

## ТЕСНОЛЕНТОВ АНАЛИЗ НА НИВОТО НА РАДИОЧЕСТОТНИЯ ШУМ В СЛУЧАЙ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКА ДЪГА

Климент Ангелов<sup>1</sup>, Петър Матов<sup>2</sup>, София Ангелова<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup>Технически Университет - София

### A NARROWBAND RF NOISE FLOOR LEVEL ANALYSIS IN CASE OF ELECTRIC ARC

Kliment Angelov<sup>1</sup>, Peter Matov<sup>2</sup>, Sofia Angelova<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup> Technical University of Sofia

#### Abstract

*In this study an observation of radiofrequency noise floor level in case of electric arc has been made. The measurements has been made in narrow band in order to determine the influence of continuous electric arc with different support current. From the obtained results at different distances from the arc an estimation of the noise figure and the changing of noise temperature can be made. These parameters can be useful by sensitive electronic devices design that are required to work in environment with potential strong electric arc sources.*

**Keywords:** Electromagnetic Noise; Electric Arc, Electromagnetic Compatibility.

#### ВЪВЕДЕНИЕ

В заобикалящата ни среда постоянно е налично едно ниво на излъчвано в целия честотен спектър електромагнитно поле (ЕМП). Когато се разглежда тази му част, попадаща в честотния обхват на радиовълните, в инженерната терминология се използва понятието радиочестотен шум [1]. Общото ниво на този шум се получава чрез натрупване на компоненти от различни източници. Една част от тях са с естествен произход, а друга са свързани с човешката дейност [2]. В общи линии общото покачване на шумовото ниво поставя редица затруднения в работата на множество комуникационни системи, а също така влиянието на подобни фонове излъчвания е редно да се разглежда и от екологичната и здравна гледна точка върху качеството на живот на човека. Именно това налага задълбоченото изследване на различните източници на радиочестотен шум както и характеристиките на създаваните от тях емисии.

Един от най-мощните изкуствени източ-

ници на ЕМП, при това с изключително широколентов характер, се явява електро-дъговия разряд. Създаваната при него волтова дъга излъчва мощни емисии както в диапазона на радиочестотите, така и в обхватите на инфрачервения, видимия и ултравиолетовия обхват. Може би най-мощните представители на това явление на земята, мълниите, са един от малкото източници в природата, освен естествената радиоактивност, на радиация с гама лъчи [3]. Фактът, че волтовата дъга е в състояние да създава емисии във всички честотни обхвати, и то със значителна интензивност, я прави потенциално опасна за някои отговорни комуникационни системи. Една такава е съвременната в железопътния транспорт EuroBalise [4], която отчитайки необходимата ѝ голяма надеждност на работа изискват проверка за работоспособност в случай на различен вид смущения [5].

В настоящата статия е направено изследване на емисиите от волтова дъга в теснолентов обхват около 27 MHz, като са опре-

делени промяната на шумовата обстановка в близост до нея.

## ИЗЛОЖЕНИЕ

Основното ниво на радиочестотни излъчвания във вид на радиочестотен шум могат да се получи от няколко основни компонента, базовият от които е т.нар. термален шум. Той е известен също така и като шум на Джонсън–Найкуист и неговата мощност в рамките на честотна лента  $\Delta f$  при абсолютна температура  $T$  може да се намери съгласно зависимостта:

$$= k \cdot T \cdot \Delta f, \quad (1)$$

където  $k = 1.380649 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$  е константата на Болцман. Според така дефинираната зависимост мощността за единица честотна лента (т.е.  $\Delta f = 1 \text{ Hz}$ ) при стайна температура  $T = 293,15 \text{ °K}$  е  $P = 4.10^{-21} \text{ W/Hz}$ , което представено в децибели спрямо  $1 \text{ mW}$  мощност се равнява на ниво  $-174 \text{ dBm}$ . Така определеният термален шум е с равномерно честотно разпределение и към него се добавят шумовете с различен характер, като космическия шум, атмосферен шум и др. При реални измервания към наблюдаваната картина ще се добавят и шумовете от конкретната измервателна апаратура, която дори и с най-прецизни параметри представлява по същество електронно устройство, което не е лишено от статичен (дробов) шум, трептящ (розов) шум, шум на Браун и др. При измерванията, резултати от които са представени в настоящата статия, е използван спектрален анализатор GSP-830, който според спецификацията му има минимално ниво  $-117 \text{ dBm}$  за честотна лента от  $3 \text{ kHz}$  при централна честота  $1 \text{ GHz}$ . Използвайки зависимостта, отразяваща (1) в децибели:

$$[\text{dBm}] = NF + 10 \cdot \log \Delta f, \quad (2)$$

може да се изрази достиганата спектрална плътност на мощност (Noise Floor –  $NF$ ). В конкретния случа се получава спектрална плътност на шумовата мощност  $-152 \text{ dBm/Hz}$ . Разликата между това ниво и това при отчитане само на термалния шум е  $22 \text{ dB}$  и то се явява от натрупването на всички останали видове шумове.

Реално разглежданата честотна лента в настоящото изследване е  $2,44 \text{ MHz}$  при централна честота  $27,095 \text{ MHz}$ . За определяне на шумовото ниво в този случай е направено измерване на минималното и максималното ниво, което отчита спектралния анализатор за всичките  $N$  честотни точки на измерване при различни резолюция на честота (Resolution Band Width –  $RBW$ ). Началните настройки на измерването са поместени в табл. №1, а в табл. №2 са поместени отчетените резултати.

Таблица №1 Начални настройки

$f_{center}$	27,095	MHz
$f_{span}$	2,44	MHz
$N$	500	-
$f_{min} = f_{center} - f_{span} / 2$	25,875	MHz
$f_{max} = f_{center} + f_{span} / 2$	28,315	MHz
$f_{step} = f_{span} / N$	4,88	kHz

След привеждане на усреднените мощности при различни стойности на  $RBW$  към еднаква база с помощта на отношението  $RBW/f_{step}$ , получените стойности за нивото на шумовата мощност могат също да се усреднят, като така се получава реалното ниво шумова мощност, което може да се отчете с посочения измервателен уред при зададените начални условия.

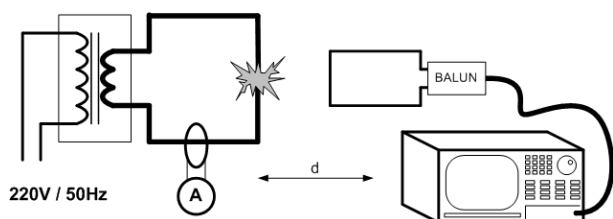
Таблица №2 Фонов шум

RBW, kHz	$P_{min}$	$P_{max}$	$P_{av}$		$RBW/f_{step}$	$P @ f_{step}$
	dBm	dBm	dBm	W		W
3	-127,7	-114,1	-120,9	$8,13 \cdot 10^{-13}$	0,615	$1,32 \cdot 10^{-12}$
30	-111,9	-110,6	-111,3	$7,50 \cdot 10^{-12}$	6,146	$1,21 \cdot 10^{-12}$
300	-103,1	-101,5	-102,3	$5,89 \cdot 10^{-11}$	61,475	$9,57 \cdot 10^{-13}$
4000	-90,1	-89,3	-89,7	$1,07 \cdot 10^{-09}$	819,672	$1,31 \cdot 10^{-12}$

$$-119,2 \text{ dBm} = 1,20 \cdot 10^{-12}$$

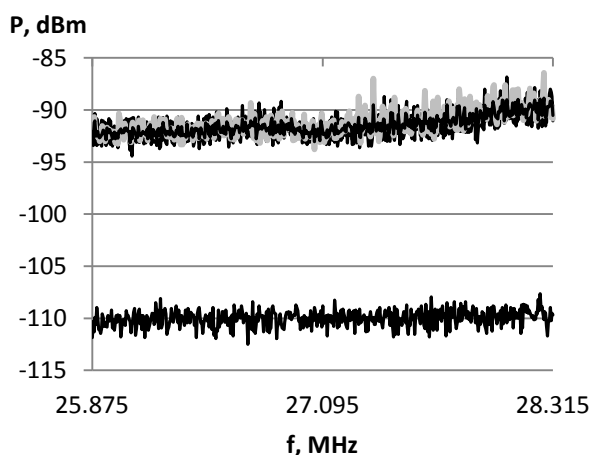
Съгласно (2) спектралната плътност на шумовата мощност при ниво  $-119,2 \text{ dBm}$  за честотна лента  $4,88 \text{ kHz}$  е  $NF = 156 \text{ dBm/Hz}$ , като тя отразява състоянието на използваната измервателна апаратура при стайна температура без отчитане на влиянието на антенната система, с която ще се извършва измерването.

Опитната постановка, с която се прави измерването на емисиите от волтова дъга в честотната област  $27,095 \pm 1,22 \text{ MHz}$  е показана на фиг. 1.



Фиг. 1. Опитна постановка

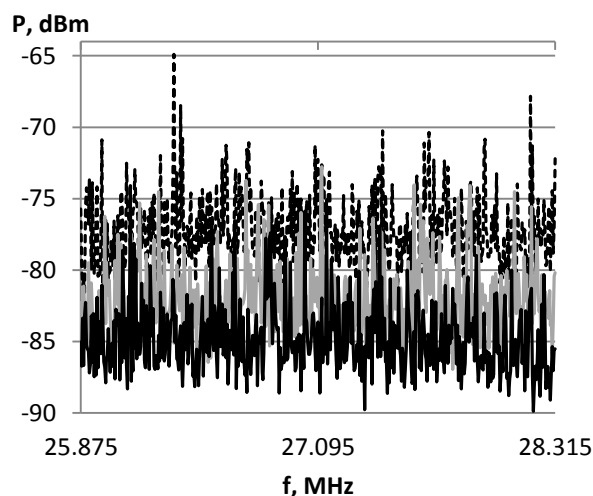
Приемната антенна система представлява правоъгълен контур с размери на страните  $200 \times 390 \text{ mm}$ , като изпълнението до максимална степен е съобразно с [7]. Той е настроен с помощта на дискретни реактивни компоненти на резонансна честота  $27,095 \text{ MHz}$  и с чрез симетриращ балун е свързан към спектралния анализатор. Рамковата приемна антена се поставя на разстояние  $d$  от генерирана с помощта на мощен източник на променлив ток с промишлена честота волтова дъга. С помощта на токов трансформатор се контролира тока, поддържащ електродъговия разряд.



Фиг. 2. Шумови нива без генерирана волтова дъга

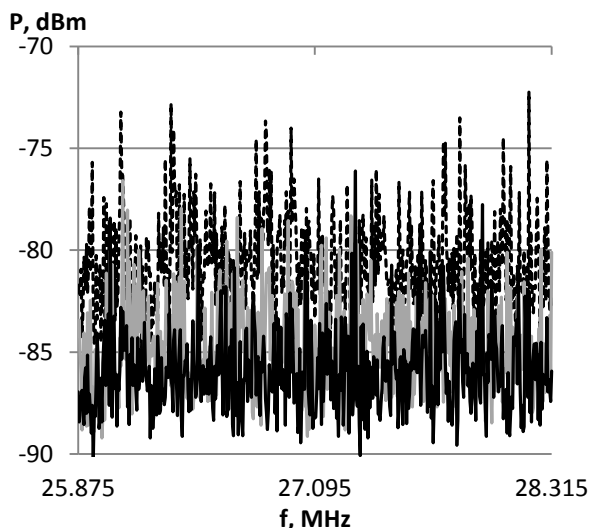
На фиг. 2 е показана изображение на спектралното състояние в изследвания честотен област без да се генерира волтова дъга. Долната графиката с средно ниво  $-110 \text{ dBm}$  отразява състоянието при присъединен само коаксиален кабел за връзка на рамковата антена. Във случай на окомплектоване на целия стенд (т.е. със свързана антена) шумовата картина се премества към по-високи нива, като за получаване на точен резултат чрез усредняване са направени три отделни измервания. Този случай отговаря на горните три графики от изображението на фиг. 2, които почти напълно се припокриват. Измереното средно ниво в този случай е  $-91,5 \text{ dBm}$ , което съгласно (2) отговаря на спектрална плътност на шумовата мощност  $-128,4 \text{ dBm/Hz}$ . Това ниво се използва като базово за сравнителното изследване на емисиите от волтова дъга.

На фиг. 3 е показано изображение на спектралното състояние при генерирана волтова дъга с поддържащ ток  $75 \text{ A}$ , като са отразени три графики за три различни разстояния  $d - 1 \text{ m}, 1,5 \text{ m}$  и  $2 \text{ m}$ .



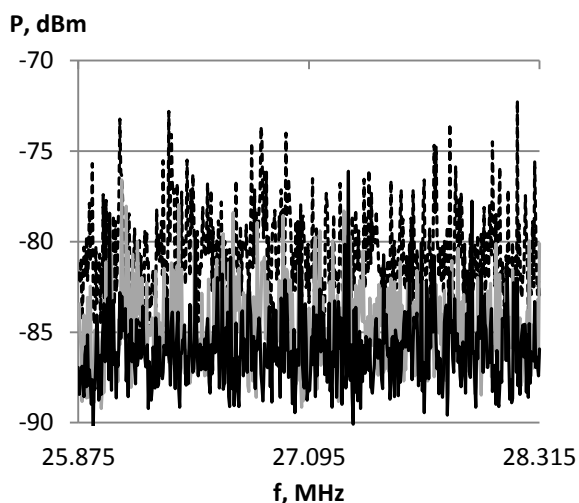
Фиг. 3. Шумови нива при волтова дъга (поддържащ ток  $75 \text{ A}$ )

На фиг. 4 и фиг. 5 са отразени аналогични изображения на спектралното състояние за същите разстояния  $d$  при токове съответно  $100 \text{ A}$  и  $125 \text{ A}$ . Във всичките случаи графиките с най-високи нива отговарят на най-малкото разстояние  $d = 1 \text{ m}$ , а тези с най-ниски на най-далечното разстояние  $d = 2 \text{ m}$ .



Фиг. 4. Шумови нива при волтова дъга (поддържащ ток 100А)

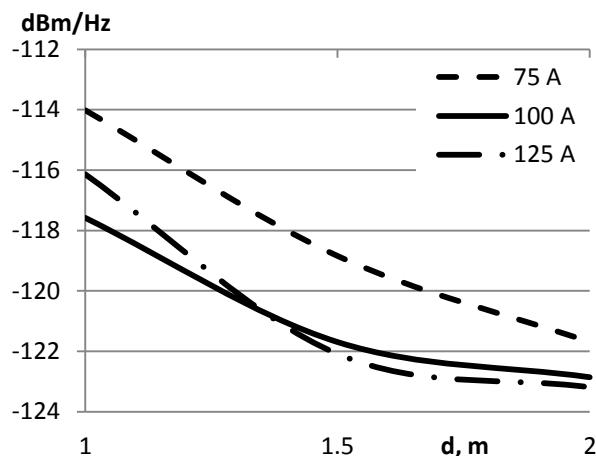
В табл. №3 са обобщени усреднените стойности за нивото на шумовата мощност и за спектралната плътност на мощността на шума за разглежданите комбинации от случаи. На фиг. 6 и фиг. 7 са графично представени зависимостите на спектралната плътност на шумовата мощност съответно в зависимост от поддържащия ток и от разстоянието.



Фиг. 5. Шумови нива при волтова дъга (поддържащ ток 125А)

Таблица №3 Фонов шум при волтова дъга

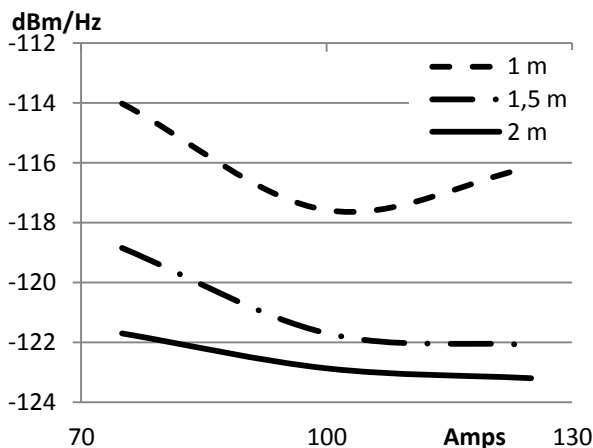
$d, m$	75 A	100 A	125 A
1	-77,1dBm -114dBm/Hz	-80,7dBm -118dBm/Hz	-79,3dBm -116dBm/Hz
1.5	-82,0dBm -119dBm/Hz	-84,8dBm -122dBm/Hz	-85,2dBm -112dBm/Hz
2	-84,8dBm -122dBm/Hz	-86,0dBm -123dBm/Hz	-86,3dBm -113dBm/Hz



Фиг. 6. Спектрална плътност на шумовата мощност в зависимост от дистанцията до волтовата дъга

От така получените стойности за спектралната плътност на мощността на шума, които можем да означим с  $NF_{Arc}$ , и предварително полученото базово ниво  $NF = -128,4 \text{ dBm/Hz}$  в случай на липса на волтова дъга може да се изрази шумовият фактор  $F$  използвайки зависимостта:

$$F_{[dB]} = NF_{Arc} - NF. \quad (3)$$



Фиг. 7. Спектрална плътност на шумовата мощност в зависимост от поддържащия ток на волтовата дъга

Въз основа на получения шумов фактор може да се определи еквивалентната шумова температура в конкретните случаи на измерванията като се използва зависимостта [1]:

$$F = 1 + \frac{T_e}{T}, \quad (4)$$

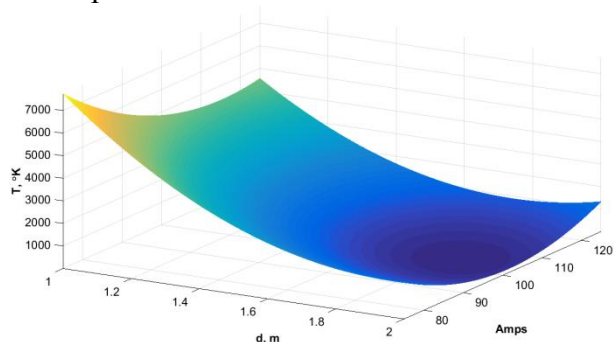
където  $F$  е шумовият фактор представен в линейни мерни единици, а  $T_e$  е еквивалент-

ната шумова температура. В табл. №4 са поместени стойностите на шумовия фактор в децибели и еквивалентната шумова температура за разглежданите случаи.

Таблица №4 Шумов фактор и еквивалентна шумова температура при волтова дъга

d, m	75 A	100 A	125 A
1	14 dB 7745 °K	11 dB 3249°K	12 dB 4642°K
1.5	10 dB 2354°K	7 dB 1080°K	6 dB 961°K
2	7 dB 1079°K	6 dB 756°K	5 dB 679°K

На фиг. 8 е представена комплексната зависимост на еквивалентната шумова температура от разстоянието и големината на поддържащия ток на волтовата дъга.



Фиг.8. Еквивалентна шумова температура в зависимост от разстоянието и поддържащия ток на волтовата дъга

От постигнатите резултати прави впечатление, че получените стойности се доближават до реалните температури в плазмените канали, описани в други видове научни разработки като [8].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От резултатите, получени в настоящото изследване на емисиите от волтова дъга могат да се направят следните изводи:

- Експериментално определените стойности за еквивалентната шумова температура са от близък порядък до реалните температури в плазмените канали при волтова дъга, което може да послужи като доказателство за коректно извършените изследвания;
- Спектралната плътност на шумовата мощност се променя в рамките на 5 ÷ 14 dB спрямо нивата при липса на волтова дъга, което кореспондира с резултатите от други изследвания [9] в об-

ластта, извършени от членове на настоящия авторски колектив;

- Целесъобразно е да се продължат изследванията на емисиите от волтова дъга с цел да се разработват методи за анализ и отразяването им при реалното имплементиране и експлоатация на комуникационни системи.

## ПРИЗНАТЕЛНОСТ

Работата, описана в настоящата статия, е финансирана и извършена по договор № 201ПР0019-07 / 2020 г. към научен проект „Анализ на електромагнитните излъчвания от волтова дъга,, реализиращ се по инициативата Перспективни ръководители на Научно-Изследователския Сектор към Технически университет – София.

## REFERENCE

- [1] ITU-R Recommendation P.372, International Telecommunication Union, Geneva;
- [2] Dalke R., R. Achatz, Y. Lo, P. Papazian, G. Hufford, Measurement and analysis of man-made noise in VHF and UHF bands, Wireless Communications Conference, 11-13 Aug. 1997, Boulder, CO, USA;
- [3] Базелян Е.М., Ю.П Райзер, Физика молнии и молниезащита, Физматлит, Москва, 2001;
- [4] <https://en.wikipedia.org/wiki/Eurobalise>;
- [5] Hatsukade S., A. Yamanaka, Calculation of Interference between Railway Traction Inverters and Balises, EMC'14, Tokyo, 2014;
- [6] <https://www.gwinstek.com/en-GB/products/detail/GSP-830>;
- [7] UNISIG SUBSET-085 - Test Specification for Eurobalise FFFIS, Issue 3.0.0, Feb 24, 2012;
- [8] Wang X., J. Huang, Y. Huang, D. Fan, Y. Guo, Investigation of heat transfer and fluid flow in activating TIG welding by numerical modeling, Applied Thermal Engineering Vol 113, pp 27-35, 25 Feb 2017, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.11.008>;
- [9] Angelov K., S. Kremenski, Observation of Electric Arc RF-Emissions with Radial H-Field Probe, International Scientific Conference UNITECH 2015, Proceedings vol. 2 ISSN: 1313-230X (pp 92-97), 20-21 November 2015, Technical University Of Gabrovo.

<sup>1</sup> Климент Н. Ангелов, д-р инж., гл. ас., катедра РКВ, при ФТК, ТУ-София, [kna@tu-sofia.bg](mailto:kna@tu-sofia.bg).

<sup>2</sup> Петър Яворов Матов, студент, спец. Телекомуникации, ТУ-София, [pmatov@tu-sofia.bg](mailto:pmatov@tu-sofia.bg).

<sup>3</sup> София Н. Ангелова, д-р инж., гл. ас., катедра ИД, при МФ, ТУ-София, [sna@tu-sofia.bg](mailto:sna@tu-sofia.bg).