

SIMULATION OF THE CURRENT DISTRIBUTION THROUGH THE ELECTRODE SYSTEM IN A CYLINDRICAL TYPE VRLA CELLS

P. Křivák*, P. Bača*

Summary: *The current distribution through the electrode system of lead-acid accumulator was determined mathematically for a cylindrical type cell. Calculations was made by differential method by using an equivalent electrical circuit. The dependence of the internal resistance on the current and on the charge passed was determined by measurements on an experimental cell. The results are presented in the form of 3-D diagrams for different states of discharge.*

1. Úvod

V návaznosti na naše předchozí výzkumy, týkající se modelování distribuce proudu elektrodovým systémem standardních deskových elektrod olověného akumulátoru pro různé varianty vstupních proudových praporců v průběhu vybíjení, byl použit podobný model i pro články válcového typu, používaného ve VRLA aplikacích. Rozvinutý model tohoto článku - viz obr. 1. Užitá metoda založená na matematickém výpočtu ekvivalentního elektrického obvodu byla s úspěchem aplikována na případ, kdy elektrody byly vybíjeny konstantním proudem, způsobujícím v průběhu vybíjení změny ve vnitřním odporu článků (obr. 2).

2. Výsledky a diskuze

Změna vnitřních odporů R_{v_k} mezi jednotlivými základními elementy elektrod je v průběhu vybíjení funkcí procházejícího proudu I a prošlého náboje Q . Přesný průběh změn vnitřního odporu v průběhu vybíjení byl zjišťován na pokusném laboratorním článku pro různé vybíjecí proudy. Hodnoty vnitřního odporu R_{v_k} jednotlivých elementů článku zahrnující odpor elektrolytu, odpor separátoru, kontaktní odpor mezi mřížkou a aktivní hmotou, odpor aktivní hmoty a polarizační odpor byly proloženy náhradní matematickou exponenciální funkcí pomocí metody nejmenších čtverců:

$$R_{v_k} = 3.18 + 23000 \cdot Q \cdot I + 1.5 \cdot 10^{-11} \cdot \exp(4565 \cdot Q + 2556 \cdot I - 28) \quad (1)$$

Po aplikaci 1. a 2. Kirchhoffova zákona na uzly a smyčky pro celý ekvivalentní elektrický obvod dostaneme systém lineárních rovnic, jejichž řešení dává hledanou distribuci potenciálů a proudů. Abychom vzali v úvahu změny odporů s časem, výpočty byly provedeny v následujících krocích:

* Ing. Petr Křivák, Ph.D., Ing. Petr Bača, Ph.D., FEKT VUT v Brně; Údolní 53; 602 00 Brno; tel.: +420.541 146 189, fax: +420.541 146 199; e-mail: krivak@fec.vutbr.cz

1. krok: $i = 1$, $t_1 = 1$ s, $\Delta t_1 = 1$ s. Počáteční hodnota $R_1 = 3.18 \Omega$ je stejná pro všechny elementy reprezentující vnitřní odpor R_{v_k} a je vypočítána distribuce potenciálu v uzlech ekvivalentního obvodu. Potenciály uzlů k -tého elementu V_k^1 and W_k^1 jsou užity pro výpočet příslušného napětí a proudu:

$$U_k^1 = V_k^1 - W_k^1, \quad I_k^1 = U_k^1 / R_k^1 \quad (2)$$

Náboj prošlý k -tým elementem je spočítán z proudu jako

$$Q_k^1 = I_k^1 \times \Delta t_1 \quad (3)$$

2. krok: $i = 2$, $t_2 = 160$ s, $\Delta t_2 = t_2 - t_1$. Vnitřní odpor odpovídající k -tému elementu je spočítán z rov. (1). Poté je opět propočítána distribuce jednotlivých potenciálů a z nich vypočítána odpovídající hodnoty napětí a proudů podobně jako v 1. kroku. Náboj prošlý k -tým elementem je pak spočítán jako

$$Q_k^2 = Q_k^1 + I_k^2 \times \Delta t_2 \quad (4)$$

Výpočet podle 2. kroku probíhá opakovaně až do hodnoty $t_n = 15900$ s (100 % vybití článku).

Výsledky výpočtů distribuce proudu po povrchu elektrod jsou prezentovány ve formě 3-D grafů na obr. 3 a 4 pro hodnoty Q odpovídající 0 a 100 % vybití.

3. Závěr

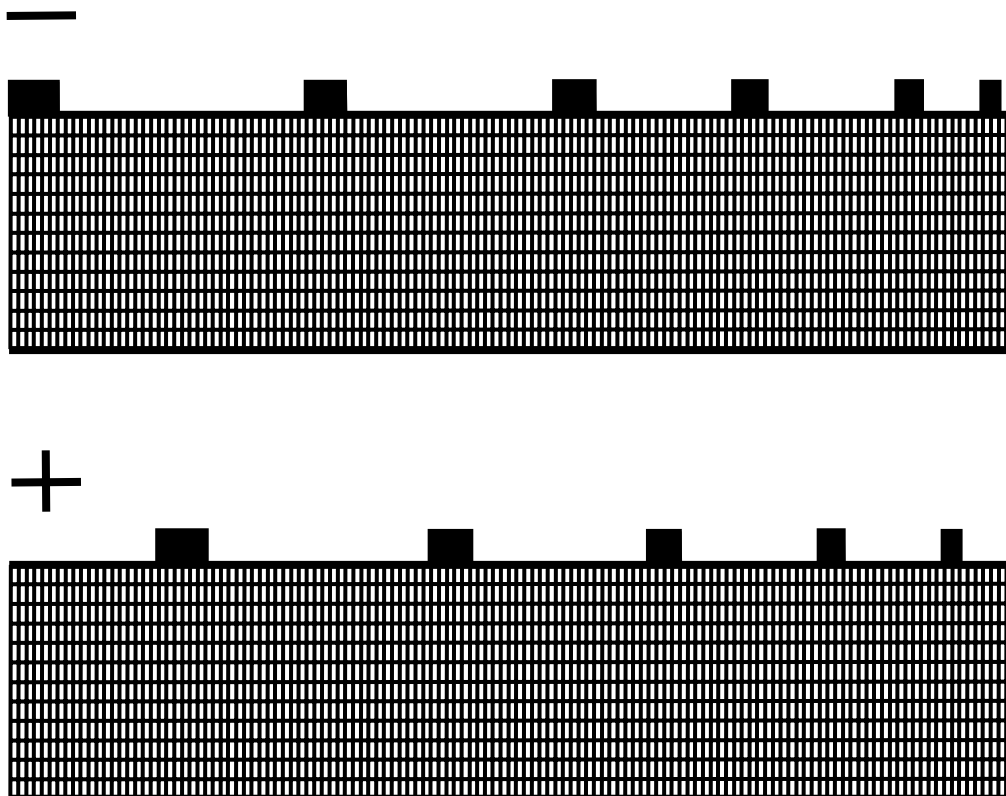
Jak je zřejmé z obr. 3 a 4, na počátku vybíjení jsou nejvíce vytěžovány oblasti nejbližší proudovým praporcům a to zejména v centrální oblasti článku válcového typu s velkou hustotou proudových praporců. Proto tyto oblasti dosáhnou vybitého stavu nejrychleji a v souvislosti s vybíjením se zde nejvíce zvyšuje vnitřní odpor. Protože vybíjecí proud zůstává konstantní, pokles proudu v těchto oblastech způsobený nárůstem odporu vede zejména v posledních fázích vybíjení ke vzrůstu proudu v dalších oblastech elektrody, původně méně proudově zatížených. To vede v průběhu vybíjení k postupnému vytěžování všech oblastí elektrody. Na konci vybíjení prudce vzrůstá u článku válcového typu nerovnoměrnost distribuce proudu.

4. Poděkování

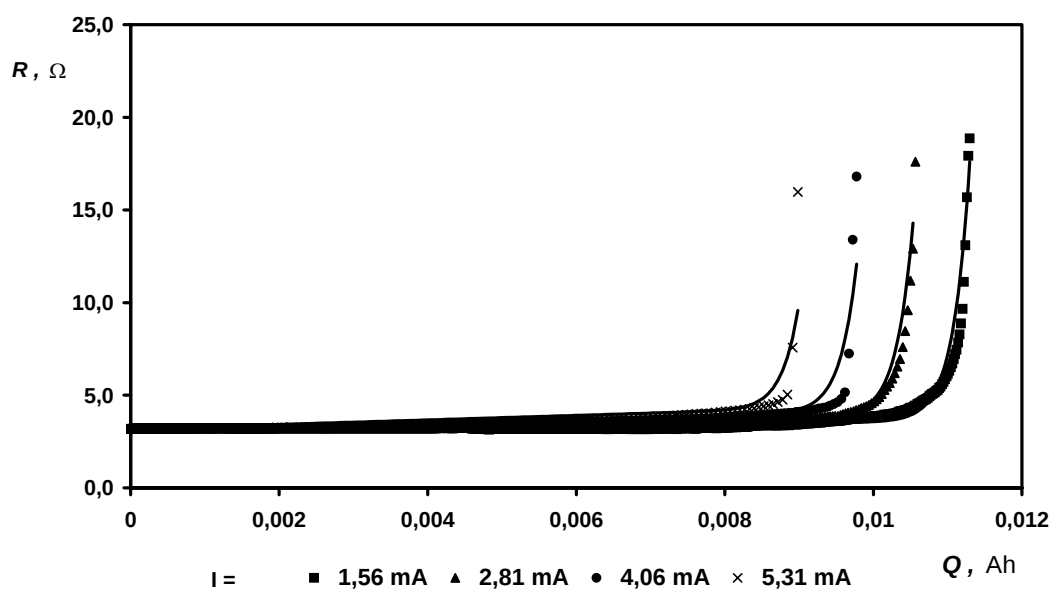
Tato práce byla sponzorována výzkumným záměrem MŠMT ČR č. MSM0021630516.

5. Literatura

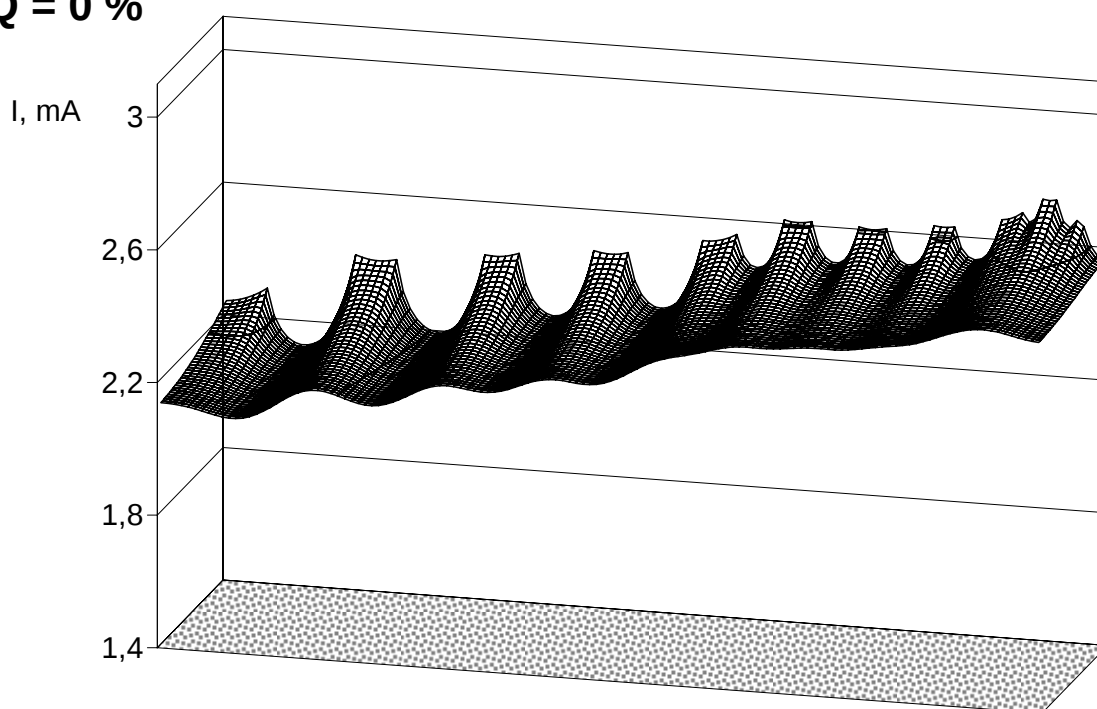
P. Král, P. Křivák, P. Bača, M. Calábek and K. Micka, Current distribution over the electrode surface in a lead-acid cell during discharge. *J. Power Sources* 105 (2002) 35 – 44.



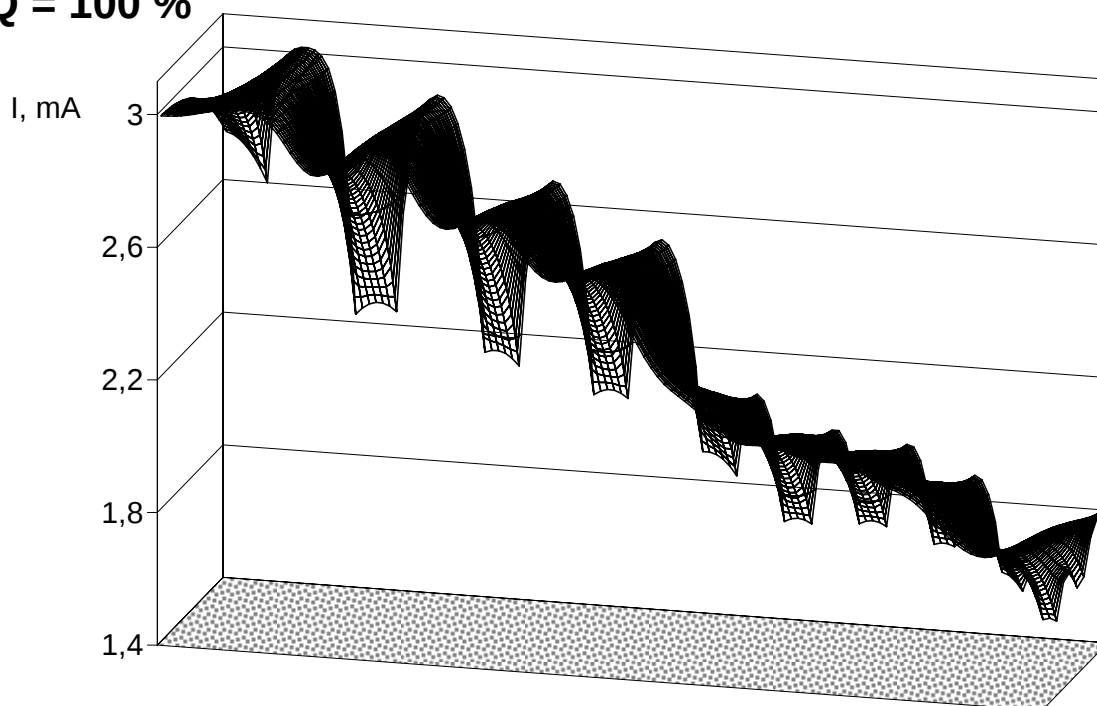
Obr. 1 Rozvinutý model článku válcového typu.



Obr. 2 Závislost vnitřního odporu elementu mřížky na prošlém náboji pro vybíjecí proudy od 1,56 mA do 2,81 mA. Experimentálně naměřené body jsou proloženy náhradní matematickou funkcí – viz. rov. (1).

Q = 0 %

Obr. 3 Distribuce proudu po povrchu elektrod pro rozvinutý článek válcového typu. Stupeň vybití 0 %.

Q = 100 %

Obr. 4 Distribuce proudu po povrchu elektrod pro rozvinutý článek válcového typu. Stupeň vybití 100 %.