

**ИЗМЕРВАНЕ НА ЕМП С ИЗПОЛЗВАНЕ НА МНОГООБОРОТНА
РОТАЦИЯ НА СКАНИРАЩАТА АНТЕНА****Климент Ангелов¹, Христо Христов²**^{1,2} *Технически университет – София***EMF MEASUREMENT USING MULTI-TURN
ROTATION OF THE SCANNING ANTENNA****Kliment Angelov¹, Hristo Hristov²**^{1,2} *Technical university of Sofia***Abstract**

In this study an innovative method for EMF measurements in the environment using multiple rotation with constant speed of the scanning antenna has been presented. The theoretical basis and the principal algorithm for processing the periodically repetitive signal during the scanning has been described. Some conclusions for future improvement of the method have also been discussed.

Keywords: EMC, Antenna Measurements, Multi-turn Scanning.**ВЪВЕДЕНИЕ**

В динамичното и технологично наситено ежедневие натовареността на ефира е сериозна. Понастоящем работят значимо множество от безжични комуникационни технологии [1][2][3] (напр. 2G, 3G, 4G, 5G, DAB, DVB-T, WiMax, WiFi, LoRa и т.н.), които излъчват свободни електромагнитни вълни (ЕМВ), а освен тях има и други некомуникационни източници на електромагнитни полета (ЕМП) с емисии в различни честотни обхвати. Всичко това води до усложняване на електромагнитната обстановка и съответно до необходимост от добро планиране и оптимално управление на този стратегически ресурс. При всички положения е необходимо и контрол на електромагнитните излъчвания (ЕМИ), което може да се извърши чрез измервания.

За измерване на ЕМП се използват различни подходи, общото между които е необходимостта от измервателна апаратура и еталонна сканираща антена. В зависимост от нуждите може да се прави разделяне на източниците на ЕМП в честотни обхвати, както и спрямо тяхната пространствена

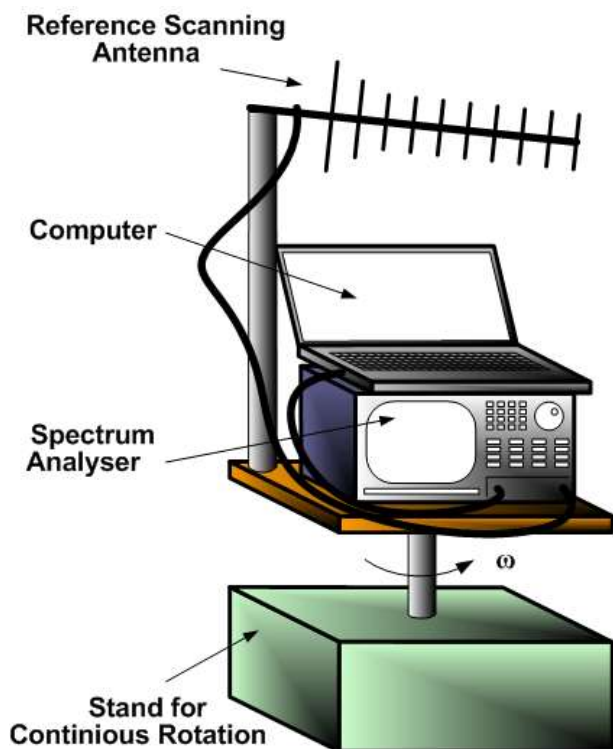
конфигурация в дадената точка на наблюдение, а е възможно да се изисква и просто комплексна изотропна оценка за нивото на ЕМИ, каквото се прави напр. при контрол от гледна точка на нормите за безопасност [4]. Всичко това поставя изисквания за честотния обхват и динамичен диапазон на измервателния уред и еталонната антена, но обуславя и параметрите на системата като цяло, която може да включва и антенно позициониращо устройство.

В настоящата статия е описан подход на измерване с помощта на многооборотно завъртане на сканиращата антена, при който посредством математическа обработка на данните от сканирането се получава детайлна картина на ЕМИ по пространствени направления и в различни честотни ленти.

ИЗЛОЖЕНИЕ

В основата на представяната в настоящата статия идея е възможността за осигуряване на множество повтарящи се

измервания, които да позволяват чрез усредняване да се постигне по-висока точност на измерването. Подобно повторение би могло да се реализира лесно чрез многократно завъртане на сканиращата антена с известна насочена диаграма на насочено действие (ДНД). На фиг. 1 е показана схематично идеята на стенд за многооборотното завъртане на еталонна сканираща антена с постоянна ъглова скорост ω .



Фиг. 1. Система за многооборотни измервания

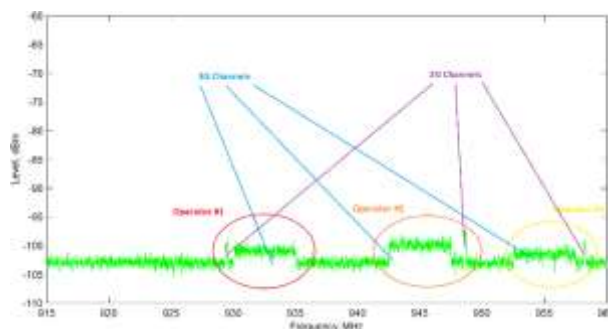
Приетите от сканиращата антена сигнали се подават на входа на спектрален анализатор или софтуерно дефинирано радио (Software Defined Radio – SDR) [5] и нивата за отделните честоти се записват през определен период на дискретизация T_s в компютър. При известни зададени стойности за ъгловата скорост ω и за периодът T_s може да се определи ъгловата стъпка θ_{min} , през която е прави сканирането в рамките на един оборот:

$$\theta_{min} = 6 \cdot T_s \cdot \omega, \quad (1)$$

където T_s е в секунди, ω е в обороти в минута (RPM), а θ_{min} – в градуси. След многократно постоянно завъртане на антената в компютъра ще се запишат данни

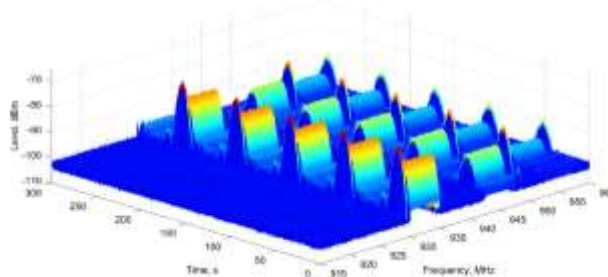
за всяка честота, които ще имат периодичен характер.

На фиг. 2 е показан спектъра в честотния диапазон 915 ÷ 960 MHz в началния момент, преди започване на ротация на антената. Могат да се отличат три канала с широчина 200 kHz и три канала с ширина на честотната лента 5 MHz. Това са downlink канали за мобилно радиопокривие съответно за 2G и 3G клетъчни мрежи, като това прави, отчитайки наличието на три мобилни оператора, по един канал за всеки оператор от двете поколения технологии.



Фиг. 2. Спектрална картина в диапазона 915 ÷ 960 MHz

След пристъпване към ротация на стенда нивата за всички канали ще започнат да се променят, предвид на различната пространствена ориентация на базовите станции на трите оператора спрямо точката на измерване и това на къде е насочено в дадения момент еталонната сканираща антена. На фиг. 3 е показана триизмерно изображение на приетите нива в продължение на 5 минути (300 s) за разглежданата честотна лента. Завъртането на антената е със ъглова скорост 1 RPM, което обуславя, че в рамките на периода на измерването са осъществени пет оборота на антената, като периодът на отчитане и запис на данните е $T_s = 250 \text{ ms}$.



Фиг. 3. Периодично повтарящ се спектър при многооборотна ротация на сканиращата антена

От така записаните периодични данни може да се извлече периодът на повторението им във времето. Това може да се осъществи чрез честотно преобразуване от вида:

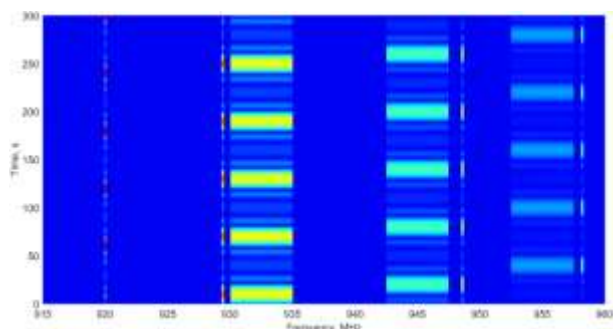
$$S(F) = \mathcal{F} \{s(t)\}, \quad (2)$$

където $s(t)$ представлява записания спектър по време на сканирането. Това преобразуване дава възможност да се направи математическата обработка без да е известна точната ъглова скорост на въртене ω , като това води съответно до по-ниски изисквания към техническите и технологични параметрите на антенния позициониращ стенд, стига да се осигури равномерността на завъртанията. След обратно преобразуване при известен основен период би могло да се получи усреднения спектър в рамките на време с продължителност един период на завъртане:

$$\bar{s}(t) = \mathcal{F}^{-1} \{s(F)\}. \quad (3)$$

Полученият по този начин усреднен резултат може да покаже относителното пространствено направление на излъчванията на отделните източници помежду им поради правата взаимовръзка между времето и посоката на сканиране по азимут. Той, обаче, не може да покаже абсолютните направления, поради липса на детерминиране на началните условия на многооборотното завъртане.

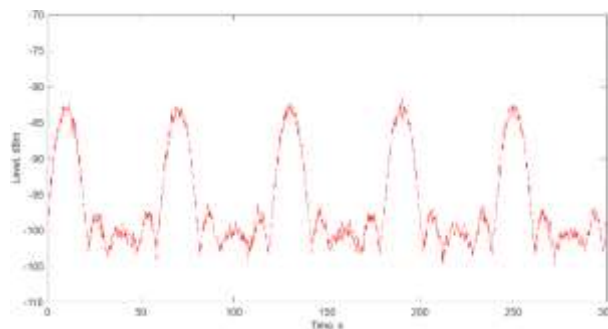
Последният проблем може да бъде решен като в точка с известна позиция се постави допълнителен източник на пилотен сигнал. Сканираният спектър при добавен предавател с честота 920 MHz е показан на фиг. 4.



Фиг. 4. Спектър в диапазона 915 ÷ 960 MHz с засечен пилотен сигнал с честота 920 MHz.

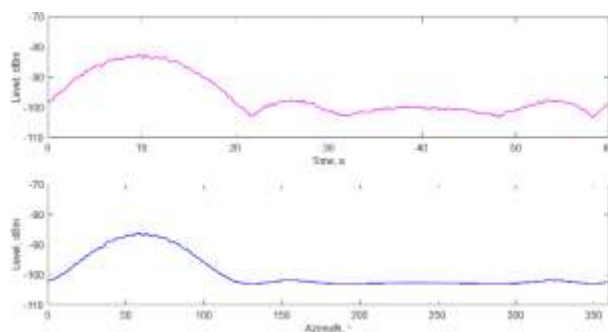
В конкретния пример е избрано този предавател да се постави на позиция с азимут 0° спрямо точката, в която се извършва сканирането.

На фиг. 5 е показано изображение на графичната промяна на нивото за честота 932,5 MHz в рамките на изследвания интервал от 5 минути. Тази честота се явява централна за 3G канала на Оператор 1. Забелязват се пет периодично повтарящи се максимуми, отговарящи на завъртанията на сканиращата еталонна антена в посока на местоположението на базовата станция за този оператор.



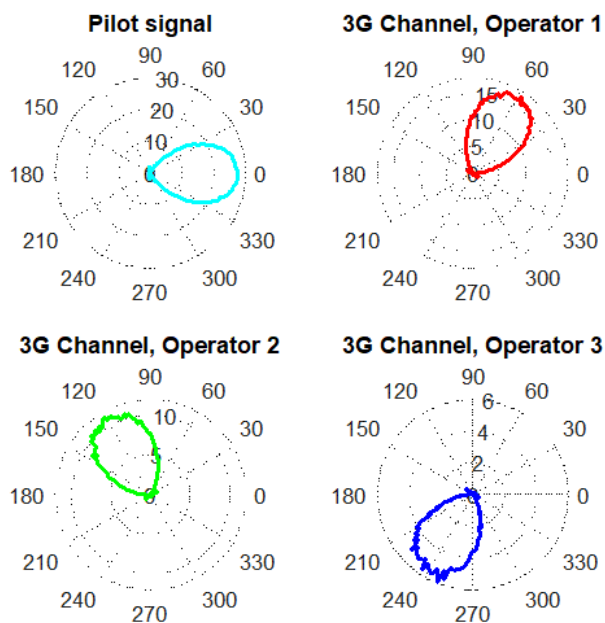
Фиг. 5. Периодично повтарящо се ниво за честота 932,5 MHz поради завъртането на сканиращата антена

След усредняването съгласно (2) и (3) с помощта на [6] се получава изменението на нивото на сигнала в рамките на един оборот на завъртане на сканиращата антена (в случая 60 s). Поради аналогията време – ъглово завъртане същото изменение се явява и по направления $0^\circ \div 360^\circ$. На фиг. 6 са показани тези изменения на нивата за споменатата по-горе честота за 3G канал на Оператор 1. На по-горната от двете графики това ниво е във функция от времето, а на подолната – във функция от азимуталния ъгъл, като то е коригирано и с отчитане на реалната ДНД на сканиращата антена.



Фиг. 6. Периодично повтарящо се ниво за честота 932,5 MHz в интервала $0 \div 60s$ ($0^\circ \div 360^\circ$)

Подобен анализ може да се направи за всички комуникационни канали, засечени при измерването. В конкретния случай 2G и 3G каналите за всеки оператор в точката на сканиране се явяват от едно и също направление, защото се излъчват от една и съща негова базова станция. На фиг. 7 е показана интензивността на излъчването от различните оператори, както и на пилотния сигнал, по направления.



Фиг. 7. Направления на максимална сила на приетия в изследваната точка сигнал за трите оператора

В табл. №1 са поместени резултатите за сканирането, показващи посоката, от която се получава най-силно излъчване на сигнала спрямо базовото ниво за трите оператора. Известната позиция на предавателя за пилотния сигнал (предварително уговорена в конкретния пример 0° - север) дава възможност за детерминиране на географските направления на излъчванията.

Таблица №1 Показатели по направления за трите оператора и за пилотния сигнал

Оператор	1	2	3
Максимално ниво, dB	16,65	11,25	5,72
Азимут, °	60	122	249
Направление	североизток	югоизток	югозапад

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От резултатите, получени в настоящото изследване могат да се направят следните изводи:

- Предлагания метод за многооборотни антенни измервания дава обнадеждаващи резултати за анализ на нивата и пространствените направления на ЕМИ;

- Подобни измервания са полезни и от гледна точка работа на терен и по-конкретно определяне на направления на насочване на антени, детерминиране на смущения и др.;

- Целесъобразно е да се изследва точността на метода;

ПРИЗНАТЕЛНОСТ

Работата, описана в настоящата статия, е финансирана и извършена по договор № 211ИХЪБ0003-07 / 2021г. към научен проект „Автоматизирана система за антенни измервания и/или оценка на електромагнитната съвместимост,, , реализиращ се по инициативата Студентски иновативен хъб на Научно-Изследователския Сектор към Технически университет – София.

REFERENCE

- [1] Wiley–2004 “WCDMA” for UMTS Radio Access for Third Generation Mobile Communications”.
- [2] Esmael Dinan, “UMTS Radio Interface System Planning and Optimization”.
- [3] Egena Onu, Planning And Optimisation Of 4G/5G Mobile Networks and Beyond, Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy in Data Telecommunications and Networks, School of Computing, Science and Engineering, Informatics and Acoustics Research Centre, University of Salford, Salford, UK, 2017.
- [4] Schiavoni A., P. Bertotto, G. Richiardi, P. Bielli, SAR Generated by Commercial Cellular Phones – Phone Modeling, Head Modeling and Measurements, IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques, Vol. 48, No. 11 Part: 2, pp. 2064-2071, Nov. 2000.
- [5] Sierra E.G, G. A. Ramirez Arroyave, Low Cost SDR Spectrum Analyzer and Analog Radio Receiver Using GNU Radio, Raspberry Pi2 and SDR-RTL Dongle, 7th IEEE Latin-American Conference on Communications (LATINCOM), 4-6 Nov. 2015, Arequipa, Peru, DOI: 10.1109/LATINCOM.2015.7430125.
- [6] <https://www.mathworks.com/>