

**ПОДОБРЯВАНЕ КАЧЕСТВОТО НА ДОСТАВЕНИЯ GSM СИГНАЛ
В ЦЯЛАТА ЛЕНТА 890-960 MHz****Станимир Садинов¹, Мирослав Томов², Борис Арсов³, Айсун Ахмед⁴**¹Технически университет - Габрово²Технически университет - Габрово³Международен Славянски университет Св. Никола, С. Македония⁴Технически университет - Габрово**DISTRIBUTED GSM SIGNAL QUALITY IMPROVEMENT
ACROSS THE ENTIRE 890-960 MHz BAND****Stanimir Sadinov¹, Miroslav Tomov², Boris Arsov³, Aysun Ahmed⁴**¹ Technical University of Gabrovo² Technical University of Gabrovo³ International Slavic University Sv Nikole, N. Macedonia⁴ Technical University of Gabrovo**Abstract**

The quality of RF signal coverage of GSM network and for example, the parameters of LTE signal at many places, is not reliable enough for intensive data transfer. This fact pushes GSM service customers to look for and to apply locally additional devices or systems for amplification of the initially supplied RF signal level in order to improve the quality of the service. This local improvement covers small area around the customer's residence. The proper and effective performance of the additional system of devices for amplification can be achieved by a correct impedance match of all schematic components and antenna-feeder configuration alignment. This paper shares some useful results, analyses and optimization by impedance match calculations and practical upgrade of designed local GSM amplifying system.

Keywords: GSM network, RF Amplifying systems, Impedance match.**ВЪВЕДЕНИЕ**

В днешно време на мобилните комуникации основният дял на покритие се поддържа от системи от трето поколение. Въпреки че успяват да осигурят само до около 2 Mbps, те все още покриват практически 100% от мрежите на всички доставчици. 3G все още е основната технология за гласови услуги, пренасяйки над 60% от този трафик. Следващият дял на покритие принадлежи на LTE и чисто 4-то поколение, а последният дял на обема принадлежи на 5G и на системите от

2-ро поколение (чието развитие е спряно, но те все още могат да се използват в много страни, когато е необходимо или когато няма друга опция). 4G технологията поддържа максимална скорост на обмен на данни до 100 Mbps при честотна лента от 20 MHz. 4G достъпът до данни е няколко пъти по-бърз от 3G, тъй като архитектурата му е специално адаптирана за бърз трансфер на данни, което за потребителите означава по-високи скорости и интерактивни услуги. Системите 5G са актуални в днешно време и тяхно-

то развитие е проектирано да осигурява много високи скорости на трансфер на данни от 5–250 Mbit/s. [1, 2] 5G технологията осигурява скорост на трафик на изтегляне в Gbit/s диапазон, сравнима с тази при пренос на данни по оптичен или коаксиален кабел. Проблемът е, че тези мрежи няма да бъдат целево развивани в рядко населени райони – села и вилни зони. Към днешна дата реалността показва, че дори 4G мрежите са крайно недоразвити в тези райони.

Поради по-високата им цена, плановете на доставчиците на мобилни услуги са да се разположат 4G и 5G базови станции, само в гъста градска среда и райони, където се събират тълпи от хора, като например спортни стадиони и конгресни центрове. Посочените скорости са тези, постигнати при реални тестове през 2022 г. и се очаква скоростите да се увеличат още по време на внедряването им [1].

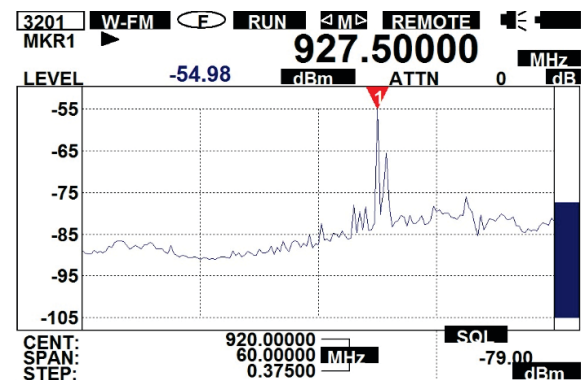
Настоящият доклад показва и анализира някои практически резултати свързани с разработване и изследване на локална усилвателна система, която е предназначена за приемане, усилване и локално разпространение на LTE и 4G сигнали за радиочестотно покритие на селска къща с двор, разположени на сравнително малка площ (около 1 дка) [2], където наличният сигнал за 4G услуга е много слаб и практически неизползваем.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Основните изисквания към мобилните комуникационни системи, са висока скорост на данни, висока мобилност и безпроблемно покритие. Обикновено е трудно да се реализира една единствена система, която да отговаря на всички понякога противоречиви изисквания. Някои системи могат да осигурят високи скорости на трафик на данни, а други са проектирани да поддържат висока мобилност и широко покритие на услугата.

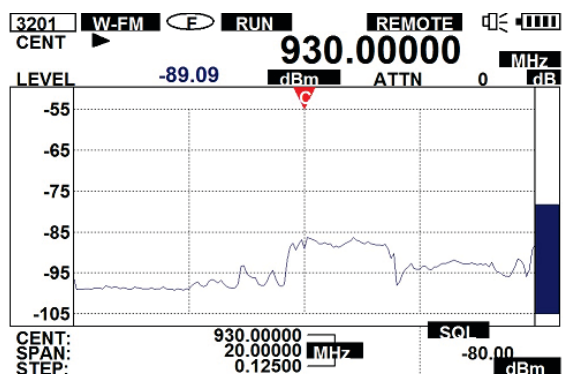
Всъщност големи райони са покрити надеждно само от 3G мрежа, а LTE или 4G инфраструктурата е далеч от потребителите в малките села, за да се гарантира високо качество или поне достатъчно качество на сигнала. Ето защо проектирането на подходяща локална усилвателна система започва с изследване чрез подробни измервания на действителните местни условия като параметри на разпределения сигнал за мобилна услуга. От измерванията става ясно какво усилване е необходимо, за да започне фактическото проектиране.

В представената разработка на системата са използвани два различни вида антени, фабрично произведени за честотна лента от 850 MHz до 990 MHz и широколентов RF усилвател (500 MHz до 2000 MHz).



Фиг. 1. Измерено ниво на радиочестотната мощност на GSM сигнала в ТУ-Габрово

Мощността на GSM сигнала е измерена с помощта на спектрален анализатор Protek 3200 RF, И двете графики показват максималната и средната стойност на радиочестотната мощност на сигнала в обхвата 890-960 MHz, доставен и в двата случая от един и същ доставчик на мобилни услуги – А1 България, но в различни териториални области. Фиг.1 показва измереното максимално и средно ниво на радиочестотна мощност в честотната лента в района на града, където се намира Техническият университет.



Фиг. 2. Измерено ниво на радиочестотната мощност на GSM сигнала в с. Лесичери

На Фиг. 2 се вижда измереното ниво на мощността на сигнала като функция на честотата в района на малко село, отдалечено на поне 12 км от базовата станция в околностите на гр. Павликени, която осигурява LTE/4G сигнал в източна посока.

Разликата в dBm е повече от значителна: -89.09 dBm на село срещу -54.98 dBm в града. Тези измервания на практика отчитат нивото на радиочестотната фоновата мощност в изследваната лента, но нивото на сигнала след антената в приемника на мобилното устройство е още по-слабо. Това действително ниво се измерва от Android приложение, инсталирано в мобилното устройство и показва стойности съответно: -113 dBm и -78 dBm.

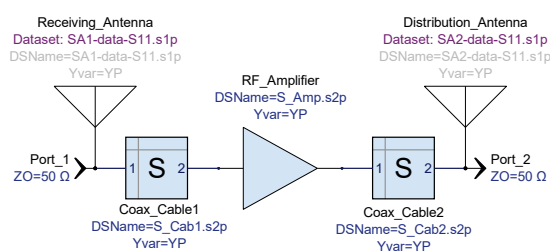
Стойности на мощността на сигнала, по-ниски от -90 dBm, не са достатъчно надеждни за пренос на данни и дори за 3G телефония и това сериозно компрометира качеството на доставената мобилна услуга. Резултатите от измерването категорично потвърждават нуждата от инсталиране на локална усилвателна система за радиочестотния диапазон (890-960 MHz).

Възможно е да се реализира усилване в по-тесни и/или специфично подбрани честотни подленти, вместо в целия диапазон, но този подход изисква значително по-детайлно проучване относно параметрите на излъчвания сигнал от конкретната базова станция. Необходимо е доста продължително наблюдение на из-

лъчването за по-дълго време, чрез което да се съберат статистически данни за нивата на сигнала при всяка една от използваните честоти за предаване и приемане.

Целта на това изследване е да се намери най-гъвкавият и най-лесно изпълним начин за локално усилване на сигнала, за да се подобри качеството на мобилната услуга в степен, напълно удовлетворяваща нуждите на крайния потребител.

Първоначалната блокова схема на проектираната система за усилване на RF сигнала е показана на Фиг 3. Компонентите са представени като двуполусни и четириполусни блокове с данни от измерването систематизирани под формата на S-матрица $\|S_{11}, S_{12}; S_{21}, S_{22}\|$.



Фиг. 3. Блокова схема на проектираната система за локално усилване на GSM сигнала

Данните за изменението на S-параметрите в изследвания честотен диапазон са събрани с помощта на портативен векторен мрежов анализатор NanoVNA-F V2.

Използваната приемна антена е стандартна 9-елементна, тип „Яги“, фабрично произведена, конструирана с подходящи размери на елементите си за оптимална работа в диапазона от честоти 890 до 960 MHz, с вертикална поляризация. Насочена е към най-близката базова станция от мрежата на избрания GSM доставчик. Разстоянието от приемната антена до базовата станция е около 12 км.

Приемната антена е монтирана на покрива на къщата. Насочването ѝ се извършва след някои предварителни изчисления въз основа на наличните GPS данни относно географската ширина и

дължина на най-близката поддържаща 4G базова станция на доставчика на GSM услуги. Позицията и посоката на антената се прецизират чрез измерване на нивото на мощност на радиочестотния сигнал с помощта на спектрален анализатор Protek и Android приложение Network Cell Info. Антената е оборудвана с 50 Ω коаксиален захранващ кабел RG-58, N-тип женски конектор [4].

Преобразувател N-тип мъжки към SMA женски свързва захранващото устройство на антената към коаксиалния кабел RG-58. И двата изхода на кабела са оборудвани с SMA мъжки конектори – първият е свързан към женската SMA страна на преобразувателя N към SMA, а вторият е свързан към входния терминал на RF усилвателя на мощност. [6,10]

Втори коаксиален кабел свързва изхода на усилвателя и съединителя на разпръскващата антена (също N-тип женски). Този кабел също е оборудван със SMA мъжки конектори в двата си края, което се нуждае от още един преобразувател SMA мъжки към N-тип мъжки.

Конфигурацията на блоковата схема подлежи на промени, тъй като често се налага да се проектират вериги за трансформиране на импеданса, като се отчита и влиянието на комплексния характер на контактните съпротивления на свързващите им клеми. [7]

Въпреки че е по-удобно съответните изходи на коаксиалните кабели да бъдат терминирани директно със съответните конектори (N-тип мъжки) и да се избегнат преобразуватели, има причина за избора на описаното разположение. Представената схема е предназначена за първоначално измерване и симулация без компоненти за съгласуване на импеданса в мрежата.

Окончателната схематична топология и компоненти на локалната система за усилване на GSM сигнала се очертава след като симулацията даде резултати и стане видно, че трябва задължително да бъде осигурено импедансно съгласуване между приемащата антена и усилвателя

и между усилвателя и товара, т.е. разпръскващата антена. Входната и изходната съгласуващи импеданса секции, са проектирани от дискретни елементи въз основа на резултатите от симулацията. Тези модули също се нуждаят от съответната оптимизация по отношение на разположението на конекторите, но това може да се направи само след установеното в процеса на симулация оптималното им място в топологията.

Измервания и резултати.

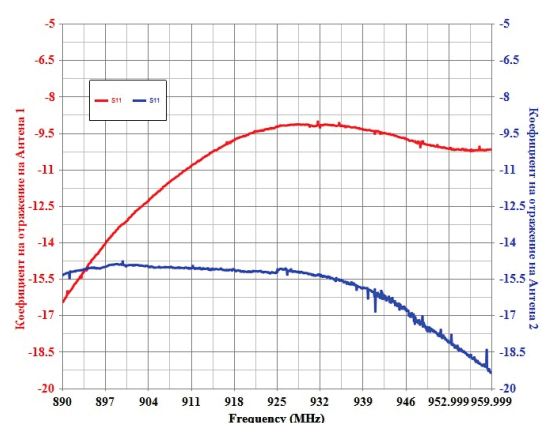
1. Измерване на S-параметрите на компонентите на усилващата система с помощта на NanoVNA-FV2.

Основната цел на измерването е да се събере матрицата с данни на S-параметрите на всеки от компонентите на усилвателната система, за да се подготви точен симулационен модел, за да се осигури максимално съвпадение между реалното и очакваното електромагнитно поведение на усилвателната система.

Измерването на S-параметрите се извършва индивидуално за всеки компонент от първоначалната схема на Фиг.3. [5,9]

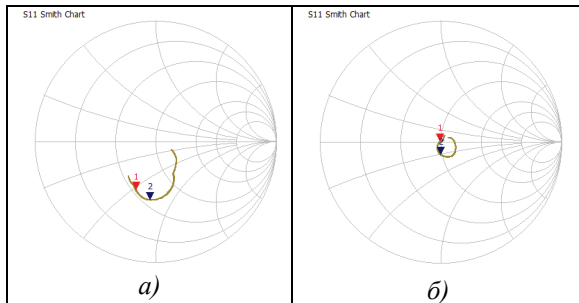
Както приемната антена, така и разпръскващата антена са устройства с един порт, така че коефициентът на отражение S_{11} се измерва и записва [8] във файлов формат *.s1p от софтуерния интерфейс на векторния анализатор:

На Фиг.4 е представена диаграма на коефициента на отражение S_{11} като функция на честотата на приемната и на разпръскващата антена.



Фиг. 4. Коефициент на отражение S_{11} в приемната антена и в разпръскващата антена

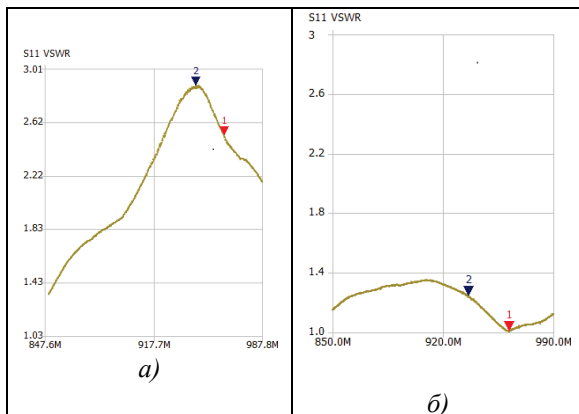
Диаграмата на Смит, снета за двете антени е показана на Фиг.5. [11,12]



Фиг. 5. Диаграма на Смит, снета за:
а) приемната антена
б) за разпръскващата антена

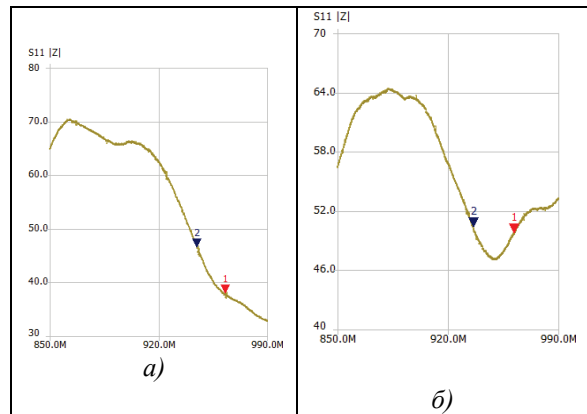
От графиката се вижда, че в рамките на изследваната честотна лента, коефициентът на отражение на разпръскващата антена се движи в много близка околност на центъра на диаграмата на Смит, което значително би улеснило проектирането на съгласуващо импеданса звено.[7, 10]

Останалите непосредствено отчетени от анализатора величини са: коефициент на стояща вълна (Фиг.6),



Фиг. 6. Коефициент на стояща вълна като функция на честотата за:
а) приемната антена ;
б) за разпръскващата антена

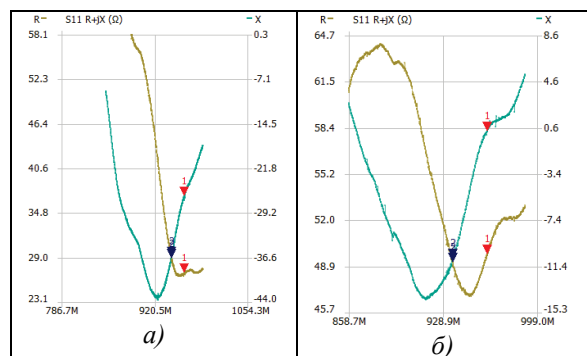
модул на характеристичния импеданс на приемната и разпръскващата антена (фиг.7)



Фиг. 7. Коефициент на стояща вълна за:
а) приемната антена ;
б) за разпръскващата антена

$R+jX$ (Фиг.8), фаза на входния сигнал, групово забавяне на входния сигнал, качествен фактор, индуктивност и капацитет на серийно свързан паралелен трептящ кръг.

Данните от измерените величини са използвани в изчисления за оптимизация на двуполюсните модели и симулационните резултати, необходими проектиране на съгласуващите импеданса звена.



Фиг. 8. Активната и реактивната съставки на характеристичния импеданс като функция на честотата за: а) приемната антена ;
б) за разпръскващата антена

RF усилвателят на мощност, както и двата свързващи коаксиални кабела са четириполюсници (двупортови модели), така че измерените параметри се записват [8,11] във файлов формат *.s2p от софтуерния интерфейс векторния мрежов анализатор: S_{11} (S_{22}), S_{21} (S_{12}). Из-

мерването аналогично извежда числови стойности на следните величини: $|S_{11}|$, характеристичен импеданс, $R+jX$, фаза на входния сигнал, групово забавяне на входния сигнал, качествен фактор, индуктивност и капацитет на серийно свързан паралелен трептящ кръг, графично представяне на коефициента на предаване в полярни координати - S_{21} , коефициент на усилване, $|S_{21}|$, фаза на изходния сигнал, групово забавяне на изходния сигнал, сравнение S_{11} & S_{21} (LogMag) и графично представяне на формата на изходния сигнал като функция на времето (TDR).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Въз основа на направените измервания и изчисления става ясно, че за да се намалят загубите при преобразуването на сигнала в усилвателната система и да се осигури високоефективно и качествено усилване се налага да бъдат проектирани съгласуващо-трансформиращи импеданса звена между приемната антена и усилвателя, както и между усилвателя и разпръскващата антена. Импедансите на свързващите коаксиални кабели биха могли да бъдат отчетени и „включени“ в параметрите на еквивалентните схеми тези съгласуващи звена.

БЛАГОДАРНОСТИ

Представената работа е подкрепена по проект 2205Е/2023 „Планиране, проектиране и оптимизиране на безжични комуникационни платформи, услуги и решения за 5G и IoT приложения“ от УЦНИТ към Технически университет – Габрово.

REFERENCE

- [1] I. Iliev, “Mobile Communications”, TU-Sofia, 2014.
- [2] Vilches, J. (April 29, 2010). "Everything You Need To Know About 4G Wireless Technology". Retrieved January 11, 2016.
- [3] Gr.Y. Mihaylov, T.B. Iliev, T.D. Bikov, E.P. Ivanova, I.S. Stoyanov, V.P.

- Keseev, A.R. Dinov, “Test cases and challenges for mobile network evolution from LTE to 5G”, 41st International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics, 2018.
- [4] T.B. Iliev, G.Y. Mihaylov, T.D. Bikov, E.P. Ivanova, I.S. Stoyanov, D.I. Radev, “LTE eNB traffic analysis and key techniques towards 5G mobile networks”, 40th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics 2017.
- [5] N. Blaunstein, C.G. Christodoulou, “Radio Propagation and Adaptive Antennas for Wireless Communication Networks”, 2nd Edition, Wiley, 2014.
- [6] R. Hamam, A. Karalis, J. Joannopoulos, M. Soljacic, “Coupled-mode theory for general free-space resonant scattering of waves”, Physical review A, vol. 75, issue 5, ID 053801, 2007.
- [7] F.H. Raab, P. Asbeck, S. Cripps, P. B. Kenington, N. O. Sokal. “RF and Microwave Power Amplifier and Transmitter Technologies”, High Frequency Electronics, vol. 2, No 3, pp. 22-36, 2003.
- [8] A Grebennikov, “RF and Microwave Power Amplifier Design”, New York: McGraw-Hill, 2004.
- [9] I. Nedelchev, M. Tomov, “Optimization Of High Efficient RF Power Amplifying Schematics by Automated S-matrix Analysis”, Scientific conference of Angel Kanchev University of Rousse 2016, Scientific papers of Rousse University - 2016, ISSN 1311-3321 , vol.55, series 3.2.pp.8-12.
- [10] M. Kazimierzuk, “RF power amplifiers”, TK7871.58.P6K39, 2008.
- [11] I. Nedelchev, M. Tomov, “Optimized Gain Achievement At Efficiency Over 90% And Minimized Noise Of RF Power Amplifiers By S-parametric correction”, UNITECH'2016 - Gabrovo, Proc. of papers, Vol.II, ISSN 1313-230X, 2016, pp. 168-172.
- [12] R.J. Weber, Introduction to Microwave Circuits. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2001.