при използването на базова схема за управление по пиков ток и модификация включваща обратна връзка чрез високочестотен филтър, подобряваща стабилността на системата. Параметрите на тестваната система са: входното напрежение 100 V, изходно напрежение 200 V, референтното ниво на тока е 6 A, а честотата е 125 Hz.

Експерименталната постановка включва силова част, блок за управление по пиков ток и блок за защита от пренапрежение. Проведените практически изследвания следват симулационните постановки. Резултатите показват, че докато е в режим на повишаващ преобразувател системата работи стабилно, докато в режим на понижавач преобразувател системата демонстрира нестабилност. В допълнение към управлението по пиков ток е разгледано управление базирано на ШИМ, което макар и с по-голямо време за реакция се реализира по-лесно и не изисква използването на микроконтролер при управлението на устройството.

На база на направените наблюдения, може да се заключи, че при реализацията на еднофазен преобразувател може да се използва топология базирана на трифазен преобразувател, при която едното рамо се използва като повишаващ преобразувател включващ полипропиленовите кондензатор в постояннотоковата връзка. Недостатъците на този подход са възникващите резонанси, които водят до нестабилност на работата на преобразувателя, които могат да бъдат неутрализирани чрез използването на аналогово управление или управление с бързодействащ микроконтролер. В допълнение, представената топология предоставя възможност за фино управление на процесите посредством множество методи за превключване на силовите електронни ключове, което води до намаляване на загубите в разгледания фотоволтаичен инвертор.

[B4.2] Van Den Bossche, A., Dimitrova, E., Valchev, V., & Feradov, F. (2017). A simplified controller and detailed dynamics of constant off-time peak current control. *Journal of Electrical Engineering*, 68(5), pp. 390-395

В статията е изследвана лесна, евтина и ефективна разновидност на управление на база пиков ток с фиксиран период на изключване. Предимствата на такъв тип управление е, че то е безусловно устойчиво, бързо и предлага комбинация между управление по ток и токова защита. Целта на представената разработка е детайлното изследване базови схеми и предавателни функции използвани при реализирането на управление по пиков ток. Стандартно които този тип управление намира приложение в повишаващите преобразуватели за фотоволтаични панели, зарядни на батерии, контролери за корекция на мощността, контролери на електрически двигатели и други. В допълнение големият диапазон на промяна на индуктивността също не оказва ефект при насищане на индуктора. При реализацията на този тип контролери, дори и при възникването на сериозни смущения, работната честотата не клони към безкрайност за разлика от хистерезисното управление при което преобразувателя може да бъде повреден поради смущения при измерването на тока.

Работата на управлението по пиков ток е базирано на следният принцип: транзисторът превключва когато протичащият ток достигне стойност по-голяма от зададената пикова стойност  $I_{LIMIT}$  и е запушен за фиксиран период от време. Ако след отминаването на времевия период стойността на тока все още е по-висока транзисторът остава запушен.

Изследвания на работата на управлението по пиков ток са проведени използвайки два подхода: математическо моделирани и практически експериментални изследвания. При анализа на представения принцип за управление са разгледани общо три подхода за математическо моделиране: анализ във времевата област, анализ на преходните характеристики и анализ на преходните характеристики в честотната област. В допълнение към математическото моделиране на управлението са проведени и Pspice симулации на схемата в за управление. Резултатите показват, че е нужен времеви период от близо 4.2  $\mu s$  преди запущването на използвания идеален транзистор. Това забавяне се дължи главно на вътрешни времезакъснения в контролиращата интегрална схема. При практическите измервания закъсненията са породени и зависят от използваните преобразуватели на ниво и токови преобразуватели.

В допълнение към математическия анализ са проведени редица практически измервания на базата на тестова постановка на повишаващ постоянен ток преобразувател. Характеристиките на използваната установка са както следва: входно напрежение от 100 V DC, индуктор 600  $\mu H$ , товарно съпротивление 60.9  $\Omega$  свързано в паралел към кондензатор 20  $\mu F$ . Токът протичащ през индуктора се използва като вход за схемата за управление по ток.

В заключение може да се отбележи че управление на база пиков ток има отлична динамика във времевата област, което го доближава до управление с време на превключване от един период (*dead-beat control*). В честотната област предавателната характеристика може да се апроксимира към предавателна функция с време на закъснение от половин период и амплитуда от типа  $\sin(\omega Ts)/(\omega Ts)$ . При двойно намаляване на честотата на превключване се наблюдава двойна амплитуда и голямо фазово отместване, като това е в съответствие с теоремата на Найкуист. Наблюдаваната грешка е константна, като съществува възможност за корекция. Традиционно, практическата реализация на управлението по пиков ток е сложно, но може да се реализира лесно в по-малки схеми, чрез комбинирането на два компаратора и тригер на Шмит.

**РЕЗЮМЕТА** на научноизследователските трудове на д-р инж. Фирган Нихатов Фератов

**[B4.3]** Dukov, N., Bliznakova, K., **Feradov, F.**, Buliev, I., Bosmans, H., Mettievier, G., Russo, P., Cockmartin, L. and Bliznakov, Z., (2019). Models of breast lesions based on three-dimensional X-ray breast images. *Physica Medica*, 57, pp. 80-87.

В статията е представен методика за създаване на компютърни модели на лезии на млечна жлеза с ирегулярна форма на базата на пациентски изображения от Цифрова томосинтеза на гърда (DBT), компютърна томография и мастектомия. Използваният подход включва шест основни стъпки: 1) Нормализиране на яркостта на томографски изображения; 2) Намалване на шумовете в изображенията; 3) Бинаризация на областта на лезията; 4) Прилагане на морфологични операции за допълнително намалване на нивото на артефактите; 5) Прилагане на техники за разрастване на региони с цел сегментиране на лезията; 6) Създаване на 3D модел. Алгоритъмът е полуавтоматичен, тъй като началният избор на област на лезията и позиционирането на началната точка за разрастването на региони се извършва интерактивно. За извършването на процеса, използвайки работната среда Matlab е разработен цялостен софтуерен инструмент.

При създаването на алгоритъма за сегментация на тумори са използвани 4 от 50 набора от DBT изображения на пациенти диагностицирани с рак. Броят на срезове в данните варира между 40 до 60, като всеки срез е с дебелина 1 мм. При изображенията снети посредством томосинтеза размерът на пикселите от 90  $\mu\text{m}$ , и са използвани 13 проекции, с диапазон на изместване 40 градуса. При втората постановка размерът на пиксела е 85  $\mu\text{m}$ , и са използвани 25 проекции с диапазон на изместване 50 градуса.

Разработената методология е оценена посредством два подхода: 1) чрез сравняване на автоматично сегментирани тумори с ръчно сегментации, извършени ръчно от опитни радиолози; 2) чрез сравняване на получения след сегментация резултат с еталонен тумор, генериран добавен към симулирани мамографски изображения.

При използването на първия подход сегментирането на туморите в срезове е оценено от радиолози и са създадени 3D модели на лезиите. Сегментацията, извършена от радиолозите и резултатите получени след изпълнение на алгоритъма са сравнени използвайки следните описатели: Коефициент на съвпадение, Процентна разлика в обема, Обем селектиран от алгоритъма и Обем сегментиран от радиолозите. Оценката поставена от радиолозите отчита задоволително ниво на селекция на туморите. В допълнение за три от разгледаните DBT случаи е направена независима селекцията от всеки един от радиолозите, като във всички случаи областта селектирана от алгоритъма е с по-малка площ от тази, отбелязана от радиолозите. Резултатите за изчислените коефициенти за съответствие между селекцията алгоритъм-радиолог и радиолог-радиолог са със сходни стойности.

При втория подход избран тумор е интегриран в компютърен модел на гърда с цел оценка на алгоритъма. Относителния обем на разликите между еталонния туморен обем и резултата получен след прилагането на алгоритъма е 5%, което демонстрира удовлетворителните резултати получени в резултат от прилагането на предложения алгоритъм за сегментация. Разработените софтуерни инструменти са използвани за създаването на модели на различни анормални образувания на млечната жлеза, които са обединени в база данни, предвидена за изследователи работещи в областта.

В заключение може да се отбележи, че предложеният алгоритъм спомага обработката на набори от изображения от DBT и компютърни томографии, както и изображения снети от гърда след прилагането на мастектомия, с цел ускоряване на разработването и запълването на бази данни съдържащи модели на тумори на млечна жлеза.

[B4.4] Bliznakova, K., Dukov, N., **Feradov, F.**, Gospodinova, G., Bliznakov, Z., Russo, P., Mettivier, G., Bosmans, H., Cockmartin, L., Sarno, A., Kostova-Lefterova, D. and Encheva, E., (2019). Development of breast lesions models database. *Physica Medica*, 64, pp. 293-303

Статията представя разработването и съдържанието на базата данни на модели на тумори на гърдата MaXIMA, чиято цел е да предостави на изследователи сегментирани и математически генерирани модели на тумори.

Базата данни съдържа множество триизмерни изображения на лезии с нестандартни форми, събрани по време на изследвания на пациенти или при специализирани научни изследвания. За извличането на 3D обемите на туморите на гърда от пациентски изображения е използван специализиран алгоритъм разработен с цел обработката на 50 набора от цифрови мамографии на пациенти диагностицирани със злокачествени и доброкачествени тумори. В допълнение са използвани компютърни томографии на три гърди, отстранени след мастектомия, както и 5 набора от данни от сканиране на цяло тяло. Алгоритъмът за сегментация включва последователност от операции по обработка на изображения и техники за разрастване на региони (region growing) и изисква минимално количество команди от потребителя, нужни за откриването и сегментирането на областта на тумора. В допълнение на моделите на тумори, получени след сегментиране на изображения, базата данни включва и математически генерирани модели на тумори. Техниките използвани за генерирането на математическите модели включват алгоритъм за триизмерно случайно обхождане на предварително зададен 3D обем, представляващ нулева тримерна матрица.

Представената база данни MaXIMA съдържа 50 модела на рак на гърдата получени след сегментация на триизмерни мамографии (томосинтези) на пациенти, 8 модела базирани на сегментация на пациентски томографии и 80 модела базирани на математическо моделиране, като всеки модел включен в базата данни е допълнен от съпътстваща информация. Приложението на базата данни е насочено в две основни области. Първата обхваща изследвания насочени към добавянето на лезии към компютърно генерирани фантоми на гърда. Включването на тумори към такъв тип фантоми е от ключово значение, тъй като подобрява реализма на анатомичните елементи в получените двуизмерни изображения (и в триизмерните проекции). Второто приложение е насочено към генерирането на мамографски изображения съдържащи различни типове тумори и с разнообразни форми с цел оценка и верификация. При този подход проекциите на туморите са симулират и после се добавят към различни области на клинични мамографии. По този начин е възможно: 1) генерирането на рентгенови проекции на 3D тумори на гърда чрез софтуерни приложения способни да симулират радиационно облъчване; 2) обединяването и внедряването на получените проекции в изображения на здрави пациенти, като получените изображения могат да се използват за обучителни или изследователски цели.

И двата подхода демонстрират реализацията на множество сценарии и случаи, които могат впоследствие да се използват за допълнително софтуерно моделиране или изследване на техники за обработка на изображения. Тези подходи са от изключително значение при проектирането, разработването и тестването на нови устройства.

Разработената база данни служи като източник на модели за изследователи работещи в областта на образната диагностика на гърда и подобряването на техниките за детекция на рак. Интерфейсът на базата данни е интернет-базиран и е свободно достъпен, като по този начин цели да подпомогне както изследователите работещи в областта така и професионалистите обучаващи в областта на биомедицинското инженерство.

**[B4.5]** Dukov, N. T., **Feradov, F. N.**, Gospodinova, G. D., & Bliznakova, K. S. (2019). An approach for printing tissue-mimicking abnormalities dedicated to applications in breast imaging. Paper presented at the *2019 28th International Scientific Conference Electronics, ET 2019 - Proceedings*

Разработването на нови системи за детекция на тумор на млечната жлеза е свързано с виртуалните клинични изследвания, които изискват наличието на значителен брой изображения съдържащи реалистични патологии. За тази цел са нужни модели на лезии на млечната жлеза които са възможно най-близко до реалните такива. Целта на настоящото изследване е създаването и оценката на методология за генериране на реалистични триизмерни (3D) модели на тумори на гърдата с нерегулярна форма и обединяването им в свободни бази данни.

Предложената процедура за принтиране на модели на тумори на млечна жлеза е приложим както за модели генерирани посредством математически алгоритми така и за модели извлечени от реални пациентски данни. Първите стъпки по обработката включват преобразуването на данни от математически или пациентски модели в STL файлове, които се зарежда в софтуер за 3D принтиране, където се обработва допълнително. Тези обработки включват изглаждане на повърхността (при пациентски данни с ниска резолюция) или преоразмеряване на туморния модел.

В представеното изследване моделираните данни на пациенти са снети основно чрез цифрова томосинтеза и компютърна томография направена след мастектомия. Математическите алгоритми използвани за моделиране на тумори с нерегулярна форма включват две фази: 1) Използване на случайно обхождане за създаване началните форми, реализирани посредством алгоритъм за Брауново движение или посредством Случайно обхождане на най-близките елементи (NNRW); 2) Създаване на плътни туморни форми посредством 3D филтриране и морфологични операции. Триизмерните математически модели базирани на пациентски данни се създават посредством сегментиране на туморни образувания от пациентски изображения и наслагването на данните в 3D матрици. Сегментацията се извършва по частично автоматизиран подход чрез разработен софтуер за сегментация на медицински изображения.

Използвайки създадените 3D туморни модели чрез 3D принтер LeapFrog Creatr се принтират физически модели на лезии. За изработката на моделите се използва черен PLA материал. Завършените туморни модели се използват за създаването на физически фантоми на гърда, като методологията за изработката включва моделиране и принтиране на различните елементи на гърдата: кожа, млечни жлези и мастна тъкан. В частност за мастната тъкан е използван ABS материал, а за кожата и жлезите са използвани епоксидни смоли.

В резултат са произведени общо 5 туморни модела – 4 математически и един базиран на данни от сегментирани изображения. Създадените модели са както следва: 1) Компютърен модел генериран чрез Брауново движение с размери 14.9 x 14.9 x 14.9 мм. принтиран с черен PLA; 2) Три компютърни модела генерирани с NNRW с размери 13.5 x 14.5 x 16.0 мм. 27 x 30 x 32.1 мм. и 28.5 x 18 x 26.1 мм. принтирани с черен PLA; 3) Модел от сегментирани медицински изображения с размери 20.9 x 18.3 x 9.8 мм. принтиран с черен PLA. Създадените модели са поставени в два физически фантома на гърда, включващи: 1) Съд от PLA; Тъкани – ABS; Жлези – сива смола; Тумор – PLA; 2) Съд от PLA; Тъкани – сива и прозрачна смола; Жлези – сива смола; Тумор – PLA. Изготвените фантоми, съдържащи модели на туморни образувания, са тествани в клинични условия, като спецификите им са оценени чрез 2D и 3D техники за образна диагностика.

**[B4.6] Feradov, F.,** Marinov, S., & Bliznakova, K. (2020). Physical breast phantom dedicated for mammography studies. Paper presented at the *IFMBE Proceedings*, 76, pp. 344-352

Статията представя методология за създаване на антропоморфни физически фантоми на гърда за целите на лъчевата образна диагностика. Използването на физически фантоми в диагностичната радиология е утвърден подход за определяне на радиационната доза, контрола на качеството на системата и разработването на нови техники за образна диагностика. За изработката на фантомите е използвана комбинация от материали (прозрачна смола, сива смола и полилактид (PLA)) и методи (моделиране чрез наслояване (FDM) и стереолитография (SLA)). Годността на получените фантоми е оценена посредством изследвания чрез цифрова маммография, като в частност са снети два набора от изображения използвайки 22 kVp и 28 kVp, а получените изображения са сравнени с реални маммограми.

Основните елементи изработени за създаването на фантомите на са външен съд, модел на млечна жлеза и модели на мастни образувания. Формата на съда е полуцилиндрична, с радиус на основната 59 мм. и височината е 49 мм. За изработването на компонентите на фантомите са използвани две технологии за 3D принтиране – FDM и SLA. За изработването на жлезите и мастните образувания се използват прозрачна и сива смола в комбинация със SLA, а външният съд се изработва с PLA и FDM. Моделът на съда е създаден в DesignSpark Mechanical 2.0, а жлезите са моделирани посредством BreastSimulator. Мастните образувания са моделирани на базата на сегментирани мастни образувания от томографски изображения на гърда.

За експерименталната оценка са направени рентгенови изображения на физичните фантоми използвайки цифров маммограф Siemens с резолюция на детектора 0.085 мм. x 0.085 мм. При напрежение от 22 kVp и 28 kVp са снети два комплекта с проекции, всеки съдържащ 10 изображения. Разстоянието между източника и детектора е 660 мм. Оценката на изображенията е проведена чрез разработен специализиран софтуер за изчисление на описатели от изображения от лъчева диагностика. В проведеното изследване са разгледани следните статистически описатели на изображенията: Куртоза, Коефициент на асиметрия, Енергия и контраст на GLCM (Gray-level co-occurrence matrix). Оценката на фантомите е направена чрез сравняване на описатели от реални изображения на гърда снети от 20 пациенти и изображения на изработените фантоми. В частност описателите се изчисляват от произволно избрани региони на изображенията, след което се осредняват като се анализира средната им стойност и стандартното им отклонение. Селектираните региони са с размер 128x128 пиксела и 50% припокриване между съседните региони. Всички избрани области попадат в рамките на изследваните обекти, като кожата, костите и фонът на изображенията не се изследва.

Проведеният сравнителен анализ показва добри нива на съвпадение между описателите на фантома и реалните изображения. По-близки характеристики се наблюдават между изображенията снети с 28 kVp, което е стандартно използваната енергия при снемането на маммографски изображения.

На база на получените резултати, може да се заключи, че се наблюдава сходство в описателите, изчислени от изображения на разработения фантом и реални маммографски изследвания.



**[B4.7]** Marinov, A., Bekov, E., **Feradov, F.**, & Papanchev, T. (2020). Genetic algorithm for optimized design of flyback transformers. Paper presented at the *2020 21st International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies, SIELA 2020 - Proceedings*

Статията представя подход за проектиране на трансформатори за обратни трансформаторни преобразуватели базиран на принципите на компютърното проектиране, като в основата му е заложено използването на генетични алгоритми. Генетичните алгоритми позволяват оптимален избор на ключови за трансформаторите компоненти и параметри, като целевата функция – базирана на предпочитанията на проектанта – може да включва ефективност, цена, размери, топлинно разсейване, тегло и други параметри.

Разработената методика се състои от десет стъпки, като основния процес на проектиране може да се опише по следния начин: 1) Въвеждане на данни на потребителя; 2) Изключване на неподходящите магнитопроводи; 3) Генериране на популация използваща останалите елементи в базата данни; 4) Оценка на елементите на популацията спрямо зададените входни параметри, като неподходящите дизайни се отхвърлят; 5) Останалите възможни решения се тестват спрямо фитнес функцията (която може да съдържа зададени от потребителя параметри, които се оценяват на тяхната значимост за дизайна); 6) Най-успешните, в отношение на фитнес функцията, дизайни се използват за генериране на производни дизайни посредством мутация и кръстосване, като процеса се повтаря докато се синтезира дизайн с удовлетворителни параметри.

Базата данни използвана за тестването на предложения подход е разработена в XML формат и включва три отделни даннови структури. Първата структура обхваща избора на магнитопроводи, втората описва материалите използвани за изработване на магнитопроводите, а третата съдържа информация за проводниците, които могат да бъдат използвани в дизайните. Първите две структури се използват директно от генетичния алгоритъм, докато третата е част от процеса по проектиране – проводниците се избират в зависимост от магнитопровода и топологията, селектирана от алгоритъма. Към процеса на избор на дизайн е включена процедура по изключване на елементи от базата данни, в съответствие със зададените входни параметри.

Разработената методология е реализирана под формата на скрипт в програмния език Питон. Трите даннови структури включват общо 374 магнитопровода, 5 материала и 56 вида проводници. Алгоритъмът е изследван на базата на няколко различни топологии използвайки различни подходи за дизайн. Системата демонстрира възможност за генериране на решения близки до оптималните в рамките на малък брой итерации и епохи. Основните наблюдавани недостатъци са: 1) Преждевременно приключване на оптимизационния процес; 2) Избор на неподходящи топологии, въпреки съществуващите защитни процедури.

Алгоритъмът е верифициран на база на задача, касаеща разработването на обратен трансформаторен преобразувател с една вторична намотка. Примерът е насочен към маломощно (изходна мощност 36W) мрежово (VAC 240V/50Hz) приложение работещо в прекъснат режим на работа. Допълнителните изисквания включват  $V_{or} = 70V$  и подсилена изолация, като параметрите които се оптимизират са ефективност и тегло. Този дизайн е избран поради спецификите му, широкото му разпространение и по-лесната възможност за автоматизиране на процеса на проектиране.

След изпълнението на процедурата е избран дизайн със значително намалени загуби, като теглото на преобразувателя е константно по време на оптимизацията отнела 7 епохи, като резултатите потвърждават приложимостта на разработения алгоритъм.

**[B4.8]** Marinov, A., Feradov, F., Papanchev, T., & Bekov, E. (2020). Random forest algorithm in determining the viability of the implementation of synchronous rectification/operation in power electronic converters. Paper presented at the *2020 International Conference Automatics and Informatics, ICAI 2020 - Proceedings*

Статията представя реализацията на Random Forest (RF) алгоритъм в приложение насочено към проектирането на силови електронни преобразуватели. Алгоритъмът се използва за подпомагането на избор на топология и, в частност, предоставянето на насоки при избора между топология използваща активни електронни ключове или стандартни топологии използващи диоди. Представеният алгоритъм е приложен при проектирането на трансформаторни и безтрансформаторни преобразуватели, като работата му е демонстрирана посредством пример на преобразувател с трансформатор.

В предложената експертна система, решението дали в дадена топология да се използват електронни ключове или диоди се взема на основата на RT алгоритъм. Този алгоритъм е избран за настоящата задача поради някои от основните му характеристики, сред които са високата точност, надеждно изчисляване на тежестта на описателите, възможност за класификация без пропуск на данни и други.

Първите елементи, нужни за тренирането и реализацията на системата, са тренировъчни данни и целеви стойности. В настоящия случай целевите стойности са дефинирани под формата на два класа – топологии използващи MOSFET транзистори или диоди. Тренировъчните данни включват следните параметри, които са универсално приложими и към двете топологии и трябва да бъдат предоставени от потребителя: Входно напрежение, Изходно напрежение, Работна честота, Токови колебания, Тегловен коефициент за тежест и Тегловен коефициент за цена. Наличието на тренировъчни и тестови данни е сериозен проблем пред реализацията на предложената експертна система. Поради липсата на съществуващи бази данни за целите на изследването са съставени комплекти от данни. В основата на използваната експертната система е директният подход, при който ефективността топологията се тества чрез произволно генерирани дизайни на база на обширна база данни на реални транзистори и диоди. Генерираните решения се оценяват чрез фитнес функция в зависимост от коефициентите за тежест и цена. Крайният клас се определя на база на броя MOSFET и транзисторни решения в най-добрите  $n$  генерирани дизайни.

RT алгоритъмът, използван в представената експертна система, е реализиран в скриптовият език Питон, където за генерирането на модела е използвана библиотеката „Scikit-Learn“, предоставяща всички възможни опции и настройки на RT алгоритъма за нуждите на експертната система. За верифицирането на системата и оценката на точността ѝ методологията за създаването ѝ е обединена в цялостна скриптова програма и е тествана посредством топология на понижаващ преобразувател. Тази топология е избрана заради по-ниската ѝ сложност и по-лесната оценка на ефективността ѝ. В резултат на проведените тестове е получена точност 0.942. В допълнение са проведени и тестове за поставената от алгоритъма оценка на тежестта на описателите.

В рамките на публикацията е представена експертна система подпомагаща избора на топология при проектирането на електронни силови преобразуватели. Системата е реализирана и е разработена база данни за оценката ѝ. Работата на системата е оценена на базата на експеримент насочен към проектирането на понижаващ преобразувател, като алгоритъмът демонстрира задоволителна ефективност и точност. Сред недостатъците на разработения алгоритъм е нуждата от създаването на база данни за всяка разглеждана топология и невъзможността за оценка на паралелните процеси в преобразувателите.

[B4.9] Feradov, F., Mporas, I., & Ganchev, T. (2020). Evaluation of features in detection of dislike responses to audio–visual stimuli from EEG signals. *Computers*, 9(2)

Съществува силна корелация между харесването и нехаресването на аудио-визуални стимули и емоционалната и възбудата и валентност на реакцията към тези стимули. Настоящата разработка е насочена към автоматизираното разпознаване на нехаресване на база на ЕЕГ активност, при използването на музикални видеоклипове като аудио-визуални стимули. В частност са изследвани качествата на логаритмичната енергия (LogE), линейните кепстрални коефициенти (LFCC), плътността на спектралната мощност (PSD) и коефициенти получени в резултат на дискретно вълничково разлагане (DWT) като ЕЕГ описатели, изчислени при и без прилагане на сегментация на ЕЕГ сигналите, при класификацията на състояния на нехаресване.

Проведеното изследване разглежда два различни подхода за обработка на ЕЕГ сигнали и, в този контекст, са проучени качествата на описатели изчислени на базата на разгледаните подходи за обработка. Изчислените описатели могат да бъдат разделени в две основни групи – първата е описатели базирани на честотно разлагане посредством дискретно преобразование на Фурие, а втората група съдържа описатели изчислени на базата на вълничкова декомпозиция на сигнали. В частност описателите попадащи във втората група са базирани на 4 вълничкови функции – Daubechies от 4 и 32-ри ред, Coiflets от 5-ти ред и Symmlets от 8-ми ред. Двата подхода за обработка на сигналите използвани за изчисляване на описатели са използването на целия ЕЕГ сигнал и разделянето на ЕЕГ сигналите на отрязъци и осредняването им.

Експерименталната оценка на описателите е извършена на базата на ЕЕГ записи от базата данни DEAP, съдържаща записи от 32 участници, всеки от които наблюдава 40 аудио-визуални стимула. За представения експеримент данните се разделят на базата на поставената оценка по критерия *харесване* на стимулите, като се формират две категории – *нехаресвани* и *други*. Участниците, при които една от двете категории съдържа по-малко от 20% от данните са изключени, като в резултат са използвани записите на 24 участника в базата данни. Използва се индивидуална класификационна постановка, като за валидацията на резултатите експериментите се повтарят 10 пъти. Всеки от описателите се изчислява от записите с дължина 60 сек. със и без прилагане на сегментиране и осредняване. При изчисляването на кепстралните коефициенти и логаритмичната енергия се използват банки с 10, 15, 20, 30, 45 и 60 филтъра, а при прилагането на вълничково разлагане се използват 4 вида вълнички. В резултат за всеки участник се създават 18 комплекта от данни за всеки от двата подхода за изчисляване. Експерименталната оценка се извършва в софтуерната среда за машинно обучение WEKA, като се използват 4 алгоритъма за класификация - Naïve Bayes (NB), REP, kNN и rbf SVM.

В резултат на проведената експериментална оценка, за двата метода на обработка е получена средна класификационна точност варираща между 53.8 и 98.6%. Широките рамки на вариация са в зависимост от специфичната комбинация от използвани ЕЕГ описатели и класификатори. Най-ниският резултат е получен при използването на NB класификатор и описатели PSD<sub>All</sub> за целия сигнал, а най-високият резултат – 98.6% - е постигнат при използването на kNN и вълничково преобразование с db4, изчислени за целия сигнал. В заключение може се отбележи, че двата метода за обработка представят ЕЕГ активността по два различни начина. При използването на целия сигнал се разглежда цялата налична информация за състоянието по време на записа, а осреднения сегмент представя преобладаващото състояние на индивида, като детайлите се пропускат.

**[B4.10] Feradov, F.,** Ganchev, T., & Markova, V. (2020). Automated detection of cognitive load from peripheral physiological signals based on hjorth's parameters. Paper presented at the *Proceedings of the International Conference on Biomedical Innovations and Applications, BIA 2020*, pp. 85-88

Продължителното когнитивно натоварване води до умора и понижаване на вниманието и концентрацията в следствие на натрупването на стрес, което води до намаляване на ефективността на работа и рискове за здравето и сигурността. Представеното изследване разглежда приложимостта на параметрите на Хьорт – Активност, Мобилност и Комплексност – като описатели при автоматизираното разпознаване на когнитивно натоварване от физиологични сигнали. В частност се разглежда детекцията на състоянията на високо когнитивно натоварване от фотоплетизмографски (ФПГ) сигнали и записи на галванично съпротивление на кожата (ГСК).

Разпознаването на когнитивно натоварване е стандартна задача в областта на машинното обучение и включва първоначална обработка на ФПГ и ГСК сигнали, изчисляване на описатели, вторична обработка и класификация. Във фазата на първоначална обработка ФПГ и ГСК сигналите се филтрират с цел намаляване на артефактите, смущенията от електропреносната мрежа и други шумове. При следващата стъпка сигналите се разделят на отрязъци с продължителност от няколко секунди, като всеки отрязък се използва за извличане на описатели. Проведеното изследване използва параметрите на Хьорт (Активност, Мобилност и Комплексност) като описатели, тъй като те отразяват вариациите в амплитудата, времевите характеристики и честотните параметри на сигналите. Получените параметри се мащабират в диапазона 0 – 1 с цел улесняване на класификационния процес.

Експерименталният протокол е базиран на част от базата данни CLAS, съдържаща ФПГ, ГСК и ЕКГ сигнали от 60 участници, които изпълняват 5 различни задачи: 3 от задачите касаят решаване на тестове – математически, IQ и тест за съсредоточеност – докато другите две задачи са насочени към предизвикването на емоционални реакции. В настоящото изследване за детекцията на когнитивно натоварване се използват единствено данните записани по време на IQ и математическите тестове. Традиционно детекцията на когнитивно натоварване се дефинира като задача за разпознаване на два класа, които в случая са дефинирани като „когнитивна активност“ и „покой“. На база на този подход описателите се изчисляват и се формират описателни вектори. При изчисляването се използват данните на 59 участници в базата данни, като за всеки участник се формират 7 комплекти от данни, в съответствие с различни комбинации на изчислените описатели. Класификацията на данните се извършва в софтуерната среда за машинно обучение WEKA, като се използват 4 класификационни алгоритъма – MLP, Логистична регресия (LR), rbf SVM и полиномен SVM.

В резултат на проведените експерименти е получената средна точност на класификация варираща в границите 43.2% до 84.%. Най-ниският резултат е получен при използването на комбинация на описателите Мобилност и Активност изчислени от ФПГ сигнали при решаването на математически задачи и класификатор MLP. Най-добрият резултат е получен при комбиниране на Мобилност и Комплексност от записи на ГСК по време на математически задачи (за полиномен SVM). Резултатите показват, че използването на ГСК води до по-високи резултати, като това наблюдение е сила и за двата типа изследвано когнитивно натоварване. В заключение може да се отбележи, че параметрите на Хьорт могат да бъдат използвани при автоматизираната класификацията на състояния на когнитивно натоварване посредством използването на физиологични сигнали.

**[B4.11] Feradov, F.,** Ganchev, T., Markova, V., N. Kalcheva “EMD-based Features for Cognitive Load and Stress Assessment from PPG Signals”, Paper presented at *International Conference on Biomedical Innovations and Applications - BIA-2021*, Varna, Bulgaria, 2022, paper. #43

Работният стрес и умора свързани с когнитивното натоварване имат значим социален ефект и са сред водещите причини за здравословни проблеми в модерната работна среда. Представената статия изследва приложимостта на описатели базирани на Емпирично разлагане (EMD – Empirical Mode Decomposition) за детекция на стрес и когнитивно натоварване от фотоплетизмографски (ФПГ) сигнали. Тези описатели се изчисляват след разлагането на ФПГ сигнали посредством EMD и изчисляването на статистически параметри от получените хармонични функции (Intrinsic Mode Functions – IMF).

Предложеният метод за изчисляване на ФПГ описатели е базиран на EMD разлагането на сигнали, последвано от изчисляването на статистически параметри от получените хармонични функции. Първоначално обработваният ФПГ сигнал се филтрира с цел потискане на смущенията и нежеланите спектрални компоненти, след което върху целия филтриран запис се прилага емпирично разлагане. Получените хармонични функции съдържат естествените амплитудни и честотни модуляции, отразяващи специфични видове осцилации наблюдавани в разлагания сигнал. При следващата стъпка всички изчислени хармонични функции се разделят на сегменти с фиксирана дължина и без припокриване между съседните сегменти, от които се изчисляват следните статистически описатели: максимална, минимална, медианна и средна стойност, както и стандартно отклонение. При финалната стъпка статистическите параметри от всички функции за даден времеви момент се групират в общ вектор с описатели.

Оценката на ефективността на предложените статистически описатели е проведена използвайки експериментален протокол, насочен към разпознаването на стрес и умора по време на когнитивна натовареност. В частност експерименталната постановка използва ФПГ сигнали от свободно достъпната база данни CLAS, съдържаща записи на физиологични сигнали – ФПГ, ГКС и ЕКГ – снети от 60 участника, които изпълняват когнитивни задачи и наблюдават емоционални видеозаписи и снимки. При проведените експерименти се използват единствено ФПГ сигнали снети по време на когнитивна натовареност. При първата стъпка от формирането на индивидуалните комплекти от данни процедурата по изчисляването на описателите се извършва върху целия ФПГ запис, обхващащ 3 типа задачи – математически тест, IQ тест и тест за концентрация. За всяка от задачите изчислените описатели се разделят на 3 групи обхващащи отделни части от тестовете – *начало, среда и край*. За разпознаването на тези класове са използвани 3 алгоритъма в средата за машинно обучение към Matlab – Дърво на решенията (DT), SVM и kNN.

Средната точност получена след изпълнение на експериментите варира от 88.8% до 72.4%. Най-добрият резултат е получен при използването на класификатор тип DT при класификация на данни от записи направени при решаване на математически задачи. Най-ниски са резултатите при класификацията на описатели изчислени от записи на активност по време на IQ тестове, при използването на kNN класификатор. Стандартното отклонение в резултатите варира между 8.3% и 11.1%.

В заключение може да се отбележи, че проведеното изследване демонстрира, че предложеният метод за параметризация на ФПГ сигнали е приложим при детекцията на състояния на стрес и умора. Бъдещите изследвания ще бъдат насочени към изследването на по-специфични описатели базирани на емпиричното разлагане на сигнали.

[Показател Г7] Научна публикация в издания, които са реферирани и индексирани в световноизвестни бази данни с научна информация.

[Г7.1] **Feradov, F. N., & Ganchev, T. D. (2019).** Spectral features of EEG signals for the automated recognition of negative emotional states. Paper presented at the *2019 28th International Scientific Conference Electronics, ET 2019 - Proceedings*

Публикацията изследват свойствата на описатели, използвани в задачи касаещи разпознаването на негативни емоционални състояния от ЕЕГ сигнали. В частност предложените описатели представят динамиката на разпределението на спектралната енергия в честотният диапазон 20-35 Hz, на база на време-честотен анализ на многоканални ЕЕГ сигнали.

Изчислението на избраните спектрални описатели се извършва в три основни стъпки. Първата стъпка обхваща предварителната обработка на сигналите, при която използваните ЕЕГ сигнали се филтрират от артефакти и смущения, след което се разделят на сегменти посредством прозорец с фиксирана дължина. При втората стъпка върху всеки получен отрязък се прилага дискретно преобразование на Фурие, при което се изчислява спектърът на сигнала за отрязъка. Последната стъпка обхваща изчисляването на описателите, които са дефинирани като разликата между стойностите на избрания честотен диапазон на първия генериран сегмент и останалите сегменти.

В проведените експерименти се използват ЕЕГ данни от базата данни DEAP която съдържа физиологични и видео записи на хора, наблюдаващи музикални видеоклипове. В настоящото изследване са използвани данните на 10 участника включени в базата данни, като данните на всеки участник се разделят на две групи – „негативни“ и „други“. Разделянето се извършва на база на поставените оценки по критерий „харесване“ които могат да варират в диапазона от 1 до 9, където 1 е най-ниската оценка (не харесван), а 9 е най-високата (харесван). Критерият харесване бе избран поради по-високото ниво на когнитивна ангажираност, която предполага, като записите с оценка над 4 попадат в категория „други“. При изчисляването на описателите се прилага припокриване от 0.5 секунди между съседните сегменти, което води до генерирането на 125 отрязъка, при дължина на ЕЕГ записите от 63 секунди. Описателите са изчислени за честотния диапазон 20 - 35 Hz, като в резултат за всеки сегмент се генерират 16 стойности, а обработката на всеки канал и сегмент е идентична спрямо другите. Използваният честотен диапазон е избран с цел използването на активност свързана с когнитивна натовареност. Изчислените набори от данни се зареждат в софтуерната среда за машинно обучение WEKA, като са използвани два алгоритъма за класификация – rbf SVM и дърво на решенията C4.5. По време на изследването се използва 10-кратно кръстосано валидиране на резултатите.

Предложените описатели са оценени на базата на 20 индивидуални експеримента – по един за всеки участник и всеки класификатор. И двата метода за класификация демонстрират изключително висока точност – 94.3% средна точност за C4.5 и 96.8% за SVM. SVM алгоритъмът демонстрира по-добра класификация, като в 5 случая точността превишава 99.0%. Вариациите в резултатите при използването на този подход са 12.7% като най-ниският резултат - 87.0% - е получен за данните на участник №22, а най-високият – 99.7% - за участник №32. При използването на C4.5 вариацията на резултатите е 4.8%, като най-нисък е резултата на участник №28, а най-висок за участник №29 – съответно 92.9% и 97.7%.

Получените експериментални резултати сочат, че предложените описатели постигат висока точност на класификация и могат да бъдат използвани в задачи, касаещи автоматизираното разпознаване на емоционални състояния, породени в следствие от задачи с висока когнитивна активност, като слушане на музика или гледане на филм.

[Г7.2] Feradov, F., & Ganchev, T. (2020). Identification of affective mental activity based on multichannel EEG signals. Paper presented at the *Proceedings of the International Conference on Biomedical Innovations and Applications*, BIA 2020, pp. 101-104.

Статията представя метод за автоматизирана идентификация на емоционални състояние от EEG сигнали. Предложеният метод е изчислително ефективен, тъй като е базиран на директно използване на отчетите във времевата област на сигналите, без да изисква преобразуване в честотната област или други комплексни обработки на сигналите при изчисляването на използваните описатели за моделиране. В частност разработката разглежда осредняването на каналите на EEG сигнали, последващото разделяне на сигналите на отрязъци и базови обработки на получените сегменти като източник на индикатори за класификация.

Първата стъпка от разглежданите методи за обработка е базиран на поотчетното осредняване на каналите на многоканален EEG запис. Полученият осреднен EEG сигнал се разделя на отрязъци с фиксирана дължина, които се стандартизират по средна нулева стойност и единично стандартно отклонение. Изчислените стойности за всеки отчет се използват като описатели при моделирането на емоционални състояния. Проведеното изследване разглежда три подхода за обработка на EEG отрязъци. При първия подход стойностите на отрязъците се използват директно за моделиране. Вторият подход използва разликите между отчетите на два съседни отрязъка като описатели, с цел подчертаване на динамичните изменения в сигнала. При третият подход се използват разликите между фиксиран отрязък представящ мозъчната активност в неутрално състояние и отрязък на емоционална мозъчна активност. По този начин получените отчети отразяват разликата в активността между двете състояния.

За експерименталната оценка на предложения метод са използвани данни от свободно разпространяваната база данни DEAP, съдържаща EEG записи на емоционални състояния. За целите на използваната експериментална постановка данните на всеки участник в базата данни се разделят на четири категории в зависимост от оценките по критерий *възбуда* и *валентност* с които е оценен всеки стимул. След определянето на класа на всеки запис, използвайки представените подходи се изчисляват три набора от описатели. В процеса на изчисляване първата секунда от всеки запис се използва като еталонно неутрално състояние, а описателите се изчисляват за цялата дължина (60 секунди) на EEG записите. Създаването на модели и класификацията се извършват в софтуерната среда за машинно обучение WEKA, като се използват 3 алгоритъма за класификация – kNN, rbf SVM и дърво на решенията C4.5.

Най-високата средна точност, получена в резултат на проведените експерименти е постигната при използването на предложения метод за изчисляване на базата на разлики спрямо фиксиран отрязък. В частност е постигната средна точност от  $98.4\% \pm 1.9\%$  за kNN и  $97.7\% \pm 2.1\%$  за SVM класификатор. Тези резултати са значително по-високи от резултатите получени след прилагането на другите два стандартни метода за обработка.

В заключение може да се отбележи, че предложеният метод постигна значително по-добри резултати от другите два подхода. Като основно предимство на предложеният подход може да бъде отбелязана високата средна точност, постигната при използването на опростени описатели, при изчисляването на които се избягват тежки изчислителни процедури, преминаване в честотната област на сигналите или използване на многомерни описатели.



[Г7.3] **Feradov, F.** (2020). Study on the relation between affective and cognitive states for automated EEG analysis. Paper presented at the *Proceedings of the International Conference on Biomedical Innovations and Applications*, BIA 2020, pp. 105-108.

Статията изследва връзката между емоционалните състояния, дефинирани посредством дименсионалния модел, и когнитивната мозъчна активност. Анализът е извършен използвайки данни, предоставени в свободно разпространяваната база данни DEAP. В частност изследването е насочено към изучаването на връзките между самостоятелно поставени оценки относно емоционалното състояние – *Възбуда, Валентност, Доминантност, Харесване и Предходно познаване (или само Познаване)* – по време на наблюдаване на музикални видеоклипове.

DEAP съдържа записи на ЕЕГ и периферни физиологични сигнали, както и видео записи на хора наблюдаващи музикални видеоклипове. В базата данни са включени общо 32 участника, като с всеки от тях са направени 40 различни записа. Всеки запис използва различен стимул, като участниците оценяват емоционалната си реакция към наблюдавания клип на базата на 5 критерия – *Възбуда, Валентност, Доминантност, Харесване и Познаване*. Първите 3 критерия са стандартни параметри в изследванията насочени към разпознаването и класификацията на емоции и са свързани с физиологическата страна на емоционалните състояния. Допълнително включените *Харесване и Познаване* са свързани със субективното и индивидуално възприемане на стимулите. *Харесване* отразява нивото до което участникът харесва наблюдаваното видео, а *Познаване* – какво е нивото на което запознат с използвания стимул предходно от участието им в експеримента. Добавянето на тези два параметъра позволява да се изследва връзката между субективната когнитивна активност и възникващите физиологични реакции. В тази връзка проведеното е фокусирано в две основни насоки.

Първата насока е към изследване на влиянието на предходното познаване на стимули върху емоционалните реакции. Оценена е връзката между средната стойност и стандартното отклонение на оценките по различните критерии, в зависимост от поставената оценка по критерия *Познаване*.

Втората насока е анализа на оценката по критерий *Харесване*. Индикаторът *Харесване* едновременно отразява ниво на емоционална реакция към стимул (в случая музикални видеа) и има подчертано когнитивен характер, поради начина по който стимулите се оценяват. Анализът е базиран на разпределението на оценките по параметъра *Валентност* спрямо харесването на представените стимули.

Статистическото оценяване се провежда използвайки данните за всички участници с цел изследването на съществуващите влияния като неиндивидуални феномен. В резултат се наблюдава, че параметрите *Запознатост* и *Харесване*, които имат силно когнитивен характер, имат влияние върху формирането на емоциите и възприятията. Проведеното изследване показва, че предходното познание върху медийни стимули води до повишаване на оценките поставяни по критерий *Валентност* и *Харесване*. Допълнително, изследването на взаимовръзката между двата посочени параметъра показва, че когнитивната активност и възприемането на стимулите могат да се може да се отличава от индуцираните емоции и да доведе до разлики между записаните данни и очакваната емоционална реакция.

Получените резултати сочат, че при провеждането на изследвания насочени към оценката на емоционални състояния е нужно внимателно и целенасочено проектиране и подбор на използваните протоколи за запис и индуциране на емоционални реакции.

[Г7.4] Feradov, F. (2021). Spectral features for the classification of familiarity from EEG recordings. Paper presented at the 2021 44th International Convention on Information, Communication and Electronic Technology, MIPRO 2021 - Proceedings, pp. 323-327.

Предходното познаване различни обекти или стимули играе съществена роля при формирането на поведенчески и емоционални реакции. Представената публикация разглежда приложимостта на спектрални описатели при класификацията на предходно познаване на мултимедийни стимули от EEG сигнали. В частност се разглежда приложимостта на разликите и коефициента на ковариация на спектрални честотни ленти.

Първата стъпка от процеса по изчисляване на описателите е насочена към първоначалната обработка на многоканални EEG сигнали. Филтрираните сигнали се разделят на сегменти с дължина 1 секунда и 50% припокриване между съседни сегменти. В допълнение на двата вида описателите при изчисляването на разликата на спектралната плътност на мощността се използват два различни подхода при обработката на отрязъците: 1) Изчисляване на описателите за всички канали и 2) осредняване на канали и изчисляване на описателите от един осреднен EEG сигнал. Подходът при който се използват всички канали при изчисляването на описателите е широко разпространен в областта на обработката на EEG сигнали. По този начин изчислените описатели предоставят най-детайлната информация относно изследваните състояния, но водят до генерирането на големи многомерни набори от данни. Осредняването на EEG канали позволява компресирането на записите и извличаната информация и се използва като подход за намаляване на многомерността на EEG записи. Недостатъкът на този подход е загуба на информация за активността в отделните области на мозъка.

След първоначалната обработката върху генерираните EEG сегменти се прилага дискретно преобразование на Фурие и получените спектри се използват за изчисляване на избраните описатели, отразяващи спецификите на спектралната плътност на мощността на сигнала. В частност се изчисляват разликите между отделните сегменти за честотите в честотната лента 16-45 Hz. При изчисляването на описателите отразяващи ковариацията на спектъра същата честотна лента се използва за изчисляването на коефициенти на ковариация между отделните сегменти на сигналите.

При проведената експериментална оценка на описателите са използвани EEG записи от базата данни DEAP. Записите се разделят на класове на база на оценката на стимулите по критерий „Предварително познаване“. По този начин се дефинират 5 класа вариращи в диапазона „Не е запознат“ до „Познава стимула отлично“. От разделените данни се изчисляват представените описатели, като в резултат се формират три комплекти от данни за всеки участник. Първият комплект съдържа разликите на честотната лента, когато не се прилага осредняване на сегментите. Вторият съдържа разликите изчислени от осреднените сегменти. В третият комплект се съдържат изчислените коефициенти на ковариация. Класификацията на данните се извършва в средата за машинно обучение WEKA като се използват три вида класификатори – rbf SVM, kNN и C4.5 дърво на решенията.

След провеждане на експерименталната оценка най-високата средна точност от 99.5% е постигната при използването на kNN класификатор и спектрални разлики, без прилагането на осредняване. В заключение този тип описатели демонстрират най-високата точност, като близки по резултат са разликите изчислени от осреднените сегменти. Коефициентите на ковариация демонстрират най-ниски резултати – максимална средна точност от 80.1%.

[Г7.5] **Feradov, F. N.** (2021). EEG image features for classification of emotional states. Paper presented at the *2021 30th International Scientific Conference Electronics, ET 2021 - Proceedings*,

Статията представя изследване на описатели на EEG сигнали базирани на обработката на изображения, за целите на класификацията на емоционални състояния. Разгледаният подход е основан на обработката на многоканални EEG сигнали и представянето на мозъчната активност чрез пространствени спектрограми от които се изчисляват избрани описатели. Посредством хистограмите на получените изображения се изчисляват статистически параметри, отразяващи активността и разпределението ѝ – в частност се използват разликите на различни процентилни стойности.

В първоначалният стадий на обработка EEG сигналите се филтрират посредством високочестотен филтър с честота на срез 10 Hz. Получените сигнали се разделят на непериодични отрязъци с дължина 1 секунда. Използвайки дискретно преобразование на Фурие (DFT) се изчислява спектъра на сигнала за всеки един отрязък, като процедурата се повтаря за всеки един канал на EEG записа. Получените спектрограми, отразяващи честотната активност в различни области на мозъка, се трансформират в монохромни изображения. При последната стъпка от обработката се изчисляват хистограмите на получените изображения. Този подход се използва поради високото ниво на компресия на информацията което се постига като се избягва загубата на информация. Като описатели се използват разлики на проценти на хистограмите, което отразява разпределението на елементите в генерираните изображения.

При проведените експериментални изследвания са използвани EEG данни от базата данни SEED, като записите на всеки един от 15-те участници се разделят в три категории, в съответствие с класовете на използваните мултимедийни стимули – „положителни“, „неутрални“ и „негативни“. След обработката на EEG сигналите се изчисляват общо шест описателя – разликите между 98-ми и 80-ти, 82-ри, 84-ти, 86-ти, 88-ми и 90-ти процентил. В резултат се генерират 6 вектора с описатели, всеки с дължина 200 стойности, като всяка стойност отразява разликата между два проценти в определен времеви момент от записа. След като всички записи за даден участник се обработят получените вектори с описатели се групират в масив от данни с размери 270 x 200. За класификацията на наборите от данни се използва работната среда за машинно обучение WEKA, като за експериментите се използват 4 типа класификатори – kNN, полиномен SVM, rbf SVM и дърво на решенията REPTree.

Предложените описатели демонстрират изключително висока средна точност на класификация (>99%), като единственото изключение е REPTree класификаторът (средна точност на класификация 83.8 %). Наблюдаваният висок резултат може да бъде обяснен със специфичната информация за EEG сигналите, която се съдържа в изчисляваните описатели. Калкулирането на разликите на хистограмните проценти предоставя лесен начин за измерване на интензивността и амплитудите на мозъчната активност. Това позволява лесното разграничаване на случаите в които се наблюдава равномерно разпределение на мозъчната активност между всички електроди и тези в които се наблюдават пикове на активност в специфични области. Въпреки високата точност постигната при класификацията на емоционални състояния разгледаните описатели не могат да се прилагат универсално. В случаите при които класифицираните състояния имат сходен профил на мозъчната активност (когнитивни задачи) предложените описатели демонстрират незадоволителни резултати.

[Г7.6] **Feradov, F.**, Classification of Emotional States and Familiarity based on EEG Signals, Paper presented at *International Conference on Biomedical Innovations and Applications - BIA-2021*, Varna, Bulgaria, 2022 paper. #31

Между емоционалните реакции и предходното познаване на мултимедийни стимули съществува силна взаимовръзка, която оказва значително влияние върху задачи касаещи класификацията на емоционални реакции и когнитивна активност. Настоящата статия представя описатели, базирани на спектралната активност на ЕЕГ сигналите, насочени към едновременната класификация на емоционални състояния и нива на предходно познание на мултимедийни стимули. В частност се разглежда възможността за използването на времевите разлики на средната стойност на спектралната активност на отделни честотни ленти в ЕЕГ сигналите.

Първата стъпка от процедурата, използвана за изчисляване на предложените описатели, е предварителната обработка на ЕЕГ сигналите. При нея сигналите се филтрират и нежеланите артефакти се премахват, след което сигналите се разделят на неприпокриващи се отрязъци с фиксирана дължина. Върху всеки един от получените отрязъци се прилага кратковременно преобразование на Фурие (STFT). Получените в резултат спектри на фрагментите се разделят на отделни честотни ленти, обхващащи равен брой честоти, като се изчислява средната стойност на спектралната активност за всяка от лентите. Последната стъпка по извличането на описателите е изчисляването на разликата на средната спектрална активност на дадена честотна лента между различни времеви периоди.

При експерименталната оценка на изчислените описатели се използват ЕЕГ сигнали от базата данни SEED. Записите, включени в базата, са снети от 15 участника, всеки от които гледа 15 различни кратки филмови клипове, разпределени в три категории – негативни, позитивни и неутрални. Снемането на данните е повторено три пъти, в три отделни дни. Експериментите в настоящата разработка са насочени към едновременната класификация на нива на предходно познание и емоция, като използваните данни са разделени в 9 групи на база на емоционалното влияние на стимула и сесията в която е направен записа. Описателите, изчислени за всеки клас, се групират в набори от данни за даден участник и се класифицират посредством работната среда WEKA. За оценката на ефективността на изчислените описатели са използвани три класификатора – kNN, полиномен SVM и дърво на решенията C4.5.

Експерименталната оценка на предложената методология е проведена използвайки 4 постановки, при които спектъра на сигналите в диапазона 10 – 100 Hz се разделя на ленти с широчина 5, 10, 15 и 20 Hz. Най-високата средна класификационна точност от 95.3 % е постигната при използването на kNN класификатор. При класификацията посредством SVM е постигнат максимален среден резултат от 88.5 %, докато при използването на дърво на решенията резултатите варират в рамките 70.3 % до 73.2 %. Единственият случай в който се наблюдава намаляване на точността с увеличението на осредняваните честоти е при SVM, където спадът е 11.1%.

Експерименталните резултати показват, че времевата разлика на средните стойности на спектралните честотни ленти е информативен описател позволяващ комбинираната класификация на емоционални състояния и предходно познаване на мултимедийни стимули. В допълнение, изследванията потвърждават, че използването на широк диапазон от честоти от спектъра на ЕЕГ сигналите допринася за класификацията на емоционални състояния и когнитивна активност.

[Г7.7] **Feradov, F.**, Features for Classification of Multimedia Stimuli from EEG Signals, Paper presented at *International Conference on Biomedical Innovations and Applications - BIA-2021*, Varna, Bulgaria, 2022, paper. #36

Динамичното развитие в областта на потребителските мултимедийни електронни устройства оказва силно влияние върху използването на ЕЕГ сигнали в приложения с комерсиална цел. Представената статия разглежда метод за параметризация на ЕЕГ сигнали за класификация на мултимедийни стимули. Предложеният подход е базиран на прилагане на вълничково (уейвлет) преобразование върху многоканални ЕЕГ сигнали и детекция на времезависими пикове на мозъчна активност. Предложеният метод цели създаването на описатели, отразяващи динамичните изменения в ЕЕГ сигналите и моделирането на мозъчната активност при специфични мултимедийни стимули.

Изчисляването на описателите в разглеждания подход включва четири основни стъпки. При първата стъпка ЕЕГ сигналите се филтрират, като се отстраняват наличните шумове и артефакти. След като предварителната обработка е завършена, филтрираните сигнали се разлагат посредством дискретно вълничково преобразование, което позволява локализирането на времеви области с пикове на активност. При третата стъпка от изчисляването на описателите, получената апроксимация на ЕЕГ сигнала се стандартизира посредством допълнителна обработка. Дължината на апроксимацията се изравнява с оригиналния сигнал посредством интерполация, след което се изчислява модула на получените отчети и се прилага медианен филтър. Стандартизирането завършва с нормирането на сигнала в диапазона 0 – 1. При последната стъпка се генерира изкуствен сигнал  $t$ , наподобяващ пик на мозъчна активност. Получената апроксимация се сканира със сигнала  $t$  и се изчисляват коефициентите на корелация между двата сигнала, като получените стойности се използват като описатели.

Предложената методология и описатели са оценени на базата на стандартен експериментален протокол, насочен към класификацията на мултимедийни стимули от ЕЕГ сигнали. Експерименталната оценка е проведена използвайки ЕЕГ записи от базата данни DEAP. Представената процедура за изчисление на описатели се прилага върху данните на всеки от 32-та участници в базата данни, като в резултат за всеки участник е генериран набор от описатели за класификация. Класификацията е извършена посредством две постановки – индивидуална и универсална. Универсалните модели са създадени чрез комбинирането на индивидуални набори от описатели, докато индивидуалните използват единствено данните на определен участник от базата данни.

При експерименталната оценка на описателите са използвани четири алгоритъма за класификация – SVM, kNN, Linear discriminant analysis (LDA) и дърво на решенията, като е използван *10-crossfold* подход за валидация. При експериментите е постигната максимална средна точност от 96 % за индивидуалните набори от данни и 94.9 % за при постановките използвайки универсални набори от данни. Проведените експерименти показват, че използването на широк набор от данни, снети от различни хора, води до цялостно понижаване на класификационната точност. В заключение може да се отбележи, че разгледаната методология е приложима за задачи касаещи класификацията на когнитивна активност от ЕЕГ сигнали. Представеният подход демонстрира добри възможности за параметризация на пикове на мозъчна активност, като този тип активност е достатъчно информативен за целите на класификацията на мултимедийни сигнали.

[Показател Г8] Научна публикация в нереферирани списания с научно рецензиране или в редактирани колективни толове.

[F8.1] Markova V., Dicheva C., **Feradov F.**, Kalinin Y. and Ganchev T., SLADE – Stress Level and Emotional State Assessment Database: Phase 1, *Computer Science and Technologies*, 2016, ISSN 1312-3335

Статията представя общата концепция на база данни SLADE, която е създадена за оценка нивата на стрес и разпознаване на емоционални състояния от биосигнали. SLADE съдържа записи от електрокардиографски (ЕКГ) и електроенцефалографски сигнали (ЕЕГ), и галванично съпротивление на кожата (ГСК). В доклада се представя подробно описание на резултатите от първия етап на реализацията, която включва записи от 10 клинично здрави доброволци. В рамките на един час, доброволците са емоционално стимулирани с помощта на 40 едноминутни аудио-видео клипове.

За записа на ЕЕГ сигналите са използвани 16-канален 3D принтиран ЕЕГ комплект Ultra-Cortex (Mark III), използващ развойната система Open BCI, специализирана за приложения в областта на системите човек-компютър. Open BCI е изградена на базата на специализиран микроконтролер обработващ биосигнали снети посредством 16-канална ЕЕГ система, като получените данни се обобщават и изпращат безжично към персонален компютър. Триканалните ЕКГ и ГСК модули, разработени за настоящото изследване в Лабораторията по сензори и мрежи към Технически университет – Варна, се свързват към многоканална система за сбор на данни USB 6009 на National Instruments, която също се свързва към персонален компютър.

С цел съпоставимост на резултатите, базата данни SLADE е създадена на базата на установен експериментален протокол. В частност, протоколът включва записа на ЕЕГ и други физиологични сигнали от участници, които наблюдават кратки сегменти от музикални видеоклипове – в настоящия случай са използвани едноминутни откъси от 40 отделни музикални видеа. Стимулите са избрани с цел предизвикването на емоционални реакции покриващи четирите квадранта от пространството на емоционални реакции на база показатели валентност-възбуда: ниска възбуда – ниска валентност, висока възбуда – ниска валентност; ниска възбуда – висока валентност и висока възбуда – висока валентност. В първа фаза от записа на базата данни влизат общо 15 участника, всички от които са мъже на възраст между 20 – 25 години. Данните записани от първите пет участника се използват за калибриране на експерименталната постановка, а последващите 10 са включени в представената база данни. След приключването на всеки стимул участниците попълват формуляр за самооценка, като определят емоционалното си състояние на база на критериите възбуда, валентност и доминантност. Оценката по скалата валентност варира в рамките „щастлив“ (5) до „нешастен“ (1). Оценката по скалата възбуда варира в рамките „възбуден“ (5) до „скучаещ“ (1), а по скалата доминантност – от „неконтролируем“ (5) до „под пълен контрол“ (1).

Проведеното изследване на оценките показва, че има значителни разлики в оценките на всеки един от 40-те стимула. Някои от стимулите (5, 12, 18, 37) имат ясно изразено емоционално въздействие. В частност стимул 18, попадащ в категорията „ниска възбуда-висока валентност“ се отличава с висока средна на оценките спрямо другите стимули. Макар и оценен различно от 10-те участника този стимул последователно индуцира „щастлива“ емоционална реакция.

В заключение може да се обобщи, че фаза 1 от записа на базата данни SLADE е успешна и поставените цели са постигнати. Въпреки това е нужен задълбочен анализ на получените предварителни резултати преди да се продължи със записа на данни за следващата фаза от този проект.