

РЕЗЮМЕ

на научните публикации

НА ДОЦ. Д-Р ИНЖ. ГАБРИЕЛА ЛЪЧЕЗАРОВА АТАНАСОВА

*представени за участие в конкурс за заемане на академична длъжност
„професор“*

професионално направление: 5.3. Комуникационна и компютърна техника (Комуникационни мрежи и системи (Технологии за безжични комуникации и микровълнови измервания)), към катедра “Комуникационна и компютърна техника и технологии”, Технически факултет, Югозападен университет „Неофит Рилски“ - Благоевград

публикуван в ДВ бр. 65/02.08.2024 г.

- *Публикации по Показател 4. Хабилитационен труд - научни публикации (не по-малко от 10) в издания, които са реферирани и индексирани в световноизвестни бази данни с научна информация, от група В*

В.4.1. Al-Sehemi, A.; Al-Ghamdi, A.; Dishovsky, N.; Atanasov, N.; **Atanasova, G.**
A Flexible Miniature Antenna for Body-Worn Devices: Design and Transmission Performance. Micromachines 2023, 14, 514.

Индексирана в Web of Science и Scopus

3,4 (2022) Impact Factor, Q2 (2022), SJR 0,55 (2022)

Резюме: През последните няколко години се наблюдава бързо нарастване на комуникационните устройства (възли) за безжични персонални мрежи, които са поставени върху или в близост до човешкото тяло. Засиленият интерес към безжичните персонални мрежи е свързан с широкото им приложение в различни области – спорт, здравеопазване, реклама, обучение и др. Освен това, за лесно и удобно разполагане на комуникационните възли върху човешкото тяло, се изисква подобряване, както по отношение на тяхната гъвкавост, така и по отношение на размера и теглото, което налага разработването на нови гъвкави и миниатюрни антени. В тази статия е предложена нова значително миниатюризирана гъвкава антена за комуникационни възли в безжични персонални мрежи, за предаване на информация чрез *in-to-on body*, *on-to-on body* и *on-to-off body* комуникационни канали в различни телекомуникационни мрежи. За да се осигури гъвкавост и комфорт, когато антената е в контакт с човешкото тяло, за подложката на антената е разработен

композитен материал - естествен каучук, с пълнител TiO_2 . За значително намаляване на размера на антената се използва квадратична крива на Кох. В процеса на оптимизация, за по-бързо определяне на оптималните параметри и характеристики при числено моделиране на антената е предложен нов метод (базиран на използване на два числени модела на човешко тяло). Изследван е числено и експериментално коефициентът на предаване в два сценария за безжична комуникация в персонални мрежи: *in-to-on body* (сценарий 1: комуникация с имплантиран възел) и *on-to-off body* (сценарий 2: комуникация с външен възел). Резултатите от проведените числени и експериментални изследвания на коефициента на предаване показват, че с предложената антена може да се реализира комуникация с имплантиран възел на повече от 80 mm (сценарий 1) и на повече от 2 m за комуникация с външен възел (сценарий 2). Установено е, че най-високата стойност на SAR осреднен върху 10 g е 0,62 W/kg. Тези резултати, в допълнение към компактните размери на антената (12 mm × 26 mm × 2,5 mm) и ниската цена за производство, я правят идеален кандидат за вграждане в комуникационни възли за безжични персонални мрежи с приложения в здравеопазването.

B.4.2. Al-Sehemi, A.; Al-Ghamdi, A.; Dishovsky, N.; **Atanasova, G.**; Atanasov, N. A **Flexible Multiband Antenna for Biomedical Telemetry**, *IETE Journal of Research* 2023, 69 (1), pp. 189-202.

Индексирана в Web of Science и Scopus

1,3 (2022) Impact Factor, Q2 (2022), SJR 0,340 (2022)

Резюме: Комуникационните възли, поставени директно върху човешкото тяло за мониторинг и диагностика на сърдечни, неврологични и онкологични заболявания или за терапевтични приложения с цел подобряване качеството на човешкия живот предизвикват все по-голям изследователски интерес. Тези комуникационни възли по същество са устройства, оборудвани с антена, предавател, сензор/и и микропроцесор, като се използват за осигуряване на безжична връзка между имплантирано устройство (чрез *in-to-on body* комуникационни канали) и външно устройство (чрез *on-to-off body* комуникационни канали) за предаване на физиологични и медицински данни. Антената е съществена част от такъв комуникационен възел и има голямо влияние върху качеството на услугата, предлагано от цялата система, тъй като пряко влияе на надеждността на безжичната връзка. В тази публикация е предложен метод за проектиране на антени за комуникационни възли за безжични персонални мрежи, базиран на два подхода, в зависимост от средата и вида на радиоканала. За проектиране на предложената нова структура на гъвкава антена е приложен вторият подход, който отчита влиянието на човешкото тяло и позволява постигане на оптимални параметри и характеристики на антена, предназначена за вграждане в комуникационни възли, разположени върху кожата на човек за безжична

комуникация с имплантирани възли и възли извън тялото на човек. За минимизиране на размерите на антената и за постигане на излъчване в повече от една честотна лента се използва крива на Хилберт. За подложка на антената е синтезиран и използван биокompatит на базата на естествен каучук. От резултатите от проведените числени и експериментални изследвания е установено, че предложената нова структура на гъвкава антена позволява излъчване в две честотни ленти, от 0,824 GHz до 0,975 GHz и от 1,90 до GHz до 6 GHz, които обхващат най-често идентифицираните нелицензирани честотни обхвати за безжични технологии за биомедицински приложения, като 0,8680 GHz – 0,8688 GHz, 0,902 GHz – 0,928 GHz, 2,400 GHz – 2,480 GHz и 5,725 GHz – 5,875 GHz, както и лентата от 2,360 GHz – 2,400 GHz за MBAN (Medical Body Area Network). Чрез числени изследвания е установено, че количеството погълната мощност за честоти (0,868 GHz, 2,44 GHz и 5,88 GHz) във фантом на човешко тяло от предложената нова гъвкава антенна структура е под установените от ICNIRP основни ограничения за излагане на електромагнитно поле, което показва, че тя е подходяща за вграждане в комуникационни възли.

B.4.3. Al-Sehemi, A.; Al-Ghamdi, A.; Dishovsky, N.; Atanasov, N.; Atanasova, G. *Rubber composites based on renewable resources and their potential for application in flexible wearable antennas, Iranian Polymer Journal (English Edition) 2022, 31 (9), pp. 1117-1127*

Индексирана в Web of Science и Scopus

0,798 (2022) Impact Factor, Q2 (2022), SJR 0,25 (2022)

В тази публикация е представен подход за изследване влиянието на електромагнитните параметри на полимерни подложки за гъвкави антени, приложими за производството на комуникационни възли в безжични персонални мрежи. Синтезирани са шест нови композитни материала чрез прилагането на два вида пълнители от възобновяеми ресурси (пепел от оризови люспи (RNA) и микрокристална целулоза (MCC)), алтернативен пълнител (стандартен силициев диоксид - Ultrasil), както и хибридни пълнители (комбинации от посочените) към естествен каучук (NR). Разработена е постановка включваща три правоъгълни обемни резонатора, настроени на 2,565 GHz (TE₁₀₃), 3,188 GHz (TE₁₀₅), и 3,753 (TE₁₀₇), чрез която са определени електромагнитните параметри на синтезираните нови композитни материали с метода на малките смущения за честоти, обхващащи различни безжични технологии и стандарти: IEEE 802.15.1, IEEE 802.15.4, IEEE 802.15.6, IEEE 802.11, GSM/UMTS/LTE и т.н. Установено е, че полимерите с пълнител RNA, имат по-малък тангенс на ъгъла на диелектричните загуби и най-добри механични свойства. Всички еластомери, съдържащи MCC като пълнител, показват намаляване на реалната част и увеличение на имагинерната част на диелектричната проницаемост в честотния обхват от 2,57 GHz до 3,75 GHz, което се дължи на структурата на пълнителя. Оценено е влиянието на електромагнитните

свойства на синтезираните нови композитни материали от възобновяеми ресурси върху параметрите и характеристиките на антени за комуникационни възли в безжични персонални мрежи чрез числено моделиране и измервания. Чрез проведените изследвания се показва потенциалът, както икономическите, така и екологичните ползи, от приложение на композитни материали от възобновяеми ресурси и матрица от естествен каучук в телекомуникационната индустрия - малки разходи за синтез и добри експлоатационни характеристики на антените.

B.4.4. Davidkov, D.; Atanasova, G.; Atanasov, N. *Characterization of Narrowband Off-Body Channels in an Indoor Environment for Body Area Network Applications*. In Proceedings of the 2022 30th National Conference with International Participation (TELECOM), Sofia, Bulgaria, 27-28 October 2022.

Индексирана в Web of Science и Scopus

Докладът представя резултати от комплексно характеризирани на теснолентови *off-body* радиоканали в затворено пространство при условия на пряка видимост. Разработена е постановка за провеждане на симулационни и експериментални изследвания на теснолентови *off-body* радиоканали в безжични персонални мрежи. Представена е методология за провеждане на измерванията описана чрез алгоритъм, с която е изследвано влиянието на параметрите и характеристиките на три антени с текстилни подложки върху параметрите на теснолентови *off-body* радиоканали в безжични персонални мрежи. От получените резултати може да се заключи, че геометричните размери, ефективността на излъчване и диаграмата на насочено действие на антените имат съществено влияние върху параметрите и характеристиките на теснолентовите *off-body* радиоканали.

B.4.5. Atanasova, G.; Atanasov, N. *Small antennas for wearable sensor networks: Impact of the electromagnetic properties of the textiles on antenna performance*. *Sensors* 2020, 20 (18), art. no. 5157, pp. 1-21.

Индексирана в Web of Science и Scopus

3,567 (2020) Impact Factor, Q2 (2020), SJR 0,636 (2020)

Бързото развитие на безжични сензорни мрежи, по-специално на персоналните безжични сензорни мрежи за мониторинг в реално време на физиологични показатели на човек и/или заобикалящата го среда, при които сензорите се разполагат върху дрехите на потребителя и/или директно върху тялото, води до необходимостта от разработването на малки и гъвкави антени. В тази статия е предложен нов метод за проектиране, оптимизиране и експериментално реализиране на нископрофилни, леки и гъвкави антени за комуникационни възли в безжични сензорни мрежи, осигуряващ подходяща изолация на антената от влиянието на човешкото тяло, съгласуване в определена работна честотна лента и

размери позволяващи потенциално вграждане на антените в ежедневното облекло. Чрез предложения метод е разработена нова структура на изцяло текстилна гъвкава антена с рефлектор, осигуряващ изолация на антената от влиянието на човешкото тяло и подложка от дънков плат за лесно вграждане в ежедневното облекло. Антенната структура има малки размери и профил, като същевременно постига честотна лента ($|S_{11}| < -6$ dB) от 285 MHz от 2,266 до 2,551 GHz, ефективност излъчване повече от 12% в свободно пространство и повече от 6% , когато е поставен върху модел на човешко тяло. Също така максималният SAR осреднен за 10 g е 0,15 W/kg. Изработен е прототип и са изследваните неговите параметри и характеристики. За по-цялостно изследване на антени за безжични персонални мрежи са предложени и осъществени тестове, които позволяват изследване на антената при условия близки до средата, в която тя ще се използва. Разработена е методология за провеждане на тестовите, съгласно която са осъществени измервания на антенния прототип в контролирана среда (полу-безехова камера и екранирано помещение) за да се осигури повторимост на измерванията. Чрез предложената методология е оценено влиянието на човешкото тяло върху *off-body* радиоканал. Предложен е подход за определяне влиянието на електромагнитните параметри на конвенционални текстилни материали върху параметрите и характеристиките на антени за комуникационни възли в безжични персонални мрежи, предназначени за вграждане в ежедневно облекло. Разработени са четири числени и експериментални модела с подложки от конвенционални текстилни тъкани с естествени влакна (памучен плат) и със синтетични влакна (полиестер и полиамид-еластан). Наблюдавано е, че колкото по-малък е тангенсът на ъгъла на диелектричните загуби на материала на подложката, толкова по-тясна е честотната лента. Освен това, колкото по-голям е тангенсът на ъгъла на диелектричните загуби на материала на подложката, толкова по-малко е количеството погълната мощност (SAR).

B.4.6. Atanasova, G.L.; Atanasov, N.T. *Impact of electromagnetic properties of textile materials on performance of a low-profile wearable antenna backed by a reflector. In Proceedings of the 2020 International Workshop on Antenna Technology, iWAT 2020, Bucharest, Romania, 25-28 February 2020.*

Индексирана в Web of Science и Scopus

Основният фокус на доклада е върху характеризирането на електромагнитните свойства на конвенционални текстилни тъкани при честота 2,564 GHz. Направено е проучване и са установени най-често използваните текстилни материали (платове) при конструиране и производство на облекло, а именно: тъкани с естествени влакна (100% памук: тъкан дънков и плетен памучен плат), със синтетични влакна (100 % полиестер, 80% полиамид - 20% еластан, нетъкан плат - 100% полар). За определяне на електромагнитните параметри на текстилните материали е приложен резонансен метод и установено, че текстилните материали имат малки стойности на

относителната комплексна диелектрична проникваемост между $1,2+j0,002$ и $1,9+j0,1$. Разработени са пет числени модела и пет прототипа на изцяло текстилни антени, чрез които е изследвано влиянието на електромагнитните свойства на подложките от описаните текстилни материали (с естествени и изкуствени влакна) върху честотната лента, ефективността на излъчване, усилването и диаграмата на насочено действие на антените.

B.4.7. Al-Sehemi, A.G.; Al-Ghamdi, A.A.; Dishovsky, N.T.; Atanasov, N.T.; Atanasova, G.L. *Wearable antennas for body-centric communications: Design and characterization aspects. Applied Computational Electromagnetics Society Journal* 2019, 34 (8), pp. 1172-1181.

Индексирана в Web of Science и Scopus

0,68 (2020) Impact Factor, Q3 (2020), SJR 0,216 (2020)

Безжичните персонални мрежи осигуряват високонадеждна безжична връзка с малък обхват между устройства, носени на (или имплантирани в) човешкото тяло, или между две устройства разположени (върху тяло-тяло или тяло-хъб) в непосредствена близост за предаване на данни, целящи подобряване качеството на живот. Три безжични комуникационни канала (*in-*, *on-*, и *off-body*) се формират в този тип мрежи. Антената на комуникационния възел има голямо влияние върху качеството на услугата, предлагана от цялата система, тъй като пряко влияе на надеждността на безжичната връзка. Проектирането на такива антени е комплексна задача, тъй като трябва да бъдат изпълнени множество изисквания и ограничения. В тази публикация е предложен нов алгоритъм за проектиране и оптимизиране на носими върху тялото на човек гъвкави антени за намиране на оптимално решение за физическите размери на антената, отговарящо на зададени спецификации, от множество възможни дизайни. Алгоритъмът може бързо да бъде възприет на практика и приложен към всяка антенна структура за комуникационни възли в безжични персонални мрежи. Предложеният алгоритъм е изпитан посредством числени и експериментални изследвания.

B.4.8. Al-Sehemi, A.; Al-Ghamdi, A.; Dishovsky, N.; Atanasov, N.; Atanasova, G. *Design and performance analysis of dual-band wearable compact low-profile antenna for body-centric wireless communications. International Journal of Microwave and Wireless Technologies* 2018, 10 (10), pp. 1175-1185.

Индексирана в Web of Science и Scopus

0,896 (2018) Impact Factor, Q3 (2018), SJR 0,213 (2018)

В тази публикация е представена концепция за безжична персонална мрежа с приложение в здравеопазването (биотелеметрия). Класифицирани са комуникационните възли според приложението и местоположението им спрямо

човешкото тяло. Определени са честотните обхвати и безжичните технологии за *on-* и *off-body* комуникации за конкретното приложение. Предложена е нова антенна структура за излъчване в два честотни обхвата (2,2–2,7 GHz и 4,65–5,75 GHz) с многослойна текстилно-полимерна подложка. Определена е най-добрата (оптималната) комбинация на размерите на отделните елементи за постигне на баланс между ефективност на излъчване върху човешко тяло, ширина на честотните ленти, съгласуване по импеданс и малки физически размери чрез параметрично изследване. Разработени са числен и експериментален модел на антената. Установено е от проведените числени изследвания и експериментално е потвърдено, че антената е съгласувана по импеданс в две честотни ленти, които обхващат ISM 2,45 GHz, LTE 2,6 GHz и WLAN 5,5 GHz. Описан е процесът на производство на антенния прототип, чрез който е постигната гъвкава и водоустойчива структура, позволяваща пълно интегриране на антената в облекло. Оценено е количеството погълната мощност и е установено, че и за двете честотни ленти стойностите на SAR осреднен върху 10 g са далеч под максимално допустимата стойност от 2 W/kg, както се изисква от стандарт C95.1-2005 на Института на инженерите по електротехника и електроника (IEEE) и Международната комисия за защита от не йонизиращо лъчение (ICNIRP).

B.4.9. Al-Sehemi, A.; Al-Ghamdi, A.; Dishovsky, N.; Atanasov, N.; **Atanasova, G.** **On-body investigation of a compact planar antenna on multilayer polymer composite for body-centric wireless communications.** AEU - International Journal of Electronics and Communications 2017, 82, pp. 20-29.

Индексирана в Web of Science и Scopus

2,215 (2017) Impact Factor, Q2 (2017), SJR 0,42 (2017)

В публикацията е направен кратък преглед на видовете антени за комуникационни възли в безжични персонални мрежи. Предложена и реализирана е нова антенна структура, базирана на планарна диполна антена с рефлектор, с многослойна подложка от нитрил-бутадиен каучук. Предложената структура е гъвкава, компактна и лесна за производство, подходяща за комуникации в честотния обхват 2,35 GHz – 2,50 GHz. Изследван е ефектът от близостта на човешкото тяло върху параметрите и характеристиките на предложената антенна структура, като антената е поставена върху трислоен числен модел, след което е отдалечена до 20 mm. Постигнато е добро съгласуване по импеданс ($VSWR < 2$) и ефективност на излъчване честотния обхват 2,35 GHz – 2,50 GHz.

B.4.10. Al-Ghamdi, A.A.; Al-Hartomy, O.A.; Al-Solamy, F.R.; Dishovsky, N.; Malinova, P.; **Atanasova, G.**; Atanasov, N. *Conductive carbon black/magnetite hybrid fillers in microwave absorbing composites based on natural rubber*. Composites Part B: Engineering 2016, 96, pp. 231-24.

Индексирана в Web of Science и Scopus

5, 75 (2016) Impact Factor, Q1 (2016), SJR 2,215 (2016)

В публикацията е представено изследване на микровълновите свойства на композити на базата на естествен каучук в честотния обхват 1-12 GHz, с проводими хибридни пълнители от сажди/магнетит, получени чрез импрегниране при различни съотношения между въглеродна и магнетитна фаза. Разработена е постановка и е предложена последователност за изследване на ефективността на екраниране на синтезираните композити в честотния обхват 1-12 GHz. Разработена е постановка включваща три проходни правоъгълни обемни резонатора, настроени последователно на 3,128 GHz (TE₁₀₃), 4,061 GHz (TE₁₀₅), 6,148 GHz (TE₁₀₅), 7,480 (TE₁₀₇) и 8,527 (TE₁₀₇), за определяне на комплексната диелектрична проникваемост, тангенса на ъгъла на диелектричните загуби и електрическата проводимост, и три проходни правоъгълни обемни резонатора, настроени последователно на 3,566 GHz (TE₁₀₄), 6,814 GHz (TE₁₀₆) и 9,284 (TE₁₀₆), за определяне на комплексната магнитна проникваемост и тангенсът на ъгъла на магнитните загуби. Установено е, че промените в изследваните свойства имат резонансен характер в диапазона 3-9 GHz и се дължат на промени, както на честотата, така и на съотношението между хибридните фази. Процентното съдържание на проводимия пълнител има значително влияние върху ефективността на екраниране на композитите. Въвеждането на Fe₃O₄ в хибридният пълнител има решаваща роля за намаляване на отражението на електромагнитните вълни от повърхността на композита. От проведените изследвания е установено, че композитите, съдържащи хибридни пълнители при напълване над „percolation“ праг, разкриват потенциал за използване в производството на микровълнови абсорбери, базирани на еластомер за приложения в телекомуникациите, автомобилната индустрия и военни приложения.

➤ *Публикации по Показател 7. Научна публикация в издания, които са рецензирани и индексирани в световноизвестни бази данни с научна информация Scopus и Web of Science, от група Г*



Г.7.1. Atanasov, N.T.; Atanasov, B.N.; **Atanasova, G.L.** Flexible Wearable Antenna for IoT-Based Plant Health Monitoring. *Electronics* **2024**, *13*, 2956.

DOI: 10.3390/electronics13152956

Индексирана в **Web of Science** и **Scopus**

2,6 (2023) Impact Factor, Q2 (2023), SJR 0,644 (2023)

В последните години бързото развитие на безжичните технологии доведе до широкото приложение на IoT в различни области. Един от най-бързо развиващите се сегменти на IoT е секторът на „интелигентните“ обличаеми устройства. През следващите няколко години разработването на гъвкави устройства поставени върху растения, които могат да предоставят жизненоважна информация за физиологичните показатели на растенията, ще бъде от съществено значение за подпомагане на по-бързото развитие на прецизното земеделие. Предложена е малка (общ размер $\varnothing 35 \text{ mm} \times 0,8 \text{ mm}$), ултра лека (0,4 g) и с естетична форма антена за ненаатрапчиво интегриране върху лист на растение за приложение в базирано на IoT прецизно земеделие в ISM 2,45 GHz обхват. Излъчващият елемент има форма наподобяваща водно конче, което прави антената визуално незабележима. Използвани са листа от растението *ZZ Plant* като подложка за антената и прозрачно полимерно фолио за изолоране на проводящите елементи, постигайки изключително гъвкава, водо- и химически устойчива антена за приложение в неблагоприятни условия на заобикалящата среда. Получените резултати показват, че антената е устойчива на промени в относителната диелектрична проникваемост на подложката до $\pm 20\%$. Антената има голяма ефективност на излъчване (между 26% и 40%) и ненасочена диаграма на насочено действие в ISM 2,45 GHz обхват. Освен това измерените резултати съвпадат сравнително добре с тези от стимулационните изследвания.

Г.7.2. **Atanasova, G.L.**; Atanasov, B.N.; Atanasov, N.T. Assessment of Electromagnetic Field Exposure on European Roads: A Comprehensive In Situ Measurement Campaign. *Sensors* **2023**, *23*, 6050. DOI:10.3390/s23136050

DOI:10.3390/s23136050

Индексирана в **Web of Science** и **Scopus**

3,4 (2023) Impact Factor, Q1 (2023), SJR 0,786 (2023)

Бързото развитие на безжичните комуникационни технологии (най-вече на клетъчните мрежи от пето поколение (5G)) през последните години от една страна позволява свързването на голям брой различни обекти (от гъвкава електроника до превозни средства) и хора, и от друга страна, води до инсталирането на голям брой базови станции. Инсталирането на голям брой базови станции повдига сред населението въпроси за потенциалните неблагоприятни ефекти върху човешкото

здраве, от електромагнитните полета (ЕМП) създавани от антените на базовите станции.

В тази статия се предлага метод за оценка на електромагнитното поле в автомобил по време на кратки (между градове) и дълги (между държави) пътувания в честотния обхват 0,03–8,2 GHz. Проведени са измервания в няколко европейски държави: Австрия, България, Хърватия, Унгария, Италия, Словения и Република Сърбия, като резултатите показват, че медианата на интензитета на електрическото поле е 0,23–0,24 V/m в България, Хърватия, Унгария, Италия и Република Сърбия. В Австрия и Словения медианата е 0,28–0,31 V/m. В Австрия е измерена най-голямата стойност на интензитета на електрическо поле от 17,4 V/m. Получените данни са полезни за точна оценка на облъчването, както на водачите на автомобили, така и на пътниците по време на пътуване. Освен това резултатите от тази работа могат да се приложат за изследване на облъчването на хора с ЕМП при новите 5G-V2X комуникационни сценарии, такива като V2V (безжични комуникации превозно средство към превозно средство), V2I (превозно средство към инфраструктура) и V2N (превозно средство към комуникационна мрежа).

Г.7.3. Atanasov, N.T.; **Atanasova, G.L.**; Gârdan, D.A.; Gârdan, I.P. Experimental Assessment of Electromagnetic Fields Inside a Vehicle for Different Wireless Communication Scenarios: A New Alternative Source of Energy. *Energies* **2023**, *16*, 5622. DOI: 10.3390/en16155622
Индексирана в **Web of Science** и **Scopus**
3,0 (2023) Impact Factor, Q1 (223), SJR 0,651 (2023)

Търсенето на нови енергийни източници през 21 век е тема с важно икономическо и обществено значение. Днес пренасяната мощност от електромагнитни полета се счита за обещаващ нов източник на енергия за устройства с ултра малка консумация, такива като комуникационни възли, разположени върху тялото на човек и сензори за IoT.

Предложен е метод за оценка на интензитета на електрическото поле в автомобил при реалистични сценарии за безжична свързаност: 1) предаване на реч в режими: само 2G, само 3G и автоматично свързване 5G/4G/3G/2G и 2) предаване на данни в режими: само 2G, само 3G и автоматично свързване 5G/4G/3G/2G, за използване на електромагнитните полета в приложения за събиране на енергия (RF energy harvesting). Разработена е методология за провеждане на измерванията и са идентифицирани комуникационните сценарии на безжична свързаност в автомобил. За всеки сценарий са извършени измервания на интензитета на електрическото поле в градска среда в два случая: автомобил в открито пространство без пряка видимост към базова станция и автомобил в подземен паркинг. Резултатите показват, че най-голямата измерена стойност на електрическото поле се наблюдава при предаване на реч през клетъчни мрежи от второ поколение 2G (GSM). Също така, максималните измерени стойности на интензитета на електрическото поле по време на гласово

повикване в 3G (UMTS), 4G (LTE) и 5G са пет до шест пъти по-малки от тези при 2G. Освен това интензитетът на електрическото поле, измерен в автомобила по време на гласови повиквания или предаване на данни, показва незначителни изменения в зависимост от деня от седмицата. Резултатите доказват хипотезата, че електромагнитни полета, излъчвани от безжични устройства в автомобил, могат да се използват като нов източник на енергия за захранване на комуникационни възли с ултра малка консумирана мощност от захранващия източник, такива като комуникационни възли, разположени върху тялото на човек и сензори за IoT.

Г.7.4. Atanasov, N.T.; **Atanasova, G.L.**; Angelova, B.; Paunov, M.; Gurmanova, M.; Kouzmanova, M. Wearable Antennas for Sensor Networks and IoT Applications: Evaluation of SAR and Biological Effects. *Sensors* **2022**, *22*, 5139. DOI: 10.3390/s22145139
Индексирана в **Web of Science** и **Scopus**
3,9 (2022) Impact Factor, Q1 (2022), SJR 0,764 (2022)

През последните години се наблюдават бързи темпове на развитие на гъвкавата електроника и на комуникационните възли в безжични персонални мрежи. Нарастващият брой на комуникационни възли, разположени върху тялото на човек, води до търсенето на нови леки, гъвкави носими върху тялото на човек антени. За да бъдат приложими в IoT устройства за разполагане върху тялото на човек, антените трябва да отговарят на определени изисквания, такива като електрически, механични и производствени, както и изисквания за безопасност (напр. погълнатата мощност (SAR) по-малка от максимално допустимите стойности, наложени от международните стандарти и препоръки). Оценката на SAR обаче не предоставя информация за механизмите на взаимодействие между електромагнитните полета с малък интензитет, излъчвани от носимите антени и човешкото тяло.

В тази статия е предложен нов метод за оценка на механизмите на взаимодействие на биологични обекти с електромагнитни полета с малък интензитет, създавани от антени на комуникационни възли в безжични персонални мрежи. Разработени са и са реализирани две експериментални постановки за изследване на въздействието на електромагнитното поле от носими антени (за комуникационни възли предназначени за директен контакт с човешкото тяло) върху мембраните на червените кръвни клетки. Методът на крайната разлика във времевата област (FDTD) е използван за извършване на числен анализ на разпространението на електромагнитните вълни и пространственото разпределение на SAR в суспензиите с еритроцити и за предоставяне на векторите на електрическото и магнитното поле, създавано от носимата антена.

В тази статия е представено подробно изследване на погълнатата мощност (SAR), индуцирана в суспензии с еритроцити от изцяло текстилна носима антена при две условия на облъчване: реалистични (постъпваща на входа на антената мощност 6,3 mW) и консервативни (постъпваща на входа на антената мощност 450 mW), при

честота 2,41 GHz, както и резултати от *in vitro* експерименти върху стабилността на мембраните на човешките еритроцити при двете условия на облъчване. Подробното проучване показва, че при мощности постъпващи на входа на антената 6,3 mW и 450 mW, SAR осреднен върху 1 g е 0,5758 W/kg и 41,13 W/kg, съответно. Резултатите от *in vitro* експериментите показват, че краткотрайното (20 минути) облъчване на мембраните на човешките еритроцити в реактивното близко поле на обличаема антена при 6,3 mW входна мощност има стабилизиращ ефект. Продължителното облъчване (120 минути) има дестабилизиращ ефект върху мембраната на еритроцитите.

Г.7.5. Atanasova, G.L.; Atanasov, B.N.; Atanasov, N.T. Fully Textile Dual-Band Logo Antenna for IoT Wearable Devices. *Sensors* **2022**, 22, 4516.

Индексирана в **Web of Science** и **Scopus**

3,9 (2022) Impact Factor, Q1 (2022), SJR 0,764 (2022)

През последните години интересът към Интернет на нещата (IoT) нараства, защото тази технология се явява връзката между физическия и виртуалния свят, като свързва различни обекти и хора чрез комуникационни мрежи, за да подобри качеството на живот. Новите IoT преносими устройства изискват нови видове антени с уникални форми, изработени върху нетрадиционни подложки, които могат да бъдат незабележимо интегрирани в дрехи и аксесоари.

В тази статия ние предлагаме изцяло текстилна антена за излъчване в две честотни ленти, подходяща за приложение в IoT носими върху тялото на човек устройства. Излъчващите елементи на антената са с формата на логото на ЮЗУ „Неофит Рилски“ за ненатрапчиво интегриране в аксесоари. В антенната структура е интегриран рефлектор, за да се намали излъчването (в нежелана посока) и да се подобри устойчивостта на параметри и характеристики на антената към близко разположени обекти. Изработени и тествани са два прототипа на антената в свободното пространство, както и върху три различни обекта (човешко тяло, тетрадка и лаптоп). В двата честотни диапазона е постигната ефективност на излъчване от 25% – 38% и 62% – 90%. Освен това е установено, че благодарение на рефлектора, погълнатата мощност във фантом на човешкото тяло осреднена за 10 g маса е 0,5182 W/kg при 2,4 GHz и 0,16379 W/kg при 5,47 GHz. Прототипът на интегрираната в раницата антена позволява да формират висококачествени *off-body* радиоканали, което е видно от резултатите от извършените допълнителни изследвания на нивото на приетия сигнал и загубата на пакети при няколко комуникационни сценарии.

Г.7.6. Atanasova, G.; Atanasov, N.; Savova, G. Characterization of the Electromagnetic Properties of Materials for Wearable Antennas. In Proceedings of the 13th National Conference with International Participation, ELECTRONICA 2022, Sofia, Bulgaria, 19-20 May 2022. DOI: 10.1109/ELECTRONICA55578.2022.9874401,

Индексирана в **Scopus**

През последните няколко години “smart wearables” и безжичните персонални мрежи (WBAN) са сред най-бързо развиващите се технологии. Процесът на разработване и производство на антени предназначени за комуникационни възли, поставяни върху човешкото тяло включва няколко етапа. За проектиране и анализ на носими антени в сложна среда (като например човешко тяло) се използват няколко софтуерни пакети за числени симулации (като xFDTD, CST, HFSS и т.н.), базирани на FDTD (Finite Difference Time-Domain) и FEM (Finite Element Method) метода. Няколко фактора влияят върху точната оценка на параметрите и характеристиките на антената в присъствието на различни обекти при използване на инструменти за числено изследване. Едно от тях е познаването на електромагнитните свойства на материалите, които ще се използват за антенните елементи. В тази статия са представени резултати от измервания на комплексната диелектрична проницаемост на нетекстилни и текстилни материали, приложими за подложки на антени, вграждани в дрехи или аксесоари. Измерванията на електромагнитните свойства на материалите са извършени при честота 2,56 GHz чрез метода на малките смущения в обменен резонатор. Резултатите показват, че нетекстилните материали (кожа, хартия, пластмаса от 3D DLP печат) имат реална част на комплексната диелектрична проницаемост (ϵ_r') в интервала от 2 до 3, докато ϵ_r' на текстилните материали е в интервала от 1 до 2. Резултатите също така показват, че структурата на текстилните тъкани (тъкана, плетена или нетъкана) има пряк ефект върху ϵ_r' , докато типът на влакната (естествени или синтетични) има пряк ефект върху имагинерната част на диелектричната проницаемост и тангенса на ъгъла на диелектричните загуби.

Г.7.7. Al-Sehemi, A.G.; Al-Ghamdi, A.A.; Dishovsky, N.T.; Malinova, P.; Atanasov, N.T.; **Atanasova, G.L.** Natural rubber composites containing low and high dielectric constant fillers and their application as substrates for compact flexible antennas. *Polymers and Polymer Composites* **2021**, 29(4), pp. 233-245. DOI: 10.1177/0967391120910879
Индексирана в **Web of Science** и **Scopus**
1,841 (2021) Impact Factor, Q3 (2021), SJR 0,31 (2021)

В тази статия са изследвани вулканизационните и физикохимичните свойства, определени са комплексната диелектрична проницаемост, тангенсът на ъгъла на диелектричните загуби и електрическата проводимост, на шест композитни материала с матрица от естествен каучук и функционални пълнители, съдържащи от 30 до 70 масови части силициев диоксид (SiO_2) и титанов диоксид (TiO_2). Проектирана е и е реализирана нова антенна конструкция, чрез която е оценена приложимостта на композитните материали за подложки на антени на комуникационни възли в безжични персонални мрежи. Характеризирани са пълнителите и установено е, че те имат забележимо, но различно влияние върху всички свойства на изследваните композитни материали. Това се дължи основно на различната структура и специфичните свойства на SiO_2 и TiO_2 , като по този начин се

определят различните взаимодействия „пълнител-пълнител“ и „каучук-пълнител“. Най-добри параметри и характеристики (оптимален дизайн) на антената са постигнати с подложка от еластомер с пълнител 70 масови части TiO_2 . Също така, друго предимство на прилагането на композитните материали с пълнител TiO_2 за подложки на антени, които се поставят върху или близо до човешкото тяло е, че те са устойчиви на натиск или деформация, също имат самопочистващ се и антибактериален ефект.

Г.7.8. Atanasova, G.; Angelova, B.; Kouzmanova, M.; Atanasov, N.; Paunov, M.; Gurmanova, M. Assessment of Energy Absorption and Hemolysis of RBCs Due to a Wearable Antenna. In Proceedings of the 29th National Conference with International Participation, TELECOM 2021, Sofia, Bulgaria, 28-29 October 2021, pp 32-35.
DOI: 10.1109/TELECOM53156.2021.9659602

Индексирана в **Web of Science** и **Scopus**

В тази статия са представени резултати за пространственото разпределение на погълната мощност SAR (specific absorption rate) в три равнини и са определени местата с максимален SAR предизвикан от изцяло текстилна антена в суспензии с еритроцити чрез прилагане на метода на крайната разлика във времевата област. Също така са определени нивата на хемоглобин, освободен от суспензии с еритроцити до 300 минути след облъчване с електромагнитно поле (ЕМП) в продължение на 20 минути от текстилната антена за комуникационни възли в безжични персонални мрежи. Резултатите предполагат, че облъчването на червените кръвни клетки с ЕМП от текстилната антена в реактивно близко поле (продължителност на облъчването 20 минути, честота 2,41 GHz и 1 g SAR от 0,5386 W/kg, предизвикан в клетъчните суспензии при входна мощност от 6,3 mW) вероятно има слаб стабилизиращ ефект върху мембраните на еритроцитите.

Г.7.9. Al-Sehemi, A.; Al-Ghamdi, A.; Dishovsky, N.; **Atanasova, G.;** Atanasov, N. Flexible polymer/fabric fractal monopole antenna for wideband applications. *IET Microwaves, Antennas and Propagation* **2021**, *15(1)*, pp. 80-92. DOI: 10.1049/mia2.12016

Индексирана в **Web of Science** и **Scopus**
1,824 (2021) Impact Factor, Q2 (2021), SJR 0,691 (2021)

Представена е нова гъвкава, полимерно/текстилна фрактална монополна антена с широка честотна лента. За проводимите и непроводимите елементи на антената са използвани високо проводим текстил и композитен материал на базата на естествен каучук, което позволява поддържането на антената възможно най-гъвкава и тънка. Определени са в широк честотен обхват (от 2 GHz до 6 GHz) реалната част на комплексната диелектрична проникваемост и тангенсът на ъгъла на диелектричните загуби на композитния материал (матрица от естествен каучук и функционален пълнител, съдържащ 30 масови части SiO_2), използван за подложка на предложената нова антена. Предложената антена е симулирана, изработена и

тествана. Резултатите показват, че тя има симулирана честотна лента от 3,8 GHz (2,2–6,0 GHz) и измерена честотна лента от 3,7 GHz (2,3–6,0 GHz), обхващаща най-често използваните стандарти в безжичните комуникационни системи. Ефективността на излъчване на антената достига повече от 93% в цялата работна честотна лента.

Г.7.10. Al-Sehemi, A.G.; Al-Ghamdi, A.A.; Dishovsky, N.T.; Atanasov, N.T.; **Atanasova, G.L.**

Design of a flexible waterproof antenna for Internet of Things applications. *Journal of Electromagnetic Waves and Applications* **2021**, 35(7), pp. 874-887.

DOI: 10.1080/09205071.2020.1865208,

Индексирана в **Web of Science** и **Scopus**

1,438 (2021) Impact Factor, Q3, SJR 0,383

Предложена е нова широколентова гъвкава водоустойчива антена, подходяща за приложения в различни IoT устройства, например за проследяване на стоки. Структурата на антената се състои от: излъчващи елементи, захранвани от 50-Ω копланарна предавателна линия и два слоя от елестомерен композит (използван като подложка и горен защитен слой), които напълно обхващат излъчващите елементи на антената, за да се осигури устойчивост на вода и прах. Изработен е и е изследван прототип на антена. Експерименталните и числените резултати показват, че предложената антена има широка лента ($|S_{11}| \leq -10$ dB) в честотния обхват от 0,83–2,52 GHz и висока ефективност на излъчване от около 92% в цялата честотна лента. За да се изследва водоустойчивостта на антената тя беше потопена във вода за 10 s, 10 min, 30 min и 60 min, след което е измерен коефициентът на отражение. С прототипа на антената също бяха извършени тестовете за издръжливост и гъвкавост като резултатите показват, че няма значително влошаване на параметрите и характеристиките на антената. Това в допълнение с ниската цена за производство прави антената идеален кандидат за приложение в различни IoT устройства, напр. за проследяване на стоки чрез вграждането и в опаковки, аксесоари, чанти, раници и др.

Г.7.11. Al-Sehemi, A.G.; Al-Ghamdi, A.A.; Dishovsky, N.T.; Radev, L.; Mihailova, I.;

Malinova, P.A.; Atanasov, N.T.; **Atanasova, G.L.** Natural rubber composites containing fillers of sol–gel glasses and glass–ceramics in the CaO–SiO₂–P₂O₅ system. *Iranian Polymer Journal (English Edition)* **2020**, 29(9), pp. 799-810. DOI: 10.1007/s13726-020-00841-5

Индексирана в **Web of Science** и **Scopus**

1,899 (2020) Impact Factor, Q2 (2020), SJR 0,355 (2020)

В тази статия са представени резултати от изследването на вулканизационни, физико-механични, електромагнитни и динамични свойства на композитни материали на основата на естествен каучук, съдържащи пълнители (от 10 до 50 масови части) sol–gel стъкла и керамика от системата CaO–SiO₂–P₂O₅. Целта е да се определят композитните материали, които са най-подходящи за употреба при разработване на гъвкава електроника, по-специално като подложки и изолационни

слоеве в антени за безжични персонални мрежи. За характеризиране на пълнителите са приложени XRD и SEM изображения. Резултатите показват, че специфичните характеристики на пълнителите, преди всичко специфичната повърхност, наличието и количество на микро- и мезопори, оказват значително влияние върху всички изследвани свойства на композитните материали. Установено е, че композитните материали, съдържащи стъкло-керамични пълнители ($\text{CaO-SiO}_2\text{-P}_2\text{O}_5$), имат диелектрични и механични характеристики, които ги правят по-подходящи за приложения за гъвкави антени, отколкото тези, съдържащи sol-gel стъкло.

Г.7.12. Al-Sehemi, A.; Al-Ghamdi, A.; Dishovsky, N.; **Atanasova, G.**; Atanasov, N. A flexible broadband antenna for IoT applications. *International Journal of Microwave and Wireless Technologies* **2020**, 12(6), pp. 531-540. DOI: 10.1017/S1759078720000161
Индексирана в **Web of Science** и **Scopus**
1,064 (2020) Impact Factor, Q3 (2020), SJR 0,26 (2020)

Представена е гъвкава широколентова антена с висока ефективност на излъчване за приложения в IoT. Антенната структура е с излъчващи елементи с U-образна и триъгълна форма с два елемента за настройка, захранвани чрез 50Ω копланарна (CPW) предавателна линия. Предложената антена е изработена върху гъвкава подложка от композитен материал, синтезиран чрез смесване на естествен каучук със SiO_2 като пълнител. Излъчващите елементи, заедно с CPW, са изградени с помощта на високо проводим текстил. Резултатите показват, че антената има симулирана и измерена честотна лента от 0,856–2,513 GHz, обхващаща най-често използваните безжични комуникационни стандарти и технологии за IoT приложения. Ефективността на излъчване на антената е над 75% в цялата работна честотна лента. Антената също е изследвана при различни условия на огъване. Представените резултати показват, че огъването има малък ефект върху параметрите и характеристиките на антената в работния честотен обхват. Измерените резултати показват добро съответствие със симулациите. Разработена е методология за числено изследване на влиянието на диелектричната проницаемост на подложките от еластомери върху параметрите и характеристиките на гъвкавите антени. Методиката е апробирана, с предложената антенна структура, и резултатите показват малки промени в $|S_{11}|$ при $\pm 20\%$ изменение в имагинерната част на относителната диелектрична проницаемост на подложката от естествен каучук с пълнител SiO_2 .

Г.7.13. Andonova, S.; **Atanasova, G.**; Atanasov, N. Investigating the technological process of adhesion in the fabrication of wearable antennas. *Vlakna a Textil* **2020**, 27(3), pp. 8-12. ISSN (print): 1335-0617, ISSN (online): 2585-8890
Индексирана в **Scopus**
Q3 (2020), SJR 0,204 (2020)

Процесът на проектиране и създаване на антени върху текстилни материали (вградени в облеклото) е изключително интересен и иновативен. В съвременните

условия в повечето случаи излъчващите елементи на носимите антени се изработват от специален високо проводим текстил, който се свързва с основният конвенционален текстил на подложката. Текстилните материали, от които са изработени облеклата, се използват като подложки за носими антени. Ефективността на адхезионния процес между текстилната подложка и високо проводимият текстил е един от основните фактори, от които зависят параметрите и характеристиките на антените. В настоящата работа е разработена методология за изследване на адхезията на различни видове текстилни материали при изработването на изцяло текстилни антени: високо проводим текстил (използван за изработване на излъчващите елементи) и конвенционален текстилен материал (използван за подложка/и). В резултат на проведените изследвания са установени зависимости между технологичните фактори на адхезионния процес при производството на носими антени.

Г.7.14. Al-Sehemi, A.G.; Al-Ghamdi, A.A.; Dishovsky, N.T.; Radev, L.N.; Mihailova, I.K.; Malinova, P.A.; Atanasov, N.T.; **Atanasova, G.L.** Natural rubber-based composites filled with bioglasses from a CaO-SiO₂-P₂O₅-Ag₂O system. Effect of Ag₂O concentration in the filler on composite properties. *Polymers for Advanced Technologies* **2020**, 31(3), pp. 574-588. DOI: 10.1002/pat.4798

Индексирана в **Web of Science** и **Scopus**

3,655 (2020) Impact Factor, Q1 (2020), SJR 0,61 (2020)

В общодостъпната литература са представени много изследвания върху свойствата на няколко метала и добавки с метални йони, използвани в системата SiO₂-CaO-P₂O₅ от биостъкла, като Ag, Cu, Zn и Fe. Редица автори са провеждали изследвания, свързани с влиянието на сребърния оксид върху свойствата на биостъклата, като публикации за свойствата на композити на основата на еластомер, съдържащи биоактивни стъкла, са относително оскъдни. В литературата не са открити изследвания на влиянието на сребърен оксид в биостъклата на системата CaO-SiO₂-P₂O₅-Ag₂O върху значимите свойства на биокомпозит от естествен каучук. В тази връзка, целта на настоящата статия е да се изследва гореспоменатото влияние върху свойствата на този тип композити, а именно вулканизационни, физико-механични, термични, динамични, електромагнитни, електрически и термопроводими характеристики. В резултат на проведените изследвания е установено, че тези параметри на композитите се влияят значително, както от степента на запълване с биостъкло, така и от съдържанието на сребърен оксид. Резултатите от сканираща електронна микроскопия и енергийно-дисперсионен рентгенов анализ потвърждават влиянието на сребърния оксид първоначално върху фазовия състав на биостъклото, а оттам и върху свойствата на биокомпозитите. Определени са комплексната диелектрична проницаемост, тангенсът на ъгъла на диелектричните загуби и електрическата проводимост, на девет композитни

материала с матрица от естествен каучук и функционални пълнители, съдържащи биостъкло чрез резонансния метод на малките смущения. Оценена е възможността за приложение на еластомерите с естествен каучук и функционални пълнители, съдържащи биостъкло за приложение в подложки или изолиращи слоеве на гъвкави антени.

Г.7.15. Dishovsky, N.T.; Al-Sehemi, A.G.; Al-Ghamdi, A.A.; Radev, L.; Mihailova, I.; Malinova, P.A.; Atanasov, N.T.; **Atanasova, G.L.** Rubber-ceramic composites applicable in flexible antennas. *Journal of Polymer Engineering* **2020**, 40(8), pp. 666-675.

DOI: 10.1515/polyeng-2020-0043

Индексирана в **Web of Science** и **Scopus**

1,367 (2020) Impact Factor, Q3 (2020), SJR 0,328 (2020)

В тази работа са представени резултати за синтезирана стъклокерамика от системата $\text{CaO-P}_2\text{O}_5\text{-SiO}_2$, които са характеризирани с XRD, SEM и EDX методи. Установено е, че те съдържат две кристални [Whitlockite, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ и Hydroxylapatite, $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$] и една остатъчна аморфна фаза. Керамиката е изградена от порести агрегати от фини частици с преобладаващи макро- и мезопори в тях. Синтезираната керамика е използвана като функционален пълнител в композити на основата на естествен каучук, като пълнителят е от 5 до 50 масови части. Изследвано е влиянието на структурата на керамиката и степента на запълване върху вулканизационните характеристики, физико-механичните параметри, електромагнитните и динамичните свойства, коефициента на топлопроводимост и обемното съпротивление, включително външно налягане или огъване върху образците. Установено е влиянието на пълнителя и степента на запълване върху всички изследвани свойства. Определени са комплексната диелектрична проницаемост, тангенсът на ъгъла на диелектричните загуби и електрическата проводимост, на три композитни материала с матрица от естествен каучук и функционални пълнители, съдържащи стъклокерамика от системата $\text{CaO-P}_2\text{O}_5\text{-SiO}_2$ чрез резонансния метод на малките смущения. Оценена е възможността за приложение на еластомери с естествен каучук и функционални пълнители, съдържащи стъклокерамика за приложение в подложки или изолиращи слоеве на гъвкави антени.

Г.7.16. Atanasov, N.T.; **Atanasova, G.L.**; Stefanov, A.K.; Nedialkov, I.I. A Wearable, Low-Profile, Fractal Monopole Antenna Integrated with a Reflector for Enhancing Antenna Performance and SAR Reduction. In Proceedings of the IMWS-AMP 2019 - 2019 IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on Advanced Materials and Processes for RF and THz Applications, Bochum, Germany, 16-18 July 2019, art. no. 8880142, pp. 67-69. DOI: 10.1109/IMWS-AMP.2019.8880142

Индексирана в **Web of Science** и **Scopus**

В тази статия е предложена и експериментално реализирана нископрофилна, лека, гъвкава, изцяло текстилна, фрактално базирана монополна антена, интегрирана

с рефлектор за подобряване на ефективността на излъчване на антената и намаляване на погълната мощност (SAR) в човешкото тяло. От проведените числени изследвания е установено, че честотна лента на антената е 130 MHz (от 2,37 до 2,50 GHz) в свободното пространство и 128 MHz (от 2,36 до 2,49 GHz), когато е поставена върху плосък хомогенен фантом. Тази честота лента обхваща изцяло ISM 2.4 GHz. Високата ефективност на излъчване (от 74 % в свободно пространство и от 70 % върху фантом в ISM 2,4 GHz обхвата) в комбинация с малък 10 g SAR от 0,0971 W/kg (при входна мощност 0,1 W), правят предложената антената добър кандидат за използване в безжични персонални мрежи за вграждане в комуникационни възли носими върху тялото на човек.

Г.7.17. Atanasova, G.; Atanasov, N.; Stefanov, A.; Andonova, S.; Avramov, M.; Kateva, M. Comparison of Computed Specific Absorption Rate Induced in a Homogeneous Human Body Phantom Using a Wearable Textile Antenna for Biomedical Applications. In Proceedings of the 27th National Conference with International Participation: The Ways to Connect the Future, TELECOM 2019, Sofia, Bulgaria, 30-31 October 2019, art. no. 8994882, pp. 94-97. DOI: 10.1109/TELECOM48729.2019.8994882

Индексирана в **Scopus**

В биомедицинските приложения на безжичните персонални мрежи комуникационният възел работи върху човешкото тяло, поради което трябва да се вземе предвид електромагнитното взаимодействие между антената и тялото. Международната комисия за защита от нейонизиращи лъчения (ICNIRP) и Института на инженерите по електротехника и електроника (IEEE) са дефинирали препоръки и стандарти, които регулират този въпрос.

Този доклад представя изследване и сравнение на количеството погълната мощност (SAR) в хомогенен фантом от текстилни антени с и без елементи за изолация (към човешко тяло) в тяхната структура, които са предназначени за комуникационни възли за биомедицински приложения на безжични персонални мрежи. Планарна монополна антена, предназначена да работи в ISM 2,45 GHz, е взета като пример в изследването. Представени са максималните SAR стойности осреднени върху 1-g и 10-g маса и пространствените разпределения на SAR (в различни равнини на наблюдение) предизвикани от антените, поставени върху фантом, за да се изследват въпросите свързани с безопасността на хората. Установено е, че изцяло текстилни антени с елементи за изолация (към човешко тяло) в тяхната структура са добър кандидат за биомедицински приложения на безжични персонални мрежи по отношение на ефективност на излъчване на антената, честотната лента и SAR.

Г.7.18. Tsonev, I.; Atanasov, N.; **Atanasova, G.;** Krčma, F.; Bogdanov, T. Atmospheric pressure microwave plasma torch for biomedical applications. *Plasma Medicine* **2018**, 8(4), pp. 403-409. DOI: 10.1615/PlasmaMed.2019028816

Индексирана в **Scopus**
Q3 (2018), SJR 0,278 (2018)

През последното десетилетие биомедицинските приложения на източниците на студена плазма привличат значителен изследователски интерес. Широкият обхват от наблюдавани ефекти (програмирана клетъчна смърт, бактериална инактивация, заздравяване на рани и др.) насърчава учените да създадат и използват различни източници на плазма, работещи при атмосферно налягане. Предпочитаното плазмено устройство до този момент са диелектричните бариерни разряди. В тази статия е представена експериментална постановка за микровълнова (2,45 GHz) плазма при атмосферно налягане за биомедицински приложения. От проведените изследвания е установена силна зависимост между микровълновата мощност, дължината на пламъка и температурата на плазмата. Освен това газовият поток и спецификациите на тръбата (вътрешен диаметър, дебелина на стената и диелектрична проницаемост) влияят върху температурата и дължината на разряда. Целта на тази статия е да се определят работните условия, при които този източник на плазма може да се използва в пряк контакт с биологични обекти.

Г.7.19. Al-Sehemi, A.G.; Al-Ghamdi, A.A.; Dishovsky, N.T.; Atanasov, N.T.; **Atanasova, G.L.**
Flexible and small wearable antenna for wireless body area network applications. *Journal of Electromagnetic Waves and Applications* **2017**, *31(11-12)*, pp. 1063-1082.
DOI: 10.1080/09205071.2017.1336492
Индексирана в **Web of Science** и **Scopus**
0,864 (2017) Impact Factor, Q3 (2017), SJR 0,258 (2017)

В тази статия е представено разработването на нова планарна диполна антена върху напълно гъвкав полимерен композит от нитрил-бутадиен каучук, интегрирана с рефлектор за приложение в безжични персонални мрежи. Включването на рефлектор в антенната структура се използва за елиминиране на разсъгласуването по импеданс и изместването на резонансната честота, причинени от близостта на човешкото тяло, както и за намаляване на максималните SAR стойности осреднени върху маса 1-g и 10-g. За числено анализиране на работата на антената, включително за изследване на ефекта върху човешкото тяло е разработен трислойен модел на човешки тъкани. Установено е, че предложената антена запазва параметрите и характеристиките си, когато е поставена върху трислойния модел: $|S_{11}|$ се изменя от $-19,45$ dB (в свободно пространство) при 2,46 GHz резонансна честота до $-20,62$ dB (върху кожа) при 2,44 GHz резонансна честота. Освен това е оценена погълнатата мощност (SAR) в числения модел от предложената антена. Установено е, че максималният SAR усреднен върху 1 g е само 0,20 W/kg (при входна мощност от 100 mW на разстояние 2 mm от трислойния модел). Представени са експериментални резултати, които са сравнени с тези от числените изследвания. В заключение може

да се обобща, че предложената антена има следните предимствата: тя е компактна, с малък профил, евтина и лесна за производство.

Г.7.20. Atanasov, N.T.; **Atanasova, G.L.** An investigation impact of user's positions in closed space over SAR in the head induced from mobile phone. *Environmentalist* **2011**, 31(2), pp. 181-186. DOI: 10.1007/s10669-011-9317-x

Индексирана в **Scopus**

Целта на тази статия е да се изследва влиянието на позициите на потребителя в затворено пространство (асансьор) върху изменението на разпределението на SAR в модел на човешка глава, предизвикано от мобилен телефон за най-тежкия сценарий. „Най-тежният сценарий“, разглеждан в тази статия, се отнася до условия, които включват (1) полувълнов дипол, поставен в близост до модел на човешка глава (SAM фантом); (2) вертикално ориентиран дипол, разположен тангенциално на страничните стени на затворено пространство за максимално отражение; (3) металното затворено пространство действащо като резонансна кухина; и (4) 360 произволно избрани точки за наблюдение. Изследванията са проведени и в свободно пространство за сравнение. Представени са вероятностното разпределение на максималните SAR стойности осреднени върху 1-g и 10-g и осреднения SAR върху целия обект. Получените резултати показват, че в повече от 86,7% от всички изследвани позиции в металното затворено пространство, индуцираният максимален SAR осреднен върху 1-g маса в SAM е в границите на $\pm 10\%$ от максималния SAR осреднен върху 1-g в свободно пространство. Аналогични резултати се наблюдават при сравнението на максималния SAR осреднен върху 10 g в SAM в затворено пространство спрямо този в свободно пространство. Резултатите показват, че затвореното пространство причинява по-значителни промени в SAR осреднен върху масата на фантома, отколкото максималните стойности на SAR. Може да се отбележи, че в затворено пространство стойностите на SAR са с 8,5% (за 1 g), 6,7% (за 10 g) и 15,1% (за осреднен за целия SAM) по-високи от тези в свободното пространство.

Публикации по Показател 8. Научна публикация в нереферирани списания с научно рецензиране или в редактирани колективни томове, от група Г

Г.8.1 Al-Ghamdi, A.; Al-Hartomy, O.; Al-Solamy, F.; Dishovsky, N.; Malinova, P.; Atanasov, N.; **Atanasova, G.** Correlation between Electrical Conductivity and Microwave Shielding Effectiveness of Natural Rubber Based Composites, Containing Different Hybrid Fillers Obtained by Impregnation Technology. *Materials Sciences and Applications* **2016**, 7, 496-509. doi: 10.4236/msa.2016.79043,

<https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=70441>

Статията представя синтеза и характеризирането на хибридни пълнители от сажди/силициев диоксид, получени чрез технология за импрегниране. Ефективността на екраниране на електромагнитни смущения от композитните материали, напълнени с хибридни пълнители сажди/силициев диоксид, е измерена в широк честотен обхват от 1 - 12 GHz. Също е изследвана електропроводимостта при постоянен и променлив ток на композитите. Анализирани са връзката между електрическата (при постоянен и променлив ток) проводимост и ефективността на екраниране. Установена е положителна корелация между ефективността на екраниране и електрическата проводимост за композитните материали с хибридни пълнители от сажди/силициев диоксид, когато пълнителят е с концентрация над „percolation“ праг.

- Г.8.2** Al-Sehemi A.; Al-Ghamdi, A.; Dishovsky, N.; Atanasov, N.; **Atanasova, G.** Complex Permittivity and Permeability Studies Viewing Antenna Applications of NBR-Based Composites Comprising Conductive Fillers, *Materials Sciences and Applications* **2018**, 9, 883-899. doi: 10.4236/msa.2018.911064, <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=88039>

В тази статия се представят изследвания върху електромагнитните параметри на композити на базата на акрилонитрил бутадиенов каучук, съдържащ комбинации от проводими пълнители, които включват сажди и никелов прах. Установено е, че електромагнитните свойства на композитите се влияят значително от морфологичните и структурни специфики на двата пълнителя. Тези заключения се потвърждават и от изследванията със сканиращ електронен микроскоп. Установено е, че интерфейсът матрица-пълнител също влияе върху въпросните характеристики. Оценена е възможността за приложение на композитните материали на базата на акрилонитрил бутадиен каучук, съдържащ комбинации от проводими пълнители, за приложение в подложки или изолиращи слоеве на гъвкави антени. От резултатите може да се заключи, че тези материали могат да намерят такива приложения.

- Г.8.3** Давидков Д.; **Атанасова Г.** Изследване на канали в безжични мрежи ориентирани около тялото на човек предназначени за медицински цели, XXVIII Международна научна конференция за млади учени, 13 и 14 юни 2019 г., Благоевград, България, стр. 70-76. ISBN 978-619-160-680-1, <https://nrs.nacid.bg/register/search>

Безжичните персонални мрежи за медицински приложения са нов тип безжични мрежи, при които комуникационните възли са разположени вътре, върху или около човешкото тяло с цел наблюдение на жизнените показатели на човек. Важен елемент в разработването на безжични персонални мрежи за медицинско приложение е характеризирането на физическия слой на мрежата. Това включва изследване на радиоканали за комуникационни възли разположени върху тялото на човек. В тази статия са представени резултати от измерване за

характеризиране на *off-body* радиоканал в затворено пространство. Всички измервания се извършват върху плосък фантом в затворено пространство при условия на пряка видимост.

SUMMARY

of scientific publications of

Associate Professor GABRIELA LACHEZAROVA ATANASOVA, PhD Eng.

*submitted for participation in a competition for the academic position of
"professor"*

*professional field 5.3. Communication and computer engineering
(Communication networks and systems (Technologies for wireless
communications and microwave measurements)), Department of Communication
and Computer Engineering, Faculty of Engineering, South-West University
"Neofit Rilski" - Blagoevgrad*

published in the State Newspaper No 65/02.08.2024

➤ Group B, Indicator 4

B.4.1. Al-Sehemi, A.; Al-Ghamdi, A.; Dishovsky, N.; Atanasov, N.; **Atanasova, G.**
**A Flexible Miniature Antenna for Body-Worn Devices: Design and Transmission
Performance. Micromachines 2023, 14, 514.**

Indexed in Web of Science and Scopus

3.4 (2022) Impact Factor, Q2 (2022), SJR 0.55 (2022)

Abstract: The last few years have seen a rapid increase in body-worn devices because these devices cover a broad spectrum of potential uses. Moreover, body-worn devices still require improvements in their flexibility, size, and weight that necessitate the development of flexible and miniature antennas. In this paper, we present a new flexible miniature antenna for body-worn devices. To ensure flexibility and comfort when the antenna is in contact with the human body, a substrate from natural rubber filled with TiO₂ is developed. The miniaturization is achieved using the quadratic Koch curve. The antenna design, optimization, and characterization are performed on a human body model. The performance of the antenna is analyzed in two scenarios: (1) in- to on-body, and (2) on- to off-body wireless communications. The results show that the antenna realized the maximum telemetry range of more than 80 mm for in-body communications and more than 2 m for off-body communications. Moreover, the highest 10 g specific absorption rate value was 0.62 W/kg. These results, in addition to the antenna's compact dimensions (12 mm × 26 mm × 2.5 mm) and the low manufacturing price, make the proposed antenna an ideal candidate for health telemetry applications.

B.4.2. Al-Sehemi, A.; Al-Ghamdi, A.; Dishovsky, N.; **Atanasova, G.**; Atanasov, N. *A Flexible Multiband Antenna for Biomedical Telemetry*, **IETE Journal of Research** **2023**, **69** (1), pp. 189-202.

Indexed in Web of Science и Scopus

1.3 (2022) Impact Factor, Q2, SJR 0.340

Abstract: Recently, there has been growing interest in using wearable devices for biomedical telemetry applications such as cardiac and glucose monitoring, diagnostic of neurological and oncological diseases, or therapeutic applications to improve the quality of human life. The antenna is an essential part of each wearable device and biomedical telemetry system, respectively, because the antenna and radio wave propagation constitute the core elements of the in-, on-and off-body wireless channel. Two strategies can be used in the design of on-body antennas. The first one is to design the antenna in a free space environment and after that during the second step of the design process, the antenna is to be optimized for on-body operation, taking into account the mismatch from the biological tissue. This approach is useful when the antenna will be used both in the free space and on-body operation conditions (for example, when the antenna is intended for on- and off-body communications). The second option is to design the antenna directly on a human body phantom, taking into account the loss of biological tissues during the first step of the design process. This approach is useful when designing on-body antennas intended for in-, on- and off-body communications. In this paper, a flexible and compact multiband wearable antenna with a simple and low-profile structure is proposed and investigated. It is able to operate over frequency ranges from 0.824 GHz to 0.975 GHz and from 1.90 to GHz to 6 GHz, covering the most of identified frequency bands for biomedical applications. The concept of Hilbert fractal curve was utilized to minimize the dimensions of the antenna. For the antenna substrate, a natural rubber-based biocomposite was synthesized and used. The results show that the antenna operates at two frequency bands, from 0.824GHz to 0.975GHz and from 1.90 to GHz to 6GHz, which cover the most commonly identified frequency bands for biomedical applications, such as 0.868–0.8688, 0.902–0.928, 2.400–2.480 and 5.725–5.875GHz ISM bands as the band of 2.360–2.400GHz for MBAN. The SAR evaluations demonstrate that the antenna has a very small impact on body tissue, satisfying ICNIRP guidelines. In addition, the substrate of the antenna is made from a biocomposite eliminating risks of allergic or toxic reactions when the antenna is placed on the human body. Also, the substrate has high elasticity, dust and water resistance, low cost, and is easy to process.

B.4.3. Al-Sehemi, A.; Al-Ghamdi, A.; Dishovsky, N.; Atanasov, N.; **Atanasova, G.** *Rubber composites based on renewable resources and their potential for application in flexible wearable antennas*, **Iranian Polymer Journal (English Edition)** **2022**, **31** (9), pp. 1117-1127

Indexed in Web of Science и Scopus

0.798 (2022) Impact Factor, Q2 (2022), SJR 0.25 (2022)

This publication presents an approach to study the influence of electromagnetic parameters on polymer substrates for flexible antennas applicable to the fabrication of communication nodes in wireless personal networks. Six new composite materials were synthesized by applying two types of fillers (rice husk ash (RHA) and microcrystalline cellulose (MCC)) from renewable resources and an alternative filler (standard silica - Ultrasil) as well as hybrid fillers (combinations of the above) to a natural rubber (NR) matrix. A setup including three rectangular cavity resonators tuned to 2.565 GHz (TE₁₀₃), 3.188 GHz (TE₁₀₅), and 3.753 GHz (TE₁₀₇) was developed, through which the electromagnetic parameters of the synthesized new composite materials were determined by the cavity perturbation method for frequencies covering different wireless technologies and standards: IEEE 802.15.1, IEEE 802.15.4, IEEE 802.15.6, IEEE 802.11, GSM/UMTS/LTE, etc. According to ISO 37:2002, ISO 7619:2001, and ISO 188:2002 the mechanical properties of the composites have been determined. Polymers with RHA filler were found to have the lowest dielectric loss tangent and the best mechanical properties. All elastomers containing MCC as a filler show a decrease in the real part and an increase in the imaginary part of the permittivity in the frequency range from 2.57 to 3.75 GHz, which is due to the structure of the filler. The influence of the electromagnetic properties of the synthesized new composite materials from renewable resources on the parameters and characteristics of antennas for communication nodes in wireless personal networks has been evaluated through numerical modelling and measurements. The research shows the potential economic and environmental benefits, of applying composite materials from renewable resources and natural rubber matrix in the telecommunications industry - low synthesis costs and good antenna performance.

B.4.4. Davidkov, D.; Atanasova, G.; Atanasov, N. *Characterization of Narrowband Off-Body Channels in an Indoor Environment for Body Area Network Applications*. In *Proceedings of the 2022 30th National Conference with International Participation (TELECOM)*, Sofia, Bulgaria, 27-28 October 2022.

Indexed in Web of Science и Scopus

This paper presents comprehensive research on the influence of the parameters and characteristics of wearable antennas on *off-body* radio channels in Wireless Body Area Networks (WBANs) in an indoor environment at 2.41 GHz in a line-of-side scenario. A setup for simulation and experimental studies of narrowband *off-body* radio channels in wireless personal networks has been developed. A methodology for carrying out measurements described by an algorithm was presented, with which the influence of the parameters and characteristics of three antennas with textile substrates on the parameters of narrowband *off-body* radio channels in wireless personal networks was studied. It was found that the geometric dimensions, radiation efficiency, and radiation pattern of the

antennas have a significant influence on the parameters and characteristics of the narrowband *off-body* radio channels. From the results, we can conclude that the surface, radiation efficiency, and radiation pattern of the wearable antenna play a vital role in the definition of the off-body channel characteristics.

B.4.5. Atanasova, G.; Atanasov, N. *Small antennas for wearable sensor networks: Impact of the electromagnetic properties of the textiles on antenna performance. Sensors* 2020, 20 (18), art. no. 5157, pp. 1-21.

Indexed in Web of Science и Scopus

3.567 (2020) Impact Factor, Q2 (2020), SJR 0.636 (2020)

The rapid development of wearable wireless sensor networks (W-WSNs) has created a high demand for small flexible antennas. In this paper, we suggest a step-by-step procedure for the design, fabrication and measurement of small wearable backed antennas for application in W-WSNs. Through the proposed method, a new structure of an all-textile flexible antenna was developed with a reflector providing isolation of the antenna from the influence of the human body and a denim substrate for easy incorporation into everyday clothing. It demonstrates very small dimensions and a low profile, all while achieving a bandwidth ($|S_{11}| < -6$ dB) of 285 MHz from 2.266 to 2.551 GHz, the radiation efficiency of more than 12% in free space and more than 6% on the phantom. Also, the peak 10 g average SAR is 0.15 W/kg. The performance of the prototype of the proposed antenna was also evaluated using an active test. A methodology for conducting the tests was developed, according to which measurements of the antenna prototype were carried out in a controlled environment (semi-anechoic chamber and shielded room) to ensure repeatability of the measurements. Through the proposed methodology, the influence of the human body in an *off-body* radio channel has been evaluated. To investigate the impact of the textile materials on the antenna performance, the antenna geometry was studied on cotton, polyamide-elastane and polyester substrates. It has been observed that the lower the loss tangent of the substrate material, the narrower the bandwidth. Moreover, the higher the loss tangent of the substrate, the lower the radiation efficiency and SAR.

B.4.6. Atanasova, G.L.; Atanasov, N.T. *Impact of electromagnetic properties of textile materials on performance of a low-profile wearable antenna backed by a reflector. In Proceedings of the 2020 International Workshop on Antenna Technology, iWAT 2020, Bucharest, Romania, 25-28 February 2020.*

Indexed in Web of Science и Scopus

The main focus of the report is on the characterization of the electromagnetic properties of conventional fabrics at a frequency of 2.564 GHz. A study was made and the most commonly used textile materials (fabrics) in the construction and production of clothing were identified, namely: fabrics with natural fibres (100% cotton: woven denim and knitted cotton fabric), with synthetic fibres (100% polyester, 80% polyamide-20%

elastane, non-woven fabric-100% polar fleece). To determine the electromagnetic parameters of the fabrics, the cavity perturbation method was applied and was found that the textile materials have small values of the relative complex permittivity in the range of $1.2+j0.002$ to $1.9+j0.1$. Five numerical models were developed and five prototypes of all-textile antennas were fabricated, through which the influence of the electromagnetic properties of substrates of the described fabrics (with natural and artificial fibres) on the frequency band, radiation efficiency, gain and radiation pattern was investigated.

B.4.7. Al-Sehemi, A.G.; Al-Ghamdi, A.A.; Dishovsky, N.T.; Atanasov, N.T.; Atanasova, G.L. *Wearable antennas for body-centric communications: Design and characterization aspects*. *Applied Computational Electromagnetics Society Journal* **2019**, *34* (8), pp. 1172-1181.

Indexed in Web of Science и Scopus

0.68 (2020) Impact Factor, Q3 (2020), SJR 0.216 (2020)

Wireless Personal Area Networks provide short-range low power and highly reliable wireless connectivity between devices worn on (or implanted in) the human body, or between two devices (body-to-body or body-hub) in close proximity. Consequently, three wireless communication channels (*in-*, *on-*, and *off-body*) exist. The antenna of the communication node determines the reliability of the wireless link and greatly impacts the quality of service offered by the whole system. Designing such antennas is a non-trivial task, as numerous requirements and constraints must be met. In this publication, a new algorithm for wearable antenna numerical design and optimization provides a list of feasible antenna designs and finds the optimal solution that meets specifications, is proposed. The algorithm can be quickly adopted into practice and applied to any antenna structure for communication nodes in wireless personal networks. The proposed algorithm is tested through numerical and experimental studies.

B.4.8. Al-Sehemi, A.; Al-Ghamdi, A.; Dishovsky, N.; Atanasov, N.; Atanasova, G. *Design and performance analysis of dual-band wearable compact low-profile antenna for body-centric wireless communications*. *International Journal of Microwave and Wireless Technologies* **2018**, *10* (10), pp. 1175-1185.

Indexed in Web of Science и Scopus

0.896 (2018) Impact Factor, Q3 (2018), SJR 0.213 (2018)

This publication presents a concept for a wireless personal network for medical telemetry applications. Communication nodes are classified according to their application and location relative to the human body. The frequency ranges and wireless technologies for *on-* and *off-body* communications are defined for the specific application. A new dual-band wearable antenna (2.2–2.7 GHz and 4.65–5.75 GHz) with a multilayer textile-polymer substrate is presented. The designed antenna was fabricated and measured. Simulated and

measured results show that the impedance bandwidth covers the ISM 2.45 GHz, LTE 2.6 GHz, and WLAN 5.5 GHz. Presented results of radiation efficiency, peak gain, and radiation patterns show very good performance in free space and when the antenna was mounted on the tissue-equivalent phantom. The manufacturing process of the antenna prototype is described, through which a flexible and waterproof structure was achieved, allowing the antenna to be fully integrated into clothing. The amount of absorbed power was evaluated and found that for both frequency bands the 10 g SAR values were well below the maximum allowable value of 2 W/kg as required by the Institute of Electrical and Electronics Engineers standard C95.1-2005 (IEEE) and the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP).

B.4.9. Al-Sehemi, A.; Al-Ghamdi, A.; Dishovsky, N.; Atanasov, N.; **Atanasova, G.** *On-body investigation of a compact planar antenna on multilayer polymer composite for body-centric wireless communications.* AEU - International Journal of Electronics and Communications 2017, 82, pp. 20-29.

Indexed in Web of Science и Scopus

2.215 (2017) Impact Factor, Q2 (2017), SJR 0.42 (2017)

A compact modified planar dipole antenna with a rectangular reflector integrated into a multilayer rubber composite is proposed and analyzed under different configurations. The proposed structure is flexible, compact, and easy to manufacture, suitable for communications in the frequency range of 2.35 GHz to 2.50 GHz. The effect of the proximity of the human body on the parameters and characteristics of the proposed antenna structure was investigated, with the antenna placed on a three-layer numerical model, and then spaced up to 20 mm. Good impedance matching ($VSWR < 2$) and radiation efficiency is achieved in the frequency range of 2.35 GHz to 2.50 GHz.

B.4.10. Al-Ghamdi, A.A.; Al-Hartomy, O.A.; Al-Solamy, F.R.; Dishovsky, N.; Malinova, P.; **Atanasova, G.**; Atanasov, N. *Conductive carbon black/magnetite hybrid fillers in microwave absorbing composites based on natural rubber.* Composites Part B: Engineering 2016, 96, pp. 231-24.

Indexed in Web of Science и Scopus

5.75 (2016) Impact Factor, Q1 (2016), SJR 2.215 (2016)

The study presents the microwave properties of natural rubber-based composites in the 1-12 GHz frequency range as determined by the conductive carbon black/magnetite hybrid fillers obtained by impregnation at different ratios between carbon and magnetite phases. A setup is developed to study the shielding effectiveness of the composites in the frequency range of 1 to 12 GHz. A setup including different rectangular cavities, designed to resonate at approximately 3.128 GHz (TE_{103}), 4.061 GHz (TE_{105}), 6.148 GHz (TE_{105}), 7.480 (TE_{107}), and 8.527 (TE_{107}) was developed to determine the complex permittivity, the loss tangent, and electrical conductivity, and three through rectangular cavity resonators at

3.566 GHz (TE₁₀₄), 6.814 GHz (TE₁₀₆) and 9.284 (TE₁₀₆) to determine the complex permeability and the magnetic loss tangent. It has been established that the changes in the investigated properties exhibit a resonance character in the 3-9 GHz range and are caused by alternations in frequency and the ratio between the hybrid phases. The per cent content of the conductive filler has a significant impact on EMI SE of the composites. The introduction of Fe₃O₄ into the hybrid filler has a crucial role in reducing the reflection of electromagnetic waves from the surface of the composite. From the research carried out, it was found that composites containing hybrid fillers filled above the "percolation" threshold reveal the potential for use in the production of elastomer-based microwave absorbers for telecommunications, automotive, and military applications.

➤ **Group Г, Indicator 7**

Г.7.1. Atanasov, N.T.; Atanasov, B.N.; **Atanasova, G.L.** Flexible Wearable Antenna for IoT-Based Plant Health Monitoring. *Electronics* **2024**, *13*, 2956.

DOI: 10.3390/electronics13152956

Индексирана в **Web of Science** и **Scopus**

2,6 (2023) Impact Factor, Q2 (2023), SJR 0,644 (2023)

In recent years, the rapid development of wireless technologies has led to the widespread adoption of the Internet of Things (IoT) in various fields. One of the fastest-growing segments of IoT is the “smart” wearables sector. In the next few years, the development of flexible plant wearable devices that can provide vital information about the physiological characteristics of plants will be essential to support the faster growth of precision agriculture. We propose a small (overall size Ø35 mm × 0.8 mm), ultra-lightweight (0.4 g), and elegant-shaped antenna for unobtrusive integration on a plant surface for application in IoT-based precision agriculture at ISM 2.45 GHz band. The radiating element has a design that resembles a dragonfly, making the antenna visually unnoticeable. We used ZZ Plant leaves as the substrate for the antenna and transparent polymer foil for encapsulating the conductive parts, achieving a highly flexible, waterproof, and chemically resistant antenna for application in harsh environments. The obtained results indicate that the antenna is resilient to changes in substrate relative permittivity up to ±20%. It exhibits high radiation efficiency (between 26% and 40%) and omnidirectional patterns across the ISM 2.45 GHz band. Moreover, the measured results align reasonably well with the simulated ones.

Г.7.2. **Atanasova, G.L.**; Atanasov, B.N.; Atanasov, N.T. Assessment of Electromagnetic Field Exposure on European Roads: A Comprehensive In Situ Measurement Campaign. *Sensors* **2023**, *23*, 6050. DOI:10.3390/s23136050

Индексирана в **Web of Science** и **Scopus**

3,4 (2023) Impact Factor, Q1 (2023), SJR 0,786 (2023)

The rapid evolution of wireless communication technologies (such as fifth-generation (5G) cellular networks) in the last years has allowed connecting different objects (from wearable electronics to vehicles) and people through communication networks, and at the same time, has led to widespread deployment of base stations. Along with this growth, questions about the potential adverse effects on human health due to electromagnetic fields (EMFs) from base station antennas have also been raised.

In this paper, a method is proposed to estimate the electromagnetic field in cars during short (between cities) and long (between countries) journeys in the frequency range 0.03–8.2 GHz. Comprehensive measurement campaigns were carried out in several European countries: Austria, Bulgaria, Croatia, Hungary, Italy, Slovenia, and the Republic of Serbia. The results show that the median total electric field is 0.23–0.24 V/m in Bulgaria, Croatia, Hungary, Italy, and the Republic of Serbia. In Austria and Slovenia, the median is 0.28–0.31 V/m. Austria demonstrated the highest value for the total electric field, at 17.4 V/m. The obtained data are helpful for adequate and accurate exposure assessment of both car drivers and passengers during short or long travel. Moreover, the results of this work can be used to study human exposure to new 5G-V2X communication scenarios, such as vehicle-to-vehicle, vehicle-to-infrastructure, and vehicle-to-network wireless communications.

Г.7.3. Atanasov, N.T.; **Atanasova, G.L.**; Gârdan, D.A.; Gârdan, I.P. Experimental Assessment of Electromagnetic Fields Inside a Vehicle for Different Wireless Communication Scenarios: A New Alternative Source of Energy. *Energies* **2023**, *16*, 5622. DOI: 10.3390/en16155622

Индексирана в **Web of Science** и **Scopus**

3,0 (2023) Impact Factor, Q1 (2023), SJR 0,651 (2023)

The search for new energy sources in the 21st century is a crucial topic with an essential economic and societal meaning. Today, energy from electromagnetic fields (EMFs) is considered a promising new energy source for ultra-low-power consumption devices, such as wearable devices and Internet of Things (IoT) sensors. A method is proposed to estimate the electric field in a car under realistic wireless communication scenarios (GSM, LTE, UMTS and 5G (voice mode) and GSM, LTE, UMTS and 5G (data mode)), to use these electromagnetic fields in RF energy-harvesting applications. A methodology and setup for conducting the research were developed and the communication scenarios of wireless connectivity in a car were identified. For each scenario, we performed measurements of E-fields in an urban area, in two cases: when the car was in an open space without a direct line of sight to a base station, and when the car was in underground parking. The results show that the highest measured value of the electric field appeared during the voice calls via the GSM network. Moreover, the

maximum measured values of the electric field during a UMTS, LTE and 5G voice call were five to six times lower than those in the GSM network. Moreover, the electric field that propagated in the car during voice calls or data transmission exhibited slight variations depending on the day of the week. These results prove the hypothesis that the EMFs emitted by wireless devices in a car can be used as a new energy source to power battery-less wearable or IoT devices, and they can be used to design energy-harvesting systems with maximum conversion efficiency.

Г.7.4. Atanasov, N.T.; **Atanasova, G.L.**; Angelova, B.; Paunov, M.; Gurmanova, M.; Kouzmanova, M. Wearable Antennas for Sensor Networks and IoT Applications: Evaluation of SAR and Biological Effects. *Sensors* **2022**, *22*, 5139. DOI: 10.3390/s22145139
Индексирана в **Web of Science** и **Scopus**
3,9 (2022) Impact Factor, Q1 (2022), SJR 0,764 (2022)

In recent years, there has been a rapid development in the wearable industry. The growing number of wearables has led to the demand for new lightweight, flexible wearable antennas. In order to be applicable in IoT wearable devices, the antennas must meet certain electrical, mechanical, manufacturing, and safety requirements (e.g., specific absorption rate (SAR) below worldwide limits). However, the assessment of SAR does not provide information on the mechanisms of interaction between low-intensity electromagnetic fields emitted by wearable antennas and the human body.

In this paper, we proposed a method for evaluating the interaction mechanisms of low-intensity electromagnetic fields created by antennas of communication nodes in wireless personal networks and biological objects. Two experimental setups were developed and implemented to study the impact of the electromagnetic field from wearable antennas on the membranes of red blood cells. The finite-difference time-domain (FDTD) method was used to perform a numerical analysis of the propagation of electromagnetic waves and SAR distributions within the erythrocyte suspensions and to provide the vectors of the electric and magnetic fields of the wearable antenna. In this paper, we presented a detailed investigation of the SAR induced in erythrocyte suspensions from a fully textile wearable antenna at realistic (net input power 6.3 mW) and conservative (net input power 450 mW) conditions at 2.41 GHz, as well as results from in vitro experiments on the stability of human erythrocyte membranes at both exposure conditions. The detailed investigation showed that the 1 g average SARs were 0.5758 W/kg and 41.13 W/kg, respectively. Results from the in vitro experiments demonstrated that the short-term (20 min) irradiation of erythrocyte membranes in the reactive near-field of the wearable antenna at 6.3 mW input power had a stabilizing effect. Long-term exposure (120 min) had a destabilizing effect on the erythrocyte membrane.

Г.7.5. Atanasova, G.L.; Atanasov, B.N.; Atanasov, N.T. Fully Textile Dual-Band Logo Antenna for IoT Wearable Devices. *Sensors* **2022**, 22, 4516.

Индексирана в **Web of Science** и **Scopus**

3,9 (2022) Impact Factor, Q1 (2022), SJR 0,764 (2022)

In recent years, the interest in the Internet of Things (IoT) has been growing because this technology bridges the gap between the physical and virtual world, by connecting different objects and people through communication networks, in order to improve the quality of life. New IoT wearable devices require new types of antennas with unique shapes, made on unconventional substrates, which can be unobtrusively integrated into clothes and accessories.

In this paper, we propose a fully textile dual-band logo antenna integrated with a reflector for application in IoT wearable devices. The proposed antenna's radiating elements have been shaped to mimic the logo of South-West University "Neofit Rilski" for an unobtrusive integration in accessories. A reflector has been mounted on the opposite side of the textile substrate to reduce the radiation from the wearable antenna and improve its robustness against the loading effect from nearby objects. Two antenna prototypes were fabricated and tested in free space as well as on three different objects (human body, notebook, and laptop). Moreover, in the two frequency ranges of interest a radiation efficiency of 25–38% and 62–90% was achieved. Moreover, due to the reflector, the maximum local specific-absorption rate, which averaged over 10 g mass in the human-body phantom, was found to be equal to 0.5182 W/kg at 2.4 GHz and 0.16379 W/kg at 5.47 GHz. Additionally, the results from the performed measurement-campaign collecting received the signal-strength indicator and packet loss for an off-body scenario in real-world use, demonstrating that the backpack-integrated antenna prototype can form high-quality off-body communication channels.

Г.7.6. Atanasova, G.; Atanasov, N.; Savova, G. Characterization of the Electromagnetic Properties of Materials for Wearable Antennas. In Proceedings of the 13th National Conference with International Participation, ELECTRONICA 2022, Sofia, Bulgaria, 19-20 May 2022. DOI: 10.1109/ELECTRONICA55578.2022.9874401,

Индексирана в **Scopus**

Smart wearables and wireless body area networks (WBANs) are among the most rapidly developing technologies in the last few years. The process of developing and manufacturing wearable antennas involves several stages. Simulation software packages (such as xFDTD, CST, HFSS, etc.) based on FDTD (Finite Difference Time-Domain) and FEM (Finite Element Method) methods are mainly used to design and analyze wearable antennas in a complex environment (such as the human body). However, there are several factors that affect the accurate evaluation of antenna performance in the presence of different objects

when using simulation tools. One of them is knowledge of the electromagnetic properties of materials to be used for antenna elements. In this paper results of measurements of complex permittivity of the non-textile and textile materials, which can be used for an efficient design of wearable antennas are presented. Measurements of the electromagnetic properties of the materials were done at a single frequency of 2.56 GHz by the cavity perturbation method. The results show that non-textile materials (leather, paper, plastic from 3D DLP printing) have real part of the complex permittivity (ϵ_r') in the range of 2.0–3.0, while ϵ_r' of textile materials is in the range of 1.0–2.0. The results also showed that fabric structure (woven, knitted or non-woven) has a direct effect on the ϵ_r' , while the type of fibers (natural or synthetic) has a direct effect on the imaginary part of the permittivity and loss tangent.

Г.7.7. Al-Sehemi, A.G.; Al-Ghamdi, A.A.; Dishovsky, N.T.; Malinova, P.; Atanasov, N.T.; **Atanasova, G.L.** Natural rubber composites containing low and high dielectric constant fillers and their application as substrates for compact flexible antennas. *Polymers and Polymer Composites* **2021**, *29(4)*, pp. 233-245.
DOI: 10.1177/0967391120910879,
Индексирана в **Web of Science** и **Scopus**
1,841 (2021) Impact Factor, Q3 (2021), SJR 0,31 (2021)

The vulcanization properties, physicochemical, dielectric, and electrical properties of natural rubber-based composites were investigated and compared. The composites contain 30–70 phr functional fillers having low (silicon dioxide (SiO_2)) and high (titanium dioxide (TiO_2)) dielectric constant values. The possibilities of using the composites as substrates in compact flexible antennas have been evaluated. Fillers are also characterized. It has been shown that they have a noticeable but different influence on all the properties of the composites studied. That is primarily due to the different structure and specific properties of SiO_2 and TiO_2 , thereby determining the different “filler–filler” and “rubber–filler” interactions. The composite filled with TiO_2 at 70 phr has a better capacity to act as a substrate in body area network antennas than the SiO_2 -filled composites. A new antenna structure was designed and implemented, through which the applicability of composite materials for antenna substrates of communication nodes in wireless personal networks was evaluated. The best parameters and characteristics (optimal design) of the antenna were achieved with an elastomer substrate with 70 phr TiO_2 filler. TiO_2 composites do not change their resistance to pressure or deflection within certain limits, having a self-cleaning and antibacterial effect, which is also beneficial for their usage in antennas that are left on or near the human body.

Г.7.8. Atanasova, G.; Angelova, B.; Kouzmanova, M.; Atanasov, N.; Paunov, M.; Gurmanova, M. Assessment of Energy Absorption and Hemolysis of RBCs Due to a Wearable Antenna. In Proceedings of the 29th National Conference with International Participation, TELECOM 2021, Sofia, Bulgaria, 28-29 October 2021, pp 32-35.

DOI: 10.1109/TELECOM53156.2021.9659602,

Индексирана в **Web of Science** и **Scopus**

This paper presents results of numerical analysis of the amount and distribution of the energy absorbed in a suspension from human erythrocytes exposed by a wearable textile antenna. It also reports levels of hemoglobin released by the blood suspension after 20 min exposure with EMF from the wearable textile antenna. The results suggest that irradiation of the RBCs with EMF from the wearable textile antenna (exposure duration 20 min, at 2.41 GHz and peak 1 g average SAR from 0.5386 W/kg produced in cell suspensions at the input power of 6.3 mW) probably have a weak stabilizing effect on the erythrocyte membranes.

Г.7.9. Al-Sehemi, A.; Al-Ghamdi, A.; Dishovsky, N.; **Atanasova, G.**; Atanasov, N. Flexible polymer/fabric fractal monopole antenna for wideband applications. *IET Microwaves, Antennas and Propagation* **2021**, *15(1)*, pp. 80-92. DOI: 10.1049/mia2.12016

Индексирана в **Web of Science** и **Scopus**

1,824 (2021) Impact Factor, Q2 (2021), SJR 0,691 (2021)

A novel flexible polymer/fabric fractal monopole antenna with a wideband performance is presented. A thin sheet of highly conductive fabric and a natural rubber-based composite have been used for conductive and non-conductive parts of the antenna, which allow keeping the antenna as flexible and thin as possible. The real part of the complex permittivity and the dielectric loss angle in a wide frequency range (from 2 to 6 GHz) of a composite material with a matrix of natural rubber and a functional filler containing 30 phr SiO₂ used to support the proposed new antenna are determined. The proposed antenna has been simulated, prototyped and tested. Results show that the antenna has a simulated impedance bandwidth of 3.8 GHz (2.2–6.0 GHz) and a measured impedance bandwidth of 3.7 GHz (2.3–6.0 GHz) to cover the most commonly used standards in wireless communication systems. The radiation efficiency of the antenna reaches over 93% throughout the operating frequency band with satisfactory radiation patterns and gain.

Г.7.10. Al-Sehemi, A.G.; Al-Ghamdi, A.A.; Dishovsky, N.T.; Atanasov, N.T.; **Atanasova, G.L.** Design of a flexible waterproof antenna for Internet of Things applications. *Journal of Electromagnetic Waves and Applications* **2021**, *35(7)*, pp. 874-887. DOI: 10.1080/09205071.2020.1865208,

Индексирана в **Web of Science** и **Scopus**

Индексирана в **Web of Science** и **Scopus**

1,438 (2021) Impact Factor, Q3, SJR 0,383

We propose a new broadband flexible waterproof antenna suitable for Internet of Things applications. The antenna is comprised of three components: radiating elements fed by a 50-Ω coplanar waveguide transmission line and two layers from an elastomer composite (used as a substrate and top encapsulation) which completely covers the antenna's radiating

elements to provide water and dust resistance. An antenna prototype is fabricated and tested. Experimental and numerical results show that the proposed antenna has broad bandwidth ($|S_{11}| \leq -10$ dB) over the frequency range of 0.83–2.52 GHz, high radiation efficiency of about 92% and good radiation patterns. The antenna was also immersed into water for 10 s, 10, 30 and 60 min, respectively and reflection coefficient magnitudes were measured, to verify its waterproof capability. The durability and flexibility tests were performed on the antenna prototype. Results show that there is no significant degradation in the antenna performance. Moreover, the antenna offers low profile, low cost and high flexibility, making it an ideal candidate for application in different IoT devices such as IoT devices for tracking goods while they are on the road, or in IoT devices for worker safety (e.g. in environmental sensors record critical information about employees' working conditions). It can be embedded inside (or outside) different types of packages, accessories, bags, backpacks or objects.

Г.7.11. Al-Sehemi, A.G.; Al-Ghamdi, A.A.; Dishovsky, N.T.; Radev, L.; Mihailova, I.; Malinova, P.A.; Atanasov, N.T.; **Atanasova, G.L.** Natural rubber composites containing fillers of sol–gel glasses and glass–ceramics in the CaO–SiO₂–P₂O₅ system. *Iranian Polymer Journal* (English Edition) **2020**, 29(9), pp. 799-810.

DOI: 10.1007/s13726-020-00841-5

Индексирана в **Web of Science** и **Scopus**

1,899 (2020) Impact Factor, Q2 (2020), SJR 0,355 (2020)

A number of properties of natural rubber-based composites containing fillers (degree of filling 10–50 phr) of sol–gel glasses and ceramics from the CaO–SiO₂–P₂O₅ system were investigated and compared. Its goals were to evaluate and select more suitable usages in flexible electronics, in particular as substrates and insulating layers in antennas for wireless communications. The fillers were characterized by XRD, SEM, adsorption–texture characteristics and particle size distribution. The composites were characterized by their vulcanization, physico-mechanical, dielectric and dynamic characteristics, as well as their volume resistivity and coefficient of thermal conductivity. The studies revealed that the specific features of the fillers, above all their texture characteristics (specific surface area, presence and amount of micro- and mesopores) have a significant impact upon all studied properties of the composites. The complex evaluation has demonstrated that the composites containing glass–ceramic fillers, especially at 20–50 phr, are more suitable as substrates and insulating layers in flexible antennas for wireless communications. Evaluated comprehensively, composites containing glass–ceramic fillers have dielectric and mechanical characteristics that make them more suitable for flexible antenna applications than those containing sol–gel glass.

Г.7.12. Al-Sehemi, A.; Al-Ghamdi, A.; Dishovsky, N.; **Atanasova, G.**; Atanasov, N. A flexible broadband antenna for IoT applications. *International Journal of Microwave and Wireless Technologies* **2020**, *12(6)*, pp. 531-540.

DOI: 10.1017/S1759078720000161

Индексирана в **Web of Science** и **Scopus**

1,064 (2020) Impact Factor, Q3 (2020), SJR 0,26 (2020)

A flexible broadband antenna with high radiation efficiency for the Internet of Things (IoT) applications is presented. The design is based on a U-shaped and a triangular-shaped radiator with two tuning stubs. A 50Ω coplanar waveguide (CPW) transmission line is employed to feed the antenna. The proposed antenna is fabricated on a flexible substrate from a composite synthesized by mixing natural rubber with SiO_2 as a filler. The radiating elements, along with the CPW, are built using a highly conductive woven fabric. Results show that the antenna has a simulated and measured impedance bandwidth of 0.856–2.513 GHz and covers the most commonly used wireless communication standards and technologies for IoT applications. The radiation efficiency of the antenna reaches over 75% throughout the operating frequency band with satisfactory radiation patterns and gain. The flexible antenna was also tested under bending conditions. The presented results demonstrate that bending has a minor effect on the antenna performance within the target frequency range. The measured results show a good agreement with simulations. A methodology was developed to study the influence of a change in the electromagnetic properties (dielectric permittivity) of elastomer pads on the parameters and characteristics of flexible antennas. Results indicate small changes in the $|S_{11}|$ curves with a $\pm 20\%$ variation in the imaginary part of the relative permittivity of the substrate.

Г.7.13. Andonova, S.; **Atanasova, G.**; Atanasov, N. Investigating the technological process of adhesion in the fabrication of wearable antennas. *Vlakna a Textil* **2020**, *27(3)*, pp. 8-12. ISSN (print): 1335-0617, ISSN (online): 2585-8890

Индексирана в **Scopus**

Q3 (2020), SJR 0,204 (2020)

The process of designing and creating antennas on textile materials (TM) (built into the clothing) is an extremely interesting and innovative process. In modern conditions, in most cases, the conductive elements of the wearable antennas are made of a special conductive fabric (CF), which is connected to the main TM of the sewing product. The textile materials from which the garments are made are used as substrates for the wearable antennas. The efficiency of the adhesion process between the textile substrate and the conductive fabric is one of the main factors on which the quality of wearable antennas depends. The present work aims to study and analyze the technological features of the adhesion process (between CF and the substrate) in the fabrication of wearable antennas. As a result of the conducted research, dependencies between technological factors of the adhesion process in the fabrication of wearable antennas have been established. The obtained results make it

possible to choose effective operating modes according to the priorities of the real work environment.

Г.7.14. Al-Sehemi, A.G.; Al-Ghamdi, A.A.; Dishovsky, N.T.; Radev, L.N.; Mihailova, I.K.; Malinova, P.A.; Atanasov, N.T.; **Atanasova, G.L.** Natural rubber-based composites filled with bioglasses from a CaO-SiO₂-P₂O₅-Ag₂O system. Effect of Ag₂O concentration in the filler on composite properties. *Polymers for Advanced Technologies* **2020**, 31(3), pp. 574-588.

DOI: 10.1002/pat.4798

Индексирана в **Web of Science** и **Scopus**

3,655 (2020) Impact Factor, Q1 (2020), SJR 0,61 (2020)

There are many studies on the properties of several metals and metal ions dopants used in the SiO₂-CaO-P₂O₅ system of bioglasses, such as Ag, Cu, Zn, and Fe. A number of authors have carried out research related to the influence of silver oxide on the properties of bioglasses. However, publications on the properties of elastomer-based composites containing bioactive glasses are relatively scarce. We have not found in the literature studies discussing how silver oxide concentration in bioglasses of the CaO-SiO₂-P₂O₅-Ag₂O system affects the significant properties of a natural rubber biocomposite. In this regard, the purpose of the present work is to investigate the aforementioned influence on the properties of this type of composites, namely, vulcanization, physicochemical, thermal, dynamic, dielectric, electric, and thermoconductive characteristics. We have established those parameters of the composites to be impacted considerably by both degree of filling with bioglass and the silver oxide content in the latter. The improvement in the composites thermostability and some of their physicochemical performance is the most significant. The volume resistance decreases, and the thermal conductivity coefficients increase. Results from scanning electron microscopy and energy-dispersive X-ray (EDX) analyses have confirmed the influence of silver oxide initially on the phase composition of the bioglass, hence on the properties of the biocomposites through changes in the bioglass used as filler. The dielectric characteristics of some of the biocomposites suggest that they can be used as substrates and insulating layers in flexible antennas for short-range wireless communications.

Г.7.15. Dishovsky, N.T.; Al-Sehemi, A.G.; Al-Ghamdi, A.A.; Radev, L.; Mihailova, I.; Malinova, P.A.; Atanasov, N.T.; **Atanasova, G.L.** Rubber-ceramic composites applicable in flexible antennas. *Journal of Polymer Engineering* **2020**, 40(8), pp. 666-675.

DOI: 10.1515/polyeng-2020-0043,

Индексирана в **Web of Science** и **Scopus**

1,367 (2020) Impact Factor, Q3 (2020), SJR 0,328 (2020)

Glass ceramics from the CaO-P₂O₅-SiO₂ system were synthesized. They were characterized by XRD, SEM and EDX methods. It was found that they contain two crystalline [Whitlockite, Ca₃(PO₄)₂ and Hydroxylapatite, Ca₅(PO₄)₃(OH)] and one

residual amorphous phase. The ceramics are composed of porous aggregates of fine particles with predominant macro- and mesopores in it. The ceramics were used as a functional filler in natural rubber-based composites, as the filling is in the range of 5–50 phr. The influence of the chemical nature and structure of the ceramics and the degree of filling on the vulcanization characteristics, physicochemical parameters, dielectric and dynamic properties, the coefficient of thermal conductivity and the volume resistivity, including external pressure or bending on the specimens were investigated. An influence of the filler and the degree of filling on all studied properties was found. All tested composites have dielectric parameters (ϵ' , real part of complex permittivity; ϵ'' , imaginary part of complex permittivity; σ , conductivity; $\tan\delta_\epsilon$, tangent from dielectric loss angle) suitable for use as substrates and insulating layers of flexible antennas. Particularly impressive are composites containing 30 and 50 phr fillers, which have the lowest tangent from dielectric loss angle values.

Г.7.16. Atanasov, N.T.; **Atanasova, G.L.**; Stefanov, A.K.; Nedialkov, I.I. A Wearable, Low-Profile, Fractal Monopole Antenna Integrated with a Reflector for Enhancing Antenna Performance and SAR Reduction. In Proceedings of the IMWS-AMP 2019 - 2019 IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on Advanced Materials and Processes for RF and THz Applications, Bochum, Germany, 16-18 July 2019, art. no. 8880142, pp. 67-69. DOI: 10.1109/IMWS-AMP.2019.8880142

Индексирана в **Web of Science** и **Scopus**

In this paper, we propose and experimentally realize a low-profile, lightweight, flexible, fully textile, fractal-based monopole antenna integrated with a reflector for enhancing antenna performance and specific absorption rate (SAR) reduction in the human body. The proposed antenna shows a simulated bandwidth of 130 MHz (from 2.37 to 2.50 GHz) in the free space (FS) and 128 MHz (from 2.36 to 2.49 GHz) when it is mounted directly on a flat homogeneous phantom, which covers the targeted Industrial, Scientific, and Medical (ISM) band. High radiation efficiency (greater than 74 % in the FS and greater than 70% on a phantom in the ISM band), is combined with a low maximum 10 g averaged SAR of 0.0971 W/kg at net input power 0.1 W, so the proposed antenna can be a good candidate for use in the wearable devices.

Г.7.17. Atanasova, G.; Atanasov, N.; Stefanov, A.; Andonova, S.; Avramov, M.; Kateva, M. Comparison of Computed Specific Absorption Rate Induced in a Homogeneous Human Body Phantom Using a Wearable Textile Antenna for Biomedical Applications. In Proceedings of the 27th National Conference with International Participation: The Ways to Connect the Future, TELECOM 2019, Sofia, Bulgaria, 30-31 October 2019, art. no. 8994882, pp. 94-97. DOI: 10.1109/TELECOM48729.2019.8994882,

Индексирана в **Scopus**

Because the communication node operates on the human body in biomedical applications of wireless personal networks the electromagnetic interaction between the antenna and the human body needs to be considered. There are two standardisation guidelines regulating this issue, one proposed by the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) and the second one proposed by the Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). The guidelines set by ICNIRP were endorsed on the basis of the European standard.

This paper gives a study and comparison of the Specific Absorption Rate (SAR) induced in a homogeneous phantom using wearable textile antennas with and without body-antenna isolation. A planar monopole antenna intended to operate in industrial, scientific and medical 2.45 GHz band is taken as an example for the investigation. The 1- and 10-g peak SAR and SAR distributions of wearable antennas on the phantom in different observation planes are presented to study human safety. To conclude, we found that the wearable antennas with body-antenna isolation in their structure are a good candidate for biomedical applications of wireless personal networks in terms of antenna radiation efficiency, bandwidth, SAR, and stability.

Г.7.18. Tsonev, I.; Atanasov, N.; **Atanasova, G.**; Krčma, F.; Bogdanov, T. Atmospheric pressure microwave plasma torch for biomedical applications. *Plasma Medicine* **2018**, 8(4), pp. 403-409. DOI: 10.1615/PlasmaMed.2019028816

Индексирана в **Scopus**

Q3 (2018), SJR 0,278 (2018)

During the past decade, cold plasma sources have gained much attention regarding biomedical applications. The large spectrum of observed effects (programmed cell death, bacterial inactivation, wound healing, etc.) has encouraged scientists to create and use different plasma sources operating at atmospheric pressure. The preferred plasma device to this point has been dielectric barrier discharges. In this work, we present well-known surface-wave-sustained microwave discharge operating at 2.45 GHz. This atmospheric pressure plasma torch can sustain low gas temperature at relatively low gas flow and power output, which makes it for working with different model biological systems. We see a strong relationship among microwave power, torch length, and gas temperature. Moreover, gas flow and tube specifications (inner diameter, wall thickness, and dielectric permittivity) vary temperature and length of discharge. The purpose of this work is to precisely determine the working conditions at which this plasma source can be used in direct contact with biological objects.

Г.7.19. Al-Sehemi, A.G.; Al-Ghamdi, A.A.; Dishovsky, N.T.; Atanasov, N.T.; **Atanasova, G.L.** Flexible and small wearable antenna for wireless body area network applications. *Journal of Electromagnetic Waves and Applications* **2017**, 31(11-12), pp. 1063-1082.

DOI: 10.1080/09205071.2017.1336492,

Индексирана в **Web of Science** и **Scopus**

0,864 (2017) Impact Factor, Q3 (2017), SJR 0,258 (2017)

In this paper, we present design and simulation of the compact planar dipole antenna on fully flexible nitrile butadiene rubber polymer composite for body area network applications. The reflector is utilized to eliminate the impedance mismatch and frequency shift caused by the human tissues proximity, and also to reduce the maximum 1 and 10 g SAR values. A three-layer human tissue model is used to numerically analyse the performance of the antenna, including the human body effect. The proposed antenna achieves stable on-body performance: $|S_{11}|$ varies from -19.45 dB (in free space) at 2.46 GHz resonant frequency to -20.62 dB (on the skin) at 2.44 GHz resonant frequency. Additionally, the specific absorption rate (SAR) of the proposed antenna is evaluated. It was found that the maximum 1 g average SAR value is only 0.20 W/kg for an input power of 100 mW at a distance of 2 mm away from the tissue model. Simulated and measured results are presented to demonstrate the validity of the proposed antenna. Furthermore, the proposed antenna offers the advantages of being compact, low profile, cheap and easy to fabricate.

Г.7.20. Atanasov, N.T.; **Atanasova, G.L.** An investigation impact of user's positions in closed space over SAR in the head induced from mobile phone. *Environmentalist* **2011**, *31*(2), pp. 181-186. DOI: 10.1007/s10669-011-9317-x

Индексирана в **Scopus**

The purpose of this work was to investigate the impact of user's positions in close space over the variations of SAR distribution in human head induced from mobile phone under the worst case conditions. The "worst case" considered in this paper refers to conditions that include (1) a half-wavelength dipole antenna, placed near the model of human head—SAM phantom; (2) a vertically oriented dipole antenna, parallel to the side walls of closed space for maximum reflection; (3) metallic closed space acts as a resonant cavity; and (4) 360 randomly selected observation points. We also used a free space model for comparative purposes. The maximum 1- and 10-g average SAR and average SAR in whole-exposed object probability density function curves have been derived to illustrate the percentage of SAR values that have been induced inside SAM for different locations of user in the closed space. The obtained results show that in more than 86.7% of all investigated user's positions in the metallic closed space, the induced maximum 1-g average SAR in user's head is in the boundaries of $\pm 10\%$ of maximum 1-g average SAR, when the user use mobile phone in free space. This relationship keep still at maximum 10-g average SAR, where in 85.9% from all investigated user's positions, SAR values are in boundaries of $\pm 10\%$ of maximum 10-g average SAR in free space. The results showed that closed space causes more significant changes on average SAR in wholeexposed object than maximal SAR values. When we estimated the average SAR in whole-exposed SAM in 85% from all investigated

user's position in closed space, the induced SAR is higher than SAR values in free space model. It can be noted that the highest obtained SAR values in closed space were with 8.5% (for 1 g), 6.7% (for 10-g average SAR), and 15.1% (for average SAR in whole SAM) higher than these of the free space.

Group Γ, Indicator 8

- Γ.8.1** Al-Ghamdi, A.; Al-Hartomy, O.; Al-Solamy, F.; Dishovsky, N.; Malinova, P.; Atanasov, N.; **Atanasova, G.** Correlation between Electrical Conductivity and Microwave Shielding Effectiveness of Natural Rubber Based Composites, Containing Different Hybrid Fillers Obtained by Impregnation Technology. *Materials Sciences and Applications* **2016**, 7, 496-509. doi: 10.4236/msa.2016.79043, <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=70441>

The paper presents the synthesis and characterization of carbon black/silicone dioxide hybrid fillers obtained by an impregnation technology. The electromagnetic interference shielding effectiveness of the composites filled with carbon black/silicone dioxide hybrid fillers was measured in the wide frequency range of 1 - 12 GHz. The *dc* and *ac* electrical conductivity of composites also have been investigated. The relationship between electrical (*dc* and *ac*) conductivity and shielding effectiveness was analyzed. A positive correlation was found between the absorptive shielding effectiveness and *ac* conductivity for composites comprising conductive carbon black/silica filler, when the filler loading is above the percolation threshold.

- Γ.8.2** Al-Sehemi A.; Al-Ghamdi, A.; Dishovsky, N.; Atanasov, N.; **Atanasova, G.** Complex Permittivity and Permeability Studies Viewing Antenna Applications of NBR-Based Composites Comprising Conductive Fillers, *Materials Sciences and Applications* **2018**, 9, 883-899. doi: 10.4236/msa.2018.911064, <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=88039>

The work presents studies on the complex permittivity and permeability of composites based on acrylonitrile butadiene rubber containing combinations of conductive fillers which include carbon black and nickel powder. The properties of those composites, containing each of the fillers at the same amount were compared. The permittivity and permeability values of the composites are influenced remarkably by their morphology and structure as well as by the morphological and structural specifics of both fillers. As electron scanning microscopy studies confirm, those parameters are predetermined by the nature of the composites studied—particle size, particles arrangement in the matrix and their tendency to clustering. Last but not least matrix-filler interface phenomena also impact the characteristics in question. The possibilities for applications of the composites in antennae have been studied, in particular, as substrates and insulating layers in flexible antennae for body centric communications (BCCs). The research results allow the conclusion that these materials can find such applications indeed. Composites of higher conductivity can be used

where surface waves are generated to provide on-body communications, while composites of lower conductivity may be used for antennae that will be on the body of a person and will transmit to and receive from other antennas that are not on the body of the same person (off-body communications). It is clear that one can engineer the properties of antennae substrates at microwave frequencies by adjusting the filler content and the type of filler and thus control and tailor the antenna performance specific for a particular application.

Г.8.3 Давидков Д.; Атанасова Г. Изследване на канали в безжични мрежи ориентирани около тялото на човек предназначени за медицински цели, XXVIII Международна научна конференция за млади учени, 13 и 14 юни 2019 г., Благоевград, България, стр. 70-76.

Body area networks (BANs) for medical applications are new type of wireless networks where a set of low-power devices are located inside, on, or around the human body for monitoring vital signs. An important element in development of BANs for medical application is the characterization of the physical layer of the network. This involves the study of on-body, and body-to-body channels in an indoor multipath environment, in Industrial Scientific and Medical band. In this paper we present results from a measurement campaign carried out to characterize an off-body channel response of a BAN in the frequency domain. All measurements are performed on a flat phantom in an indoor multipath environment at line-of-sight. Measurement results show that off-body channel (between a wearable and an external device) has the maximum loss (up to 50 dB) at 2.45 GHz. From the results we conclude that the off-body channel is excellent for low-power, low-data-rate transmission in a BAN for medical applications due to low path loss.