

## ДИСТАНЦИОННО ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ЕНЕРГИЯТА НА ЕЛЕКТРОСТАТИЧНИТЕ ЗАРЯДИ

Андрей Козаров<sup>1</sup>, Юлиан Заимов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, София 1700, България

<sup>2</sup> Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, Лаборатория „Екстехника“, София 1700, България

**РЕЗЮМЕ.** В работата се изследват някои параметри на електромагнитното излъчване, породено от електрически разряди по повърхността на наелектризираните диелектрици. Предложена е схема за експериментално изследване и са дадени предварителни опитни резултати, които показват, че опасността от възпламеняване на потенциално експлозивна атмосфера може да се прецени достатъчно точно чрез анализ на електромагнитното излъчване.

### REMOTE CONTROL OF THE ENERGY OF ELECTROSTATIC CHARGES

Andrey Kozarev<sup>1</sup>, Julian Zaimov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Sofia 1700, Bulgaria

<sup>2</sup> University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Explosionproof Laboratory", Sofia 1700, Bulgaria

**ABSTRACT.** The paper discusses some of the parameters of the electromagnetic radiation, caused by the electrical charges on the surface of statically electrified dielectrics. A scheme has been proposed and preliminary trial results have been presented in order to reveal that the hazard of ignition of the potentially explosive atmosphere may be assessed precisely enough by analysis of the electromagnetic radiation.

Технологичните процеси в съвременните производства често са свързани с наличието на емисии от горими газове, пари, прахове и облаци, които с въздуха могат да образуват потенциално експлозивна атмосфера. В такива случаи, още при проектирането трябва да се прилагат необходимите мерки за недопускане или свеждане до минимум на възможните емисии, както в нормален, така и в аварийен режим на работа.

Това обаче не винаги е възможно. Често при различни дейности, като транспортиране, преливане, преработване, разбъркване, пълнене на резервоари и др. Се използват вещества и материали, които в смес с въздуха горят и се взривяват.

С оглед недопускането на пожари и експлозии, у нас се прилагат изискванията на хармонизираните европейски директиви за безопасна експлоатация на съоръженията и запазване живота на хората и животните.

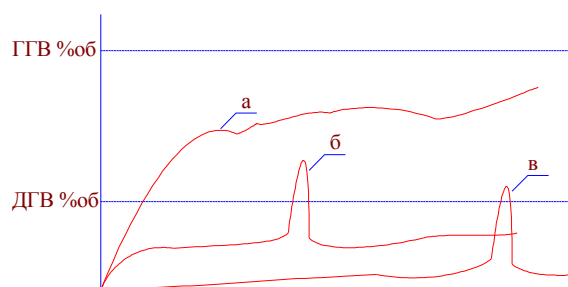
Тези изисквания се свеждат основно до:

1. Анализ на околната атмосфера по отношение на концентрацията и продължителността на съществуване на горимите газове, пари, прахове и облаци в смес с въздуха.
2. Наличие или възможна поява на източници за възпламеняване на горимите смеси.

3. Избор на подходящи съоръжения, блокировки, наблюдения и контрол за предотвратяване на аварии.

При анализа на околната атмосфера се има предвид, че всички горими газове, пари на горими течности и прахове в смес с въздуха, при концентрация между долната (ДГВ) и горна (ГГВ) граници на взривяемост, образуват потенциално експлозивна атмосфера. Обемът, в който съществуват, се нарича взривоопасна зона.

В зависимост от продължителността на съществуване на потенциално експлозивната атмосфера, взривоопасните зони в закрити помещения или на открито, по отношение на горимите газове, пари и облаци, са класифицирани както следва:



Фиг. 1. Класификация на зоните

Зона 0 - потенциално експлозивната атмосфера съществува продължително време (фиг. 1-а);

Зона 1 - потенциално експлозивна атмосфера може да има много рядко и за кратко време (фиг. 1-б);

Зона 2 - потенциално експлозивна атмосфера може да се създаде извънредно рядко за кратко време (фиг. 1-в).

Тази класификация е направена за стойности на ДГВ и ГГВ, определени при нормални атмосферни условия. Реално стойностите за ДГВ и ГГВ могат да бъдат различни за всеки конкретен случай и те се лимитират основно от:

- концентрацията на кислород;
- наличие на други окислителни;
- наличие на инертни вещества;
- налягане;
- температура;
- движение на сместа;
- директно разпространение на пламък.

При класификация на зоните, описаните параметри трябва да се вземат под внимание.

Източниците за възпламеняване на потенциално експлозивни смеси в различните зони имат вероятностен характер, тъй като те могат да се появят както при нормална работа на съоръженията, така и при повреда и най-общо могат да бъдат сведени до следните:

- открит пламък;
- електрически разряди;
- искри от удар, триене (фрикционни искри);
- нагрети повърхности;
- разряди от статично електричество.

Описаните по-горе възможни източници на възпламеняване, могат да се разсеят в потенциално експлозивната атмосфера енергии, многократно по-големи от необходимите за възпламеняване.

В зависимост от енергията на възпламеняване, взривоопасните смеси от газове и пари са разпределени в групи на взриваемост. На базата на съществуващата корелация между максималната безопасна експериментална хлабина (МБЕХ) и минималния възпламеняващ ток (МВТ), минималната енергия на възпламеняване е определена както следва:

Група на взриваемост	Минимална енергия на възпламеняване - $\mu\text{J}$	
I	300	
II	II A	200
	II B	100
	II C	20

Праховъздушните смеси като правило изискват високи енергии на възпламеняване и основно зависят от гранулометричния състав и температурата.

Стойностите на тези енергии в зависимост от гранулометричния състав, съответно са:

Гранулометричен състав - $\mu\text{s}$	Минимална енергия на взриваемост - $\mu\text{s}$
--	--

до 200	10
200 – 350	250
350 – 700	500
700 - 1600	5000

На основата на описаните свойства на потенциално експлозивната атмосфера от газове, пари и прахове, може да бъде направен подходящ избор на начините, съоръженията и контрола за предотвратяване на аварии. Най-често това се постига чрез отделяне на съоръженията от потенциално експлозивната атмосфера с взриво-непроницаеми обвивки, които не допускат наличието на взривоопасна смес в тях. Използват се и методи за ограничаване на температурата на съоръженията, както и ограничаване на енергията на възможните електрически разряди, чрез прилагане на собствена защита.

Феноменът статично електричество, известен от древни времена, не се поддава на този вид взривоопасна защита и в редица технологични процеси, съоръжения, обработвани материали и др., може да се натрупват потенциали, които при разряд възпламеняват взривоопасните смеси. Разряди от статично електричество са предизвиквали у нас експлозии с материални щети и човешки жертви, като например в мебелната промишленост при нанасяне на бои и лакове и др. Установено е, че те са причина и за експлозии в резервоари за течни горива, както и за някои катастрофи на танкери.

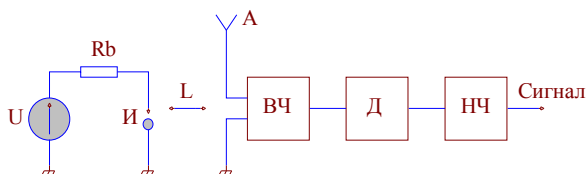
Най-често електростатичните заряди се натрупват върху диелектрици, вследствие на триене, индукция или утечки. В условията на потенциално експлозивна атмосфера основните защитни мероприятия се свеждат до заземяване на машините и съоръженията, намаляване времето на релаксация на потенциалите, ограничаване на възможните контакти между диелектрични повърхности и други материали, с цел намаляване степента на електризация. Прилагат се и други методи с цел увеличаване енергията на възпламеняване на потенциално експлозивната атмосфера чрез въвеждане на инертни вещества. Ефективността на всички тези защитни мероприятия може съществено да се загуби при малки промени на конкретните условия, като се има предвид, че възпламеняването е вероятностен процес.

Безопасността на работа при описаните по-горе условия, може да се подобри, ако се осъществи непрекъснат контрол на степента на електризация на всички места във зоната на потенциално експлозивната атмосфера. Известни са методи, които по принцип позволяват да се определи големината на енергията при електростатичен разряд. Недостатък в условията на експлоатация е това, че не може да се прогнозира опасната област в работното пространство и да се контролира непрекъснато.

В настоящата статия се предлага начин за определяне на вероятността от възникване на електростатичен разряд с опасна енергия, в цялата защитавана зона, независимо от настъпилите евентуални промени. Тази възможност се основава на факта, че в реални условия всеки повърхностен заряд, възникнал върху диелектрик, представлява източник на електромагнитно излъчване.

Това се дължи на обстоятелството, че повърхностния заряд не остава неподвижен, а се разпространява по повърхността от зони с по-висок потенциал към тези с по-нисък потенциал. Тъй като повърхността на реалния диелектрик не е еднородна (граповости, замърсявания и др.), разпространяването на заряда става скокообразно, т.е. непрекъснато се осъществяват последователни микропробиви. Така възникват ускорения при движението на заряда, което поражда електромагнитно излъчване.

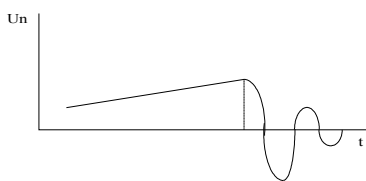
За проверка на тази идея са направени експерименти с опитната постановка, показана на фиг. 2.



Фиг. 2. Схема за изследване на разряди, генерирани от искрище

В нея е използвано искрище (И), съставено от два електрода с различна форма (острие – острие, сфера – сфера, острие- сфера). То се захранва от източник за високо напрежение (U) чрез високоомен резистор ( $R_b$ ). На разстояние L от искрището, определено от защитаваната зона е разположена антена. Приетият от нея сигнал се усилва във високочестотния (ВЧ), който след дедекция се усилва от нискочестотен усилвател (НЧ).

Ако се пренебрегнат вероятностните процеси и искрището действа като идеален ключ, който се затваря при достигане на едно и също пробивно напрежение ( $U_{np}$ ), аналитичното изследване е елементарно. Изменението на сигнала е периодично и графиката за един период е показана на фиг.3.



Фиг. 3. Характеристика на сигнала

Напрежението  $U_{n1}(t)$  нараства по закона

$$U_{n1}(t) = U \left( 1 - e^{-\frac{t}{R_b \cdot C_n}} \right),$$

а периодът по

$$T = - R_b \cdot C_n \ln \left( 1 - \frac{U_{np}}{U} \right)$$

където:

$U_{n1}$  е напрежение на искрището в процеса на нарастване, през интервал от време, когато няма пробив;

$C_n$  - капацитет на искрището, измерен между електродите

След настъпване на пробив между електродите на искрището, напрежението  $U_{n2}(t)$  се изменя по псевдопериодичен закон

$$U_{n2}(t) = U_{np} \cdot e^{-\frac{t}{T_{np}}} \cdot \cos \Omega t$$

където:

$T_{np}$  е времеконстанта, обусловена от еквивалентата индуктивност  $L_e$  на контура, затворен през дъгата и от загубите

$\Omega$  – определя се от  $L_e$  и  $C_n$  чрез релацията:

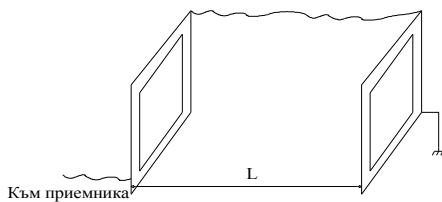
$$\Omega = \frac{1}{\sqrt{L_e \cdot C_n}}$$

Ако процесът се развива по описания идеализиран начин, спектърът на сигнала, получен на изхода на ВЧ, трябва да съдържа силно изразена съставка с честота  $\Omega$ , а спектърът на сигнала на изхода на НЧ трябва да съдържа силно изразена съставка с период T.

В действителност проведените предварителни изследвания показват, че амплитудно честотната характеристика на сигнала на изхода на ВЧ остава почти постоянна в честотния диапазон от 500 nHz до 10 mHz. На изхода на НЧ се получава сигнал с характеристики, близки до очакваните в идеализирания случай.

Обяснението е, че основната част от електромагнитното излъчване се осъществява по време на развитието на всеки пробив. Известно е, че този процес има вероятностен характер и се характеризира с електромагнитно излъчване в широк честотен диапазон.

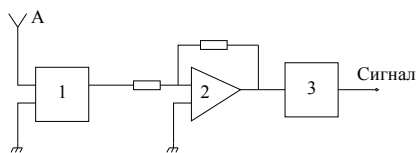
Поради горните причини, търсенето на сигурна връзка между честотите на излъчвания сигнал и енергията на разрядите, изисква сложна измервателна апаратура и прилагането на многофакторен математически анализ. От друга страна, връзката между амплитудата на електромагнитния сигнал на изходите на ВЧ и НЧ и енергията на възникващите разряди е добре изразена, макар и да липсва права пропорционалност. Тук основна причина за възникване на евентуални грешки е наличието на външни смущения, т.е. сигнали, които достигат до приемната антена извън защитаваната зона. Една възможност за значително намаляване на тяхното влияние и поява на възможни грешки е използването на две рамкови антени, свързани диференциално, съгласно фиг. 4.



Фиг. 4. Рамкови антени за затихване на външни сигнали

Посоката на навивките на двете еднакви рамки е такава, че сигналът, получен от източника между тях да се сумира, а сигналите от външните източници се изваждат и затихват съществено. Този резултат е ефективен когато  $\lambda \gg L$ , където  $\lambda$  е дължината на вълната на приемания сигнал. За установените честоти на  $\lambda$ ,  $L$  е по-голяма от 30 м, което показва, че предлаганата схема е приложима за защита на сравнително големи пространства.

На фиг.5 е показана принципна схема на автоматично защитно устройство (АЗУ).



Фиг. 5. Автоматично защитно устройство (АЗУ)

Блок 1 представлява съгласуващ четириполусник, блок 2 е операционен усилвател с висока горна граница на честотата (например 100 MHz) и блок 3 е върхов детектор.

Показаното АЗУ работи на базата на приетия сигнал и прагът на сигнала за сработване се определя експериментално за всеки конкретен случай. Изходите на устройството могат да задействат сигнални устройства, блокировки и технологични съоръжения.

Препоръчана за публикуване от  
Катедра "Електротехника", МЕМФ

## Заклучение

От описаното по-горе става ясно, че прагът на сработване на АЗУ и подаване на изходни сигнали зависи от енергията на електростатичните разряди. За всеки конкретен технологичен процес АЗУ трябва да се калибрира, като се приемат електромагнитни излъчвания от разряди с предварително измерена енергия. Те се сравняват с енергиите на възпламеняване за съответните групи на взриваемост, към които се отнасят горимите вещества.

## Литература

- Георгиев Б., и др., 1986. Техника на високите напрежения – София, Техника.
- Кравченко В., и др., 1976. Взривобезопасность электрических разрядов и фрикционных искр – Москва, Недра.
- Ландау Д., Лифшиц Е., 1969. Краткий курс теоретической физики – Москва, Наука.
- Наредба за съществените изисквания и оценяване съответствието на съоръженията и системите за защита, предназначени за експлоатация в потенциално експлозивна атмосфера – ПМС № 205 от 12.09.2001 г.
- EN БДС 60079-10 Класификация на взривоопасните зони Bond J., 1991. Sources of ignition – Butter Wortd - Heinemann