

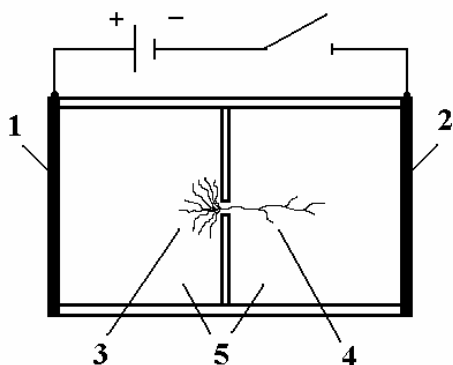
## Elektrické charakteristiky zapálení diafragmového výboje

### Teorie

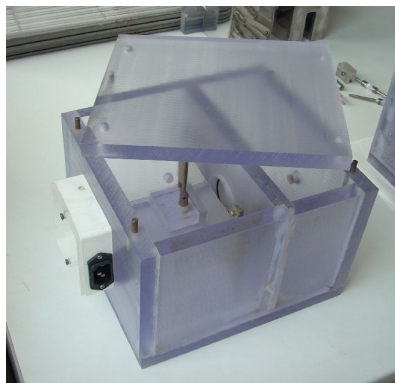
Elektrický výboj v kapalině představuje komplex jevů zahrnující různé fyzikální a chemické procesy, které závisí na velkém počtu faktorů: vodivosti, polaritě a oxidačním stavu elektrod, vlastnostech kapaliny apod. Elektrické výboje v kapalinách mohou být realizovány v rozličných konfiguracích elektrod a s různým charakterem vstupního napětí. V těchto praktikách je zkoumán diafragmový výboj, jenž vzniká v malém otvoru dielektrické přepážky oddělující dvě ploché elektrody. Výboj je iniciován aplikací vysokého napětí dodávaného ze stejnosměrného zdroje (max. výkon 1 kW, napětí do 2 kV). Z elektrostatického pohledu je systém diafragmového výboje v podstatě deskovým kondenzátorem tvořeným elektrodami, mezi nimiž je umístěno dielektrikum (přepážka) s velkým svodem díky otvoru. Zbytek prostoru je pak tvořen jen málo vodivou kapalinou s velmi vysokou permitivitou ( $\epsilon_r(\text{voda}) \cong 80$ ). Intenzita elektrického pole mezi elektrodami není konstantní, ale výrazně roste v oblasti otvoru v diafragmě. Zde dosahuje velmi vysokých hodnot ( $> 10^5 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$ ), a proto dochází v těchto místech k elektrickému průrazu – vzniku plazmatu (výboje). Do kapalně fáze je energie transformována formou plazmového kanálu tvořeného výbojem mezi dvěma elektrodami ponořenými v kapalině (viz obr. 1). V případě DC konfigurace je pak přenos části energie realizován elektrolýzou a jouleovským ohřevem.

Pro vznik elektrického výboje v kapalně fázi byly navrženy dva obecné typy teorií: elektronové teorie a tepelné (bublinové) teorie (podrobnější vysvětlení viz literatura [1-3]). Princip spočívá v tom, že průchodem elektrického proudu se roztok v reaktoru zahřívá, a to především v oblasti otvoru v diafragmě. Zde je nejvyšší proudová hustota (až  $1 \text{ MA}\cdot\text{m}^{-2}$ ), a proto se uvolňují bubliny páry. Při dostatečně vysokém gradientu napětí dojde k průrazu primárně v těchto bublinách. Výboj se pak dále šíří formou plazmových kanálů roztokem a vlivem expanze bubliny.

Významným rysem generace stejnosměrného diafragmového výboje je tvorba dvou odlišných typů plazmových kanálů na každé straně diafragmy. Na straně kladně nabitě elektrody jsou tvořeny záporné plazmové kanály („streamery“), které zaujmají hustou síť tenkých kanálů vyplňujících polokulový prostor. Naopak na straně záporné elektrody jsou tvořeny kladné „streamery“ obsahující jen jeden nebo několik rozvětvených kanálů. Rychlost jejich šíření je přibližně o řád vyšší než u záporných „streamerů“. Tvorbu tohoto typu výboje lze analogicky srovnat s konfigurací hrot-rovina [3].



Obr. 1



Obr. 2

Obr. 1: Schéma diafragmového („bezelektrodového“) výboje: 1 – anoda, 2 – katoda, 3 – negativní plazmové kanály, 4 – pozitivní plazmové kanály, 5 – vodivý kapalný roztok.

Obr. 2: Foto výbojové komory.

Elektrickými výboji v kapalinách (ve vodě, ve vodných roztocích apod.) je generováno plazma, které je následně příčinou vzniku různých fyzikálních a chemických jevů. Jedná se např. o silné ultrafialové záření, rázové vlny a zvláště pak o tvorbu různých reaktivních chemických částic. Mezi ně patří radikály ( $\cdot\text{OH}$ ,  $\cdot\text{H}$ ,  $\cdot\text{O}$ ,  $\cdot\text{HO}_2$ ), neutrální molekuly ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{O}_2$ ) a ionty ( $\text{O}_2^-$ ). Za nejdůležitější z těchto částic jsou považovány hydroxylové a kyslíkové radikály ( $\cdot\text{OH}$ ,  $\cdot\text{O}$ ), ozón ( $\text{O}_3$ ) a peroxid vodíku ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), které se významně podílejí na oxidačních procesech probíhajících v kapalně fázi během výboje. Proto bývají elektrické výboje v kapalinách řazeny mezi tzv. AOP's (pokročilé oxidační procesy) a jejich studium je vysoce aktuální.

### Časově rozlišené elektrické charakteristiky – měření s osciloskopem

Pro měření časově rozlišených elektrických charakteristik se v této úloze používá dvoukanálový osciloskop Tektronix TDS 1012B (frekvence do 100 MHz, sběr dat  $1 \text{ GS}\cdot\text{s}^{-1}$ ) s vysokonapěťovou sondou Tektronix P6015A (útlum 1000x) pro měření VN. Měření proudu je realizováno nepřímým měřením úbytku napětí na známém odporu. S nastavením osciloskopu, průběhem měření a ukládáním dat budete seznámeni v praktikách.

### Literatura

- [1] Stará Z., *Diafragmový výboj v kapalinách*, diplomová práce, Brno 2002.
- [2] Stará Z., *Study of Chemical Processes in Electrical Discharges in Liquids*, disertační práce, Brno 2006.
- [3] Lukeš P., *Water Treatment by Pulsed Streamer Corona Discharge*, disertační práce, Praha 2001.

## Úkoly

- 1) Seznamte se s experimentální aparaturou (reaktor a osciloskop). Dodržujte bezpečnostní pokyny vyučujícího, neboť pracujete s velmi vysokým napětím.
- 2) Nachystejte si roztok elektrolytu v destilované vodě dle pokynů vyučujícího (NaCl, koncentraci určí vyučující – přibližné navážky jsou v tabulce 1) a změřte jeho počáteční vodivost. Celkový objem reaktoru je 3,5 litru.
- 3) Proměřte časově rozlišené charakteristiky napětí a proudu od nulového napětí po napětí vyšší než odpovídá zapálení výboje a zpět s krokem přibližně 100 V (pro stejnosměrný zdroj VN). Jednotlivé charakteristiky si postupně ukládejte na vlastní flashdisk – pozor, přístroj je schopen komunikovat pouze s flashkami s pamětí do 1 GB!).
- 4) Vyhodnoťte naměřená data s ohledem na bod zapálení výboje. Sestrojte voltampérovou charakteristiku doplněnou o vybrané časové průběhy napětí a proudu kolem bodu zapálení. Stanovte bod zapálení diafragmového výboje pro daný elektrolyt a jeho koncentraci.

**Tabulka 1: Orientační navážky elektrolytů pro nastavení vodivosti (25 °C):**

<b>Elektrolyt</b>	<b>M</b> (g/mol)	<b>Navážka pro 400 mikroS/cm</b> (g/3,5 l)	<b>Koncentrace</b> (mmol/l)
NaCl	58,45	<b>0,819</b>	4,0
KCl	74,55	<b>0,698</b>	2,7
NH <sub>4</sub> Cl	53,49	<b>0,478</b>	2,6
NiCl <sub>2</sub> *6 H <sub>2</sub> O	237,71	<b>1,297</b>	1,6
NaBr	102,91	<b>1,120</b>	3,1
KBr	119,00	<b>1,013</b>	2,4
KI	166,01	<b>1,512</b>	2,6
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	142,00	<b>0,999</b>	2,0
NaNO <sub>3</sub>	85,00	<b>0,908</b>	3,1
Mg(NO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> *6 H <sub>2</sub> O	256,43	<b>1,358</b>	1,5
Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	164,00	<b>0,910</b>	1,6
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> *2 H <sub>2</sub> O	178,00	<b>0,905</b>	1,5
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	358,14	<b>1,577</b>	1,3