

Компютърна измервателна система за изследване на динамични характеристики на електрическа дъга

Валентин Матеев, Росен Танев и Илиана Маринова

Технически университет - София, катедра "Електрически апарати",
email: vmateev@tu-sofia.bg, rtanev@tu-sofia.bg, iliana@tu-sofia.bg

Резюме: За изследване на разрядни процеси в електрическите апарати е изградена компютърна измервателна система. Основните елементи на тази система са опитна постановка, DAQ (Data Acquisition) устройство и персонален компютър. Измервателната система се използва за определяне на статичните и динамичните характеристики на електрическа дъга при захранване с ниско напрежение. За софтуерна част е използван програмен пакет LabVIEW с драйверите за връзка. Измерените параметри на разрядния процес се обработват със създадения виртуален инструмент, чрез който се построяват динамичните и статични характеристики.

Ключови думи: - разрядни процеси, статични и динамични характеристики на електрическа дъга, компютърно моделиране, комутационни електрически апарати

1. Въведение

Електрическата дъга намира широко приложение при редица производствени процеси като заваряване, плазмено рязане, електроискрова механична обработка, дъгови разрядни лампи, производство на графен, електросъпротивителни пещи, използвани за производство на стомана, флуоресцентни тръби, живачни и натриеви улични лампи и др.

Електрическата дъга е електрически разряд в газова среда. Тя се появява при изключване на електрическите вериги, ако токът и напрежението са по-големи от определени стойности (зависещи от използвания материал на контактните тела Табл.1).

Таблица 1 Минимален ток и напрежение на дъгообразуване

Материал	Pt	Au	Ag	Cu	C
U_0 [V]	17	15	12	13	~20
I_0 [A]	0,9	0,38	0,4	0,43	0,03

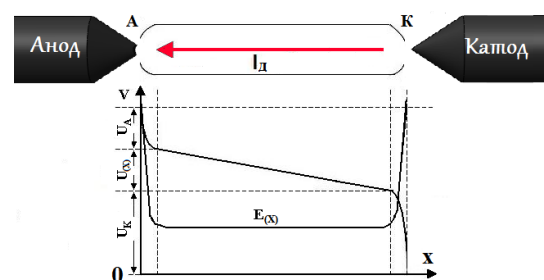
Възникването на електрическа дъга в някои електрически апарати е нежелан процес, например при комутационните системи на релета, предпазители, прекъсвачи и др. Електрическата дъга може да повреди оборудване, като предизвика заваряване,

разтопяване на проводници, унищожаване на изолацията и др. [1-2]

За изследването на различни разрядни процеси, протичащи в електрическите апарати, е изградена компютърна измервателна система (КИС). Основните елементи на тази система са опитна постановка, DAQ (Data Acquisition) устройство и персонален компютър. Измервателната система се използва за определяне на статичните и динамичните характеристики на електрическа дъга при захранване с ниско напрежение. .

2. Електрическа дъга

Електрическата дъга се характеризира със специфично неравномерно разпределение на пада на напрежение и интензитета на полето по дължината на дъгата, показано на Фиг.1 [1]. По дължината на дъгата по оста x се различават три области: катодна, анодна и област на дъговия стълб.



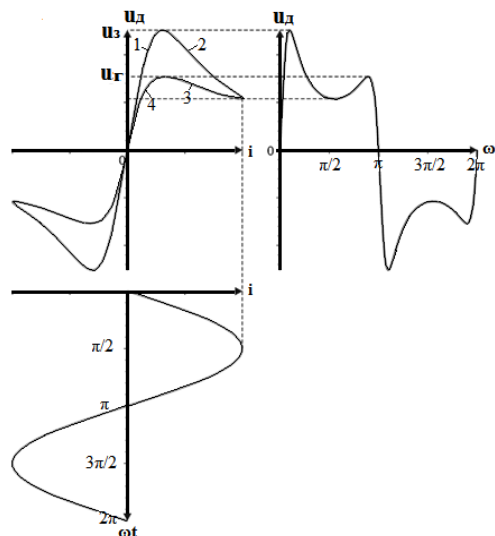
Фиг.1 Изменение на напрежението и интензитета на полето.

Катодната област се характеризира с катоден пад на напрежение, който практически не зависи от стойността на тока и е с големина $10 \div 20 \text{ V}$ (в зависимост от материала и температурата на катода, както и от вида на газовата среда). Интензитетът на полето достига до 10^7 V/m , вследствие на което се появява автоелектронна емисия от катода и ударна йонизация в областта, която заедно с термоелектронната емисия (при горещ катод) създават поток от електрони от катода. Около катода се натрупва положителен обемен заряд от йони. Наличието на електрическо поле води до ускоряване на тези йони и те бомбардират катода, като повишават неговата температура.

Анодната област се характеризира с аноден пад на напрежение ($5 \div 10 \text{ V}$ в зависимост от температурата и материала на анода), който намалява с увеличаване на тока и при достатъчно голям ток може да се пренебрегне. Интензитетът на полето в областта е голям и е от порядъка на полето в катодната област. Около анода се натрупва отрицателен обемен заряд. Електроните се ускоряват от електрическото поле, удрят се в анода, отдават енергията си и повишават температурата му, която достига по - висока стойност от тази на катода [2].

Област на дъговия стълб. По дължината на дъгата интензитетът на полето е почти постоянен. Той зависи от много фактори като температура и налягане на газа, скорост на движение на дъгата, начин на охлаждане и др. Плазмата е електрически неутрална (липсва обемен заряд), т.е. в единица обем положителните и отрицателните заряди са равни.

На Фиг.3 са изобразени кривите на тока и напрежението във функция от времето на променливотокова дъга. Тя представлява зависимостта между напрежението и тока на дъгата при бързото им изменение във времето. Участъците 1 и 2 се отнасят за първата половина на полупериода, а 3 и 4 за втората.



Фиг.3 Изменение във времето на тока и напрежението на дъгата.

Първата от дадените характеристики представлява динамичната (V-A) характеристика, която е представлява съвкупност между $I_D = f(t)$ и $U_D = f(t)$. [2]

3. Проектирана компютърна измервателна система.

За изследване на статичните и динамични характеристики на разрядни процеси е изградена компютърна измервателна система. Тази системата се състои от виртуален инструмент, реализиран в LabVIEW, експериментален стенд и устройство за измерване на данни DAQ. Блоквата схема на КИС е показана на фиг.4.



Фиг. 4 Блоквата схема на КИС.

Измервателно устройство NI USB-6008.

NI USB-6008 притежава следните характеристики:

- 8 аналогови входа с максималната скорост за обработка на резултатите 10 kS/s и входното съпротивление $144 \text{ k}\Omega$.

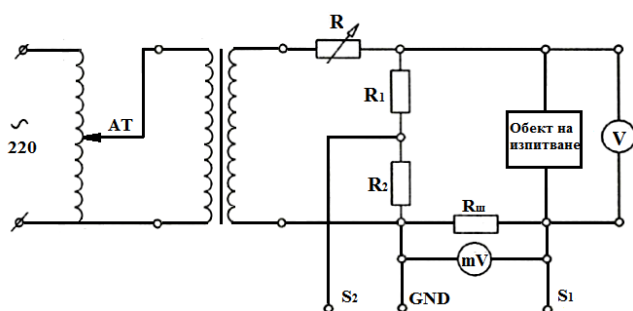
- 2 аналогови изходи, които работят с максимална честота 150 Hz . Обхватът на изходния сигнал е от 0 до 5 V при съпротивление 50Ω за изходите.

- 12 порта, които могат да се използват, като цифрови входове и изходи (за всеки порт поотделно се задава дали да е вход или изход). Максималните нива на напрежение са от -0,5 до +5,8 V при максимална честотата на отчитане 5 MHz. Обхватът на входния сигнал може да е от -12 до +12V.

DAQ устройството служи за преобразуване на получените физически сигнали в цифров вид и се използва за комуникация с компютъра. Обработката на крайните резултати се извършва от софтуера, с помощта на компютър. С едно и също DAQ устройство могат да се извършват множество измервания, при което единствено се налага промяна на програмното осигуряване за обработка на данните [3-4].

4. Експериментален стенд

Принципната електрическа схема, по която се провежда експерименталното изследване, е показана на Фиг.5. Токът във веригата се променя в желани граници с помощта на резистора R, а напрежението - с автотрансформатора АТ.



Фиг.5 Принципна електрическа схема.

Запалването на дъгата се осъществява в блока за изпитване. На мястото на блока за изпитване може да се включват различни комутационни апарати.

За изследване на създадената система на мястото на блок "обект на изпитване" е свързана двуелектродна система с подвижни графитни електроди.

Последните са от електротехнически въглен и са разположени хоризонтално. Подвижният електрод се управлява с помощта на въртяща се ръкохватката.

Електродите са затворени в метална кутия в предната част, на която е предвиден отвор със защитно потъмнено стъкло за наблюдение на дъгата. Напрежението на захранващия източник се измерва с волтметър V с високо вътрешно съпротивление при отворена верига - отворен ключ K и отделени електроди с разстояние между тях $l = 3 \text{ mm}$. Напрежението на дъгата се измерва със същия волтметър. Токът на дъгата се измерва индиректно чрез пада на напрежение върху калибрования шунт $R_{ш}$ и милivolтметър mV с високо вътрешно съпротивление.

Шунтът представлява преобразувател на тока на веригата в напрежителен пад и се използва за разширяване на токовия обхват на измерителния уред. Той представлява четирикълен резистор с токови и потенциални клеми, като по този начин се избягва влиянието на контактните съпротивления.

Падът на напрежение U , който се получава на потенциалните краища на шунта

$$U = IR_{ш} = I \frac{R_v}{R_v + R_{ш}} \rightarrow K_{ш} = \frac{1}{R_{ш}}, \quad (1)$$

където R_v е вътрешното съпротивление на уреда, I - общият ток и $K_{ш}$ е измервателния коефициент на шунта. Шунтовете се изработват от манганин, който има температурен коефициент на съпротивлението (ТКС) $0,0014 \div 0,002\%$ за 1°C , значително специфично съпротивление ($4.10^7 \div 4,8.10^7 \Omega \text{ m}$) и нищожно термо-е.д.н. в двойка с медта ($3.10^{-6} \text{ V}/^\circ\text{C}$).

За наблюдаване на изменението на тока и напрежението и на динамичната V-A характеристика, се използва КИС. За целта се използват падовете на напрежение от шунта $R_{ш}$ и резистора R_2 от делителя на напрежение R_1-R_2 . Коефициентът на преобразуване е

$$K = \frac{U_2}{U_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (2)$$

Измервателната грешка е толкова по-малка, колкото по-силно е изразено неравенството $R_V \gg R_2$.

Виртуален инструмент

Виртуалният инструмент служи за обработка на получените резултати от измервателната част на системата. Блоквата му схема е показана на Фиг.6, на която блоковете са номерирани с номера от „1÷16“.

За намаляване на информацията от измерване и по-бързото визуализиране на характеристиките на дъгата виртуалният инструмент е настроен да измерва и показва резултати на всеки 80 ms (четири пълни периода).

Постъпилите сигнали на тока и напрежението от измервателното устройство постъпват на блок „1“. Получените резултати се обработват в блок „2“ и се разделят на два сигнала - токов и напрежителен. Токовият сигнал се умножава по коефициента на шунта ($K_{sh}=100$) в блок „3“, а напрежителният - по коефициента на делителя ($K=20,5$) в блок „4“.

Всеки от сигналите постъпва във виртуален осцилоскоп за наблюдение, който визуализира сигнал във функция от времето.

от Фиг. 8, $I_D = f(t)$, а блок „6“, $U_D = f(t)$, Фиг.9. За визуализиране на V-A динамична характеристика се използва блок „7“ резултатът, от който е показан на Фиг.10.

За изчисляването на енергията на дъгата за показания отрязък от време, двата сигнала се изчисляват с формулата

$$A_D = \int U_D I_D \cdot dt \quad (3)$$

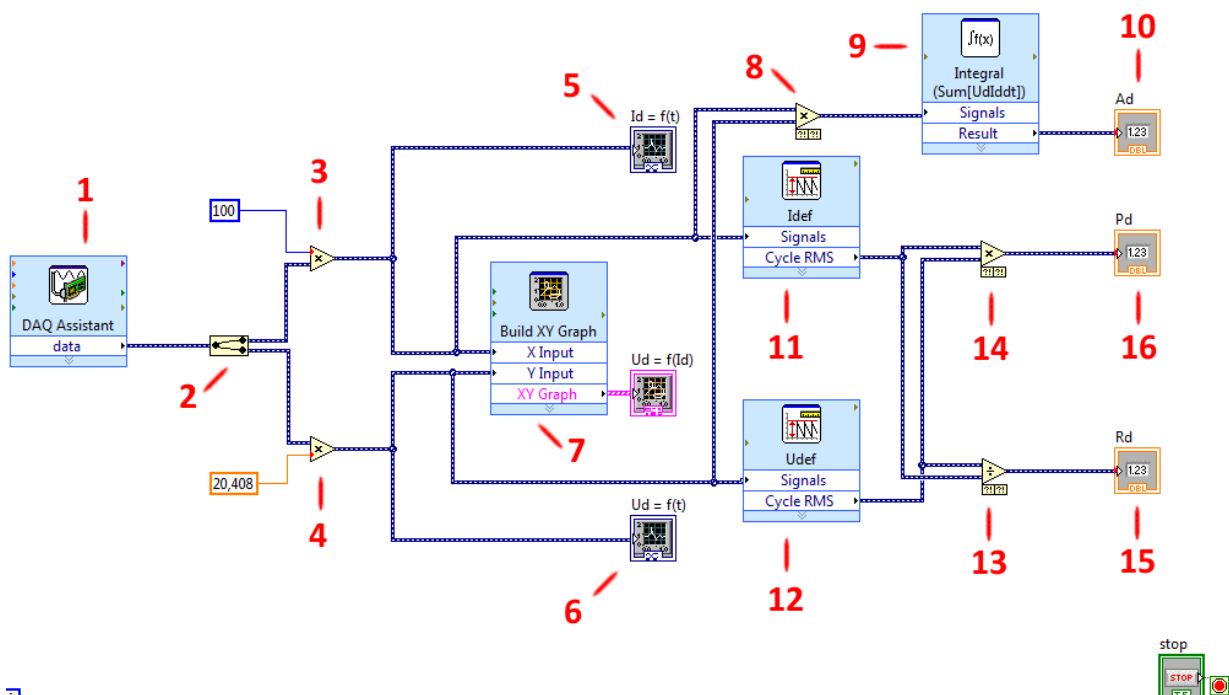
Тя се определя чрез блокове „8“ и „9“, а резултатът се отчита в „10“.

При изчисляването на съпротивлението и мощността на дъгата, двата сигнала се обработват първо в блокове „11“ и „12“, където се изчисляват ефективните им стойности за дадения период от време. Съпротивлението се определя чрез блок „13“ (4), като получените резултати се използват и за определяне на мощността чрез блок „14“ (5).

$$R_D = \frac{U_D}{I_D} \quad (4)$$

$$P_D = U_D I_D \quad (5)$$

Резултатите от тези изчисления се визуализират с блокове „15“ и „16“.



Фиг. 6 Блокова схема на виртуалният инструмент.

Блок „5“ служи за реализиране на графиката

6. Резултати

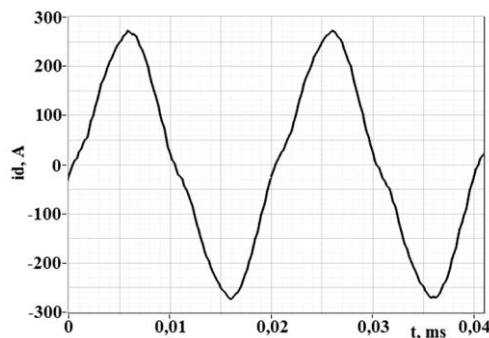
С реализираната компютърна измервателна система е направен експеримент при захранващо напрежение $U_0=180V$, напрежение на дъгата $U_d = 20 V$, ток на дъгата $I_d = 10A$ и дължина на дъгата $l_d = 3mm$. Отчетените напрежения на изходите са $S_1=10mV$ и $S_2=8,82 V$.

По формулите (3), (4) и (5) с виртуалния инструмент са определени съпротивлението, мощността и енергията на дъгата, като получените резултати са дадени в Табл.2.

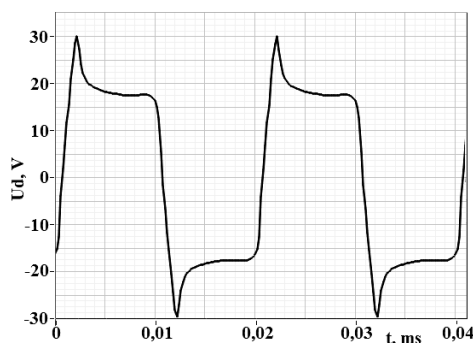
Таблица 2 Резултати

A_d [J]	R_d [Ω]	P_d [W]
33,16	1,58	453,7

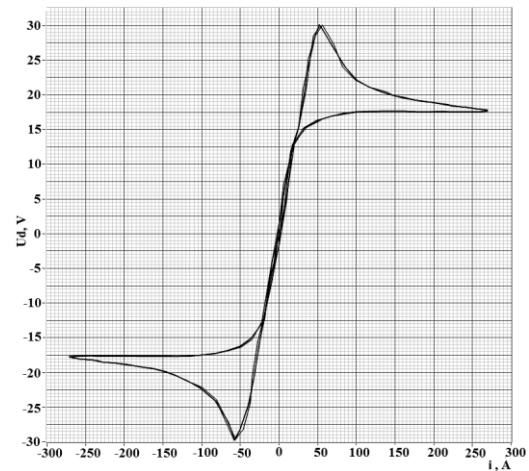
При експеримента са получени следните характеристики на електрическата дъгата – изменение на тока във времето $I_d = f(t)$, показано на Фиг. 8, изменение на напрежението във времето $U_d = f(t)$, показано на Фиг. 9 и динамичната V-A характеристика $U_d = f(I_d)$, показана на Фиг. 10.



Фиг. 8 Изменение на тока на дъгата във функция на времето.



Фиг. 9 Изменение на напрежението на дъгата във функция на времето.



Фиг. 10 Динамична V-A характеристика на дъгата.

От получените резултати чрез КИС се вижда, че дъгата се запалва за всеки полупериод при напрежения приблизително 30 V и изгасва при напрежение около 15 V. В края на всеки полупериод и началото на следващия кривата на тока е деформирана спрямо синусоида, което е следствие наличието на безтоковата пауза.

7. Заключение

Създадената компютърна система съкращава необходимото време за изследване на разрядни процеси в електрическите апарати и дава възможност за определяне на статичните и динамичните им характеристики.

Компютърната система за измерване може да бъде лесно адаптирана според специфичността на електрическия апарат, който ще се изпитва.

Предимства на КИС е способността да се получават едновременно характеристиките за $U_d = f(t)$, $I_d = f(t)$ и динамичната V-A характеристика $U_d = f(I_d)$. Едновременно с извеждането на характеристики се изчисляват съпротивлението, мощността и енергията на дъгата. Получените резултатите се използват за изследването процесите на променливо-токова електрическа дъга. Възможността за едновременно изчисляване и намиране на характеристиките води до съкращаване на време за анализ на един ЕА.

8. Благодарности

Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация, са финансирани по договор 142ПД0050-01, от Вътрешния конкурс на ТУ - София - 2014.

9. Литература

- [1] **R.Tanev, V. Mateev, I. Marinova** Coupled field and circuit modeling of electric arc discharge, *7th International PhD – CEMBEF*, Niš, Serbia, 2013, 71-74 с.
- [2] **А. Александров.** *Електрически апарати*, Авангард, 2004.
- [3] www.ni.com
- [4] **Agilent Technologies** *Impedance Measurement Handbook*. Agilent Technologies, 2006.
- [5] **Д. Русев, Б. Матраков, В. Туренков,** *Електрически измервания*, Техника, 2005.
- [6] **F. Farmer.** *Electrical Measurements in Practice*, Read Books, 2007.

Данни за авторите:

Валентин Матеев, магистър инженер, ТУ-София (2004) - електротехника.

Месторабота: – асистент в катедра „Електрически апарати”, Електротехнически Факултет, ТУ-София. Област на научни интереси: електрически апарати, интелигентни средства за измерване, числени методи за моделиране, обратни задачи, проектиране, оптимизация, електромагнитни устройства.

Росен Танев, магистър инженер, ТУ-София (2012) - електротехника. Месторабота: докторант в катедра „Електрически апарати”, Електротехнически Факултет, ТУ-София. Област на научни интереси: модели на електрически апарати и разрядни процеси, компютърни системи за проектиране и изпитване.

Илиана Маринова, д.т.н. (2010), д-р (1989). Професор, катедра „Електрически апарати”, Електротехнически Факултет, ТУ-София. Област на научни интереси: обратни задачи в електромагнетизма, интелигентни средства за измерване, числени методи за моделиране на полета, устройства и процеси, електромагнитни устройства, феромагнитни материали, проектиране на електромагнитни системи, оптимизация, съвременни средства за визуализация.

A computer measuring system for investigation of dynamic and static characteristics of the electric arc

Valentin Mateev, Rosen Tanev, and Iliana Marinova

Department of Electrical Apparatus Technical University of Sofia, Sofia, Bulgaria

E-mail: vmateev@tu-sofia.bg, rtanev@tu-sofia.bg, iliana@tu-sofia.bg

Abstract: - This article present computer measuring system made to study alternating current electric arc discharge processes in electrical apparatus. Created computer measuring system is used to determine the static and dynamic arc characteristics at low voltage. The simulation process is performed by experimental setup associated with DAQ (Data Acquisition) device and a personal computer. Software package LabVIEW is used together with required drivers. The measured parameters of the discharge process are used in virtual instrument through which execute all needed calculations necessary to obtain the dynamic and steady-state characteristics.

Key-Words: - Electrical arc discharge, steady-state and dynamic arc characteristics, computer modeling, switching devices