

## 12. AUTONÓMNE ZDROJE

výhody:

- nezávislosť na sieti
- galvanické oddelenie od siete, prípadne iných obvodov

používané :

- ♦ elektrochemické články
- ♦ solárne články
- ♦ tepelné články (termočlánky)
- ♦ palivové články
- ♦ kondenzátory s veľkou kapacitou ( $C > 1F$ )

### 12.1. Elektrochemické články

Parametre :

- výstupné (svorkové) napätie [V]
- kapacita článku  $C$  [Ah, mAh]
- vnútorný odpor  $R_i$

**Výstupné napätie** závisí od tzv. *elektrochemického potenciálu* materiálov elektród  
V praxi hodnoty 1 až 1,5 V (4V, 2V) na článok

**Kapacita článku** - využiteľná energia Ah, mAh

- rozmer - súčin  **$I \cdot t$**  pri vybíjaní (resp. i nabíjaní), **prakticky nie len ako súčin**
- **normálny vybíjací (nabíjací) prúd je 0,1 C**
- hodnota 0,5 C je pre väčšinu článkov dosť veľký vybíjací prúd

Kapacita závisí od :

- typu článku
- veľkosti, resp. rozmerov článku (pri tom istom type) - priamo úmerne
- teploty - pre nízke teploty môže klesnúť pod nepoužiteľnú hodnotu, dej je vratný

*Poznámka: Kapacita je najčastejšie definovaná pre vybíjanie prúdom 0,2 C pre určité konečné napätie (napr. 1V). U akumulátorov predchádza nabitie prúdom 0,1 C za definovaný čas (14 ÷ 16 hod)*

**Veľkosti článkov** sú normalizované (podľa kapacity)

Príklady značení :

mikrotužkový - AAA	resp. LR03 (alkalický článok)
tužkový článok - AA (veľkosť),	resp. R6 (salmiakový článok) LR6 (alkalický článok) RA6 (alkalický nabíjací článok) RC6 (NiCd článok) HR6 (NiMH článok)
malý (baby) monočlánok - C ,	resp. R14, LR14, RC14
veľký monočlánok - D ,	resp. R20, atď.....
plochá batéria - 3 články R12 v sérii	3R12

Dátum - záručná doba, (min. 70 % nom. C)

### Spájanie článkov

**Paralelné spájanie článkov je zásadne zakázané !**

Sériové radenie článkov (vyššie napätie)

- rovnaký typ s rovnakou kapacitou
- rovnaký stupeň vybitia (vek)

Poznámka: NiCd, NiMH max. 6 čl. v sérii. Najslabší sa prvý vybije (až prepóluje) a pri veľkom počte článkov sa to ťažšie identifikuje.

Porovnanie rôznych, najčastejšie používaných (väčších) typov článkov je v tabuľke :

názov	typ	C[Ah]	typ	C[Ah]	typ	C[Ah]	typ	C[Ah]	typ	C[Ah]	rozmery:φ x l [mm]
mikrotužk.	R03	0,8	LR03	1	RC03	0,18	HR03	0,7- 0,9	RA03	0,9	AAA 10,5 x 44,5
tužkový	R6	1	LR6	2 - 3	RC6	0,6- 1	HR6	1,3 - 2,5	RA6	1,8	AA 14,5 x 50,5
malý monočl.	R14	2 - 3	LR14	6	RC14	1,2-2,5	HR14	3,5	-		C 26,5 x 50,0
veľký monočl.	R20	5 -7	LR20	12	RC20	2 - 4	HR20	4,5-7	-		D 34,2 x 61,5
9 V bater.	6F22	0,3	6LR61	0,5- 0,7	RC22	0,1	HR22	0,15-19	-		26,5 x 17,5 x 67
plochá bater	3R12	1,8-2	3LR12	3 - 4	-		-				
druh	salmiakový		alkalický		NiCd - akku		NiMH - akku		alk.	RAM	

Gombíkové typy:

- LR44 - 110 mAh - alkalická (φ 11 x 5,5 mm)
- SR44 - 165 mAh - silveroxid (striebrozinoková) (φ 11 x 5,5 mm)
- SR927W - 55 mAh - silveroxid (striebrozinoková) (φ 11 x 2 mm)
- CR2016 - 80 mAh - lítiová (φ 20 x 1,5 mm)
- CR2032 - 210 mAh - lítiová (φ 20 x 3,2 mm)

### 12.1.1. Primárne články

Salmiakový článok nazývaný tiež "Léclanché-ov", alebo zinko-uhlíkový (zinc-carbon).

- + uhlík, - zinková nádoba.
- depolarizátor (okysličovadlo) okolo + elektródy je burel (MnO<sub>2</sub>)
- elektrolyt je roztok, (resp. pasta) chloridu amónneho (salmiaku) NH<sub>4</sub>Cl.
- zinková nádoba → chlorid, vzniká H<sub>2</sub>O, zriedená pasta môže vytečť.
- Vytečenie článku - žieraviny → vážne poškodenie zariadenia.
- "leakproof" (savá vrstva, tesniaca fólia, plechový kryt)
- **napätie je 1,5V (menšie o úbytok na R<sub>i</sub>)**

Modifikácia je článok "Heavy Duty":

- salmiak je nahradený chloridom zinočnatým, čo je slabšia žieravina

- nevzniká voľná voda
- s vybijaním však klesá i svorkové napätie (naprázdno) až na 1,3V.

**Alkalický článok** (alkaline cell) je druhý najviac používaný článok

- + elektróda je zmes uhlíka s burelom, - elektróda je zrnitý zinok.
- Elektrolyt je hydroxid draselný KOH.
- Celok je v ocelovom plášti, čo je kladný pól
- ešte je pridaný vonkajší tesniaci obal.
- **napätie je 1,5 ÷ 1,55 V**, pri vybijaní väčšinou klesá, i naprázdno môže byť 1,3 V.
- väčšia kapacita, (odberové prúdy), dlhšia skladovateľnosť, pracujú pri - 30°C .

*Poznámka: Pre malé odbery nie sú až tak výhodné, lebo sú drahšie a majú väčšiu hmotnosť. Články sa nesmú zahrievať a dobíjať!*

**Ortuťový článok** (mercury cell). **Napätie 1,35 V konštantné počas celého vybijania.** **Kvazi referenčný zdroj**, ekologicky nevhodný.

**Striebrozinkový** (silveroxid) článok. **Svorkové napätie 1,55 V**, elektrolyt NaOH, resp. KOH. Väčšia kapacita (prúdy), drahé.

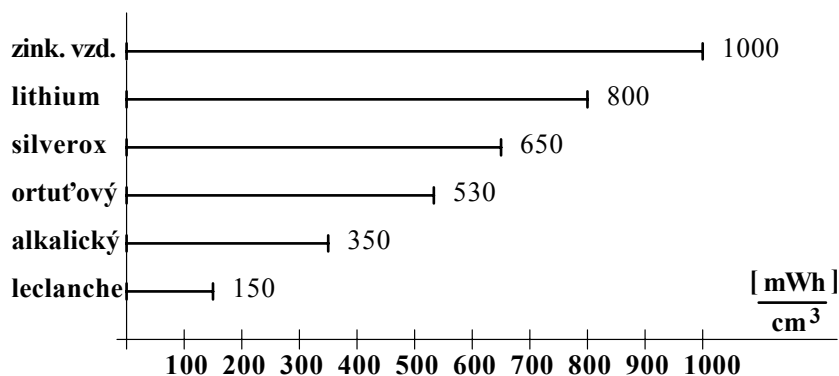
**Lítiový článok** je dosť variabilný (**primárny článok !**)

- ♦ **svorkové napätie od 1 do 4 V.**
- ♦ **Najčastejšie sú 3 V články,**
- ♦ menej časté 1,5 V ako náhrada "klasických" 1,5 V.
- ♦ malé samovybijanie, asi 1% kapacity ročne ! (NiCd asi 20% mesačne).
- ♦ dlhodobé malé odbery - hodinky, kalkulačky, niektoré pamäte v PC.

*Poznámka: Lítium tvorí tzv. tuhý elektrolyt, **pri styku s vodou** (netesný článok) **vybuchuje!***

**Zinkovzduchový** (zinc-air)

- v podstate salmiakový článok
- depolarizátor je vzdušný kyslík



Obr.166

### 12.1.2. Sekundárne články - akumulátory

V súčasnosti najrozšírenejšie typy :

- ♦ olovený pre použitie v automobiloch a pre iné veľké prúdové odbery
- ♦ NiCd a NiMH
- ♦ špeciálne - lítium iónové, lítiové polymérové, alkalické RAM...

#### Olovený akumulátor (lead acid)

- Elektródy sú olovené, iné druhy na + a - elektróde
- elektrolyt je asi 30%  $H_2SO_4$
- **napätie je 2 ÷ 2,2 V. Mení sa podľa stavu nabitia**
- veľmi malý vnútorný odpor (niekoľko mΩ. )
- pri skrate vysoké prúdy (> 100 A) → tepelný výbuch akumulátora

Stav nabitia podľa :

- napätia - ak je na článok < 2 V ⇒ je vybitý  
- pri nabíjaní (pripojená nabíjačka) ak  $U_{svor.} > 2,7 V$  ⇒ je nabitý
- hustoty elektrolytu : hustota 1,1 ⇒ je vybitý  
hustota 1,4 ⇒ je nabitý

#### **Poznámky k vlastnostiam a údržbe**

- nízke teploty - zmenšenie kapacity článku (batérie)  
- zamrznutie elektrolytu:
  - je pri nabitom článku (hustota 1,4) asi pri - 35 °C,
  - pri vybitom (hust. 1,1) pri -5 ÷ -10 °C
- nebezpečie výbuchu - pri nabíjaní kyslík a vodík → traskavú zmes
- nabíjanie je na 110 ÷ 130 % nominálnej kapacity C

Poznámka: **Nové typy sú uzavreté**, prakticky bezúdržbové, v zime sa občas nabíjajú

#### Tesné olovené akumulátory (sealed lead acid)

- olovené akumulátory s pastovitým elektrolytom
- princíp a vlastnosti sú podobné klasickým
- Použitie ako záložný zdroj s veľkou kapacitou pre veľké prúdy.

Poznámka: Všetky olovené akumulátory majú pomerne veľkú hmotnosť (olovo  $12,6 \text{ kg/dm}^3$ ), treba zvážiť vhodnosť pre prenosné zariadenia.

### Nikloadmiové (NiCd) akumulátory (nom. napätie 1,2 V)

- + elektróda hydroxid niklu, NiO(OH) vyrobený spekaním prachu (sintrovanie)
- - elektróda kadmium, elektrolyticky nanášané na ocel'
- elektródy i separátor sú pórovité a v póroch je netekutý elektrolyt KOH.
- pórovité elektródy pohlcujú plyny pri nabíjaní i vybíjaní → tzv. tesné články.
- poistný ventil na 1,5 MPa.
- prevádzkové teploty sú  $-25 \div +50 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Poznámka: Používajú sa aj NiCd akku s tekutým elektrolytom KOH. Pozor, nezameniť si s olovenými akku- elektrolyt  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

### Vlastnosti

- ♦ pravidelná kontrola, nabíjanie, prípadne i vybíjanie pre úplné cykly
- ♦ Počet cyklov  $500 \div 1000$  (5000), čo je max. počet pri správnej údržbe.
- ♦ Pri nesprávnej údržbe podstatne menej (poklesom kapacity.)
- ♦ NiCd články sa majú skladovať vo vybitom stave (možné i niekoľko rokov)

### Nabíjanie a údržba NiCd (aj NiMH) článkov.

Najvhodnejšie je pre články tzv. "normálne" nabíjanie prúdom cca 0,1 C.

Niekedy sa mu hovorí tiež pomalé:

- články sa nabíjajú na cca 140 % (NiMH 160%) kapacity C → 14 (16) hodín.

### Zrýchlené nabíjanie :

- väčšie prúdy  $0,2 \div 0,33 \text{ C}$  ( $0,5 \div 1 \text{ C}$ )
- solídnejšia kontrola nabíjania (najmä teploty).

Pri nabíjaní 4 fázy :

- ♦ ukladanie energie do akt. hmoty
- ♦ pokles účinnosti nabíjania, časť energie robí nepotrebné (plyny, teplo,...)
- ♦ stav plného nabitia
- ♦ len vývoj tepla a plynov

### Určenie stavu nabitia :

- meraním času (pre  $I_{\text{nab}} = \text{konš.}$ )
- meraním teploty → prekročí cca  $+40 \text{ }^\circ\text{C}$  (max  $+60 \text{ }^\circ\text{C}$ )
- sledovanie zmeny  $dU/dt$  na článku

Poznámka: Vysoká teplota znižuje životnosť (počet cyklov) článku, vzniká pri rýchlom nabíjaní, resp. prebíjaní článkov. Skladovacia vysoká teplota zvyšuje samovybíjanie.

### Pamät'ový jav

- najmä pri zvýšených teplotách (rýchle nabíjanie)
- pri neúplnom nabití (vybití) - zníženie kapacity i pre ďalšie cykly
- vznik kryštálov na elektródach, *narastajú pri prebíjaní, rozpúšťajú sa pri vybíjaní*

➤ odstrániť vybitím pod 1 V a znovu nabitím, najlepšie normálnym

integrovany obvod ICS 1700 (1702) :

- nabíjací prúd hodnoty 1 C 983 ms
- pauza 2 ms
- vybitie prúdom 2,5 C 5 ms
- pauza 10 ms

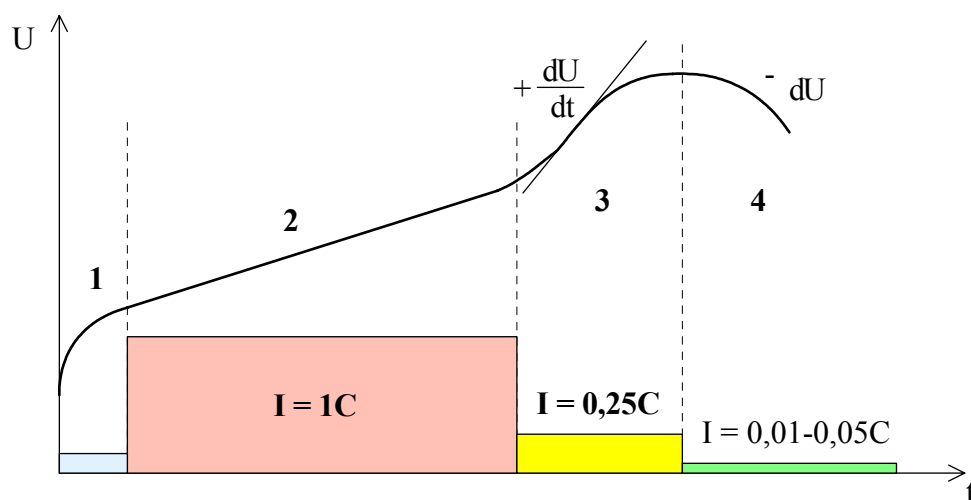
**Udržovací režim (TRICKLE mode)** - prúdom 0,025 - 0,05C sa udržuje plné nabitie.

**Optimálne je 2,3 až 4 fázové nabíjanie:**

Na začiatku - predformátovanie

1. fáza - rýchle nabitie 0,5 - 1 C na 90 % C
2. fáza - prúd 0,1 C (1 - 2 hod) nabije na 100 %
3. fáza - TRICKLE režim - udržiavací prúd 0,025 - 0,5C

Priebeh "zo optimalizovaného" nabíjania je na Obr. 167



1 - predformátovanie

3 - záverečné

2 - rýchle

4 - trickle

Obr.167

### Nikelmetalhydridové (NiMH) akumulátory (nom napätie 1,2V)

- ♦ základ - špeciálna kovová zliatina, označme si ju M, pre vybitý stav
- ♦ pri nabíjaní sa M zlúči s vodíkom na MH - metalhydrid

Vlastnosti NiMH článkov :

- vyššia kapacita, (napr. AA majú 1300 ÷ 2800 mAh)
- malý, resp. nulový pamäťový jav
- ekologicky výhodnejšie (bez kadmia)
- menej citlivé na prebitie
- pre menšie prúdy ako NiCd
- možných 500 ÷ 1000 cyklov
- pri skladovaní- cca raz mesačne nabiť
- nabíjajú sa na cca 160 % kapacity C (pri I = 0,1 C)
- vyššie samovybíjanie ????
- vyššie zahriatie pri nabíjaní (najmä rýchlo)
- v maxime plochá nabíjacia krivka

- ošetrovanie a systém nabíjania a vybíjania je rovnaký ako u NiCd
- nemajú pamäťový jav → netreba zbytočne vybíjať
- výhodné je aplikovať neúplné cykly → predlžuje sa ich životnosť.
- treba však potom určiť stav nabitia (teplota, dU/dt..)

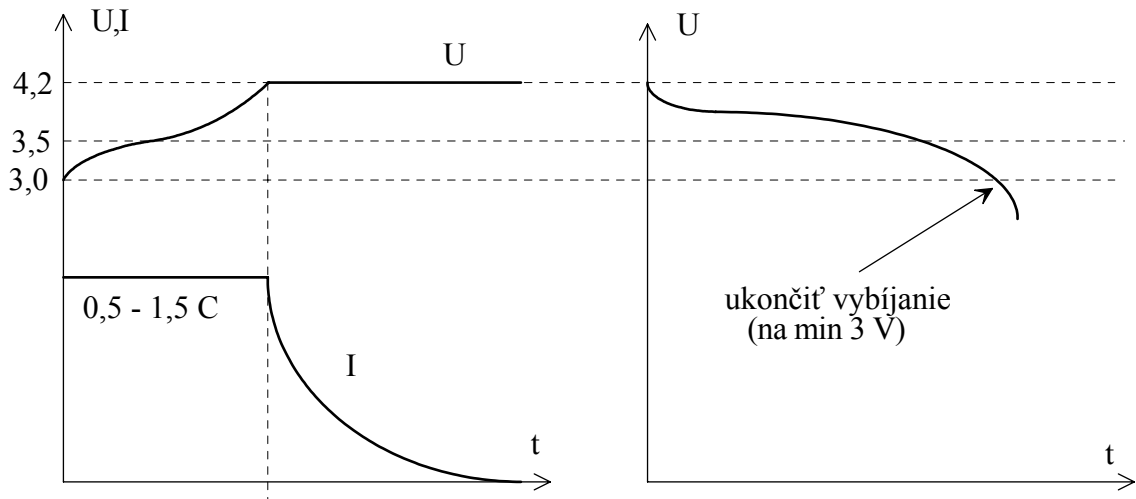
*Poznámka: Firma Sanyo ponúka NiMH typ "Anyloop" bez samovybíjania - po roku 85 % .  
(Podobne GP - "RECYKO") . Menšia kapacita (AA 2000 mAh)*

**Oceloniklové NiFe akumulátory** (nom. napätie 1,3V)

**Lítium - iónové akumulátory** (nom. napätie 3,7V)

- ♦ Napätie sa mení od 2,5V (vybitý) po 4V (plne nabitý)
- ♦ Kapacita dosť vysoká, AA rozmer má cca 1400 mAh (pri 3 nás napätí!)
- ♦ Častejšie sú neštandardné tvary
- ♦ Nabíjacie napätie je max. 4,2V, nab. prúd  $I_{nab} < 0,7C$ , po nabití je asi 0,07 C.
- ♦ Vybíjanie by malo byť na  $U_{min} = 3V$
- ♦ Počet cyklov je asi 300 - 400, dobíjateľné kedykoľvek
- ♦ nemajú samovybíjanie a pamäťový jav
- ♦ drahé, v puzdre obsahujú kontrolne a ochranné obvody, inak az nebezpečne (pri zahriati veľkými prúdmi vybuch)
- ♦ oxidujú elektródy → starnú i bez používania (po 2 - 3 rokoch citelne)

Nabíjanie a vybíjanie LiIon akumulátorov - priebeh je na obr.168



Obr.168

**Lítiové - polymérové akumulátory** (nom. napätie 3,7V). Majú plochý tvar, hrúbka  $h = 3 - 4$  mm, pri rozmeroch  $9 \times 4$  cm je C asi 500 mAh, 500 cyklov, 15 g.

**Alkalické RAM akumulátory** (nom. napätie 1,5V) (RAM - rechargeable alkaline manganese)

*Dobíjateľné primárne články.*

- ◆ neúplné vybíjanie → časté nabíjanie
- ◆ malé samovybíjanie (4 - 5 rokov), bez pamäťového efektu
- ◆ dobíjanie kedykoľvek (neúplné cykly), netreba kontrolovať
- ◆ počet cyklov 25 - 500 (teoreticky)
- kapacita postupne klesá (AA klesne po 500 cykloch na 500 mAh)
- postupne klesá i svorkové napätie (i naprázdno) až na 1,2V
- vyšší  $R_i$  - menšie vybíjacie prúdy (0,1 - 0,2 C)
- potreba špeciálnych nabíjačiek - nabíja sa konštantným napätím (nom 1,65 V)

## 12.2. Solárne články

- kremíkové fotodiódy špeciálnej konštrukcie v hradlovom režime.
- na jeden článok asi 0,4 V, pre vyššie napätia do série.
- Prúd závisí od plochy článku a značne od osvetlenia.

Pre intenzity osvetlenia :

$$E = 1000 \text{ lx} \quad \text{získame cca} \quad 0,5 \text{ mA/cm}^2$$

$$E = 9000 \text{ lx} \quad \text{získame cca} \quad 5 \text{ mA/cm}^2$$

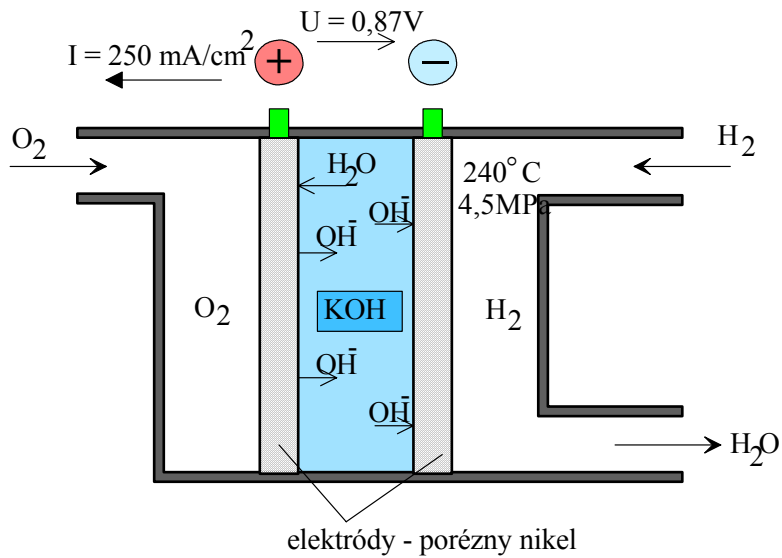
Prenosné - "vreckové" nabíjačky:

- $9 \times 19$  cm , 4 AA články, prúd 40 mA / článok (plné slnko, Str. Európa)
- $8 \times 6 \times 1,5$  cm (160g) → 4 x 500 mAh/deň
- $33 \times 33$  cm → 12 V / 400 mA (5 W) → 10 ks 1100 mAh pri 3-4 hod slnka



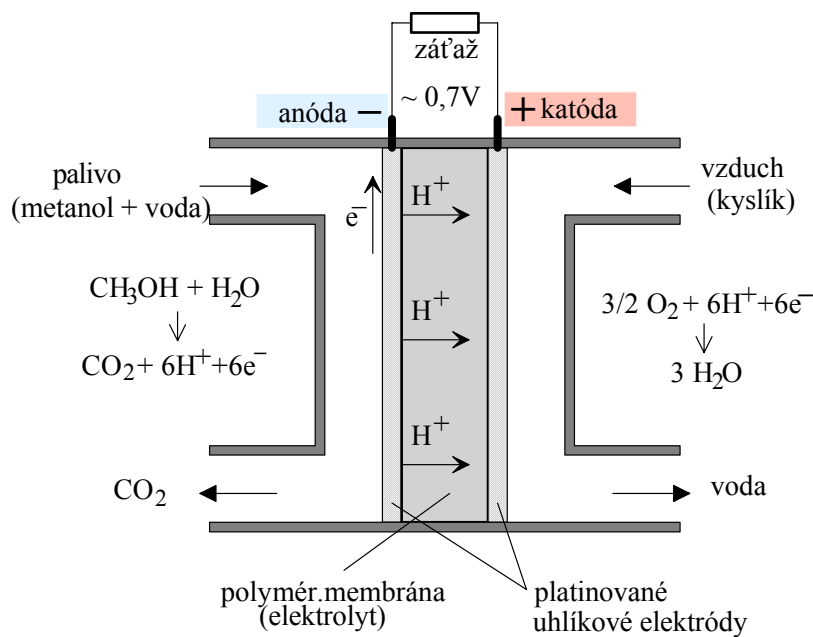
### 12.3. Palivové články

Ich rozvoj nastal najmä v súvislosti s kozmickým výskumom. Princíp kyslíko - vodíkového článku je na obr. 169.



Obr. 169.

### DMFC - metanolový článok (DMFC - Direct Metanol Fuel Cell)



Obr.170.

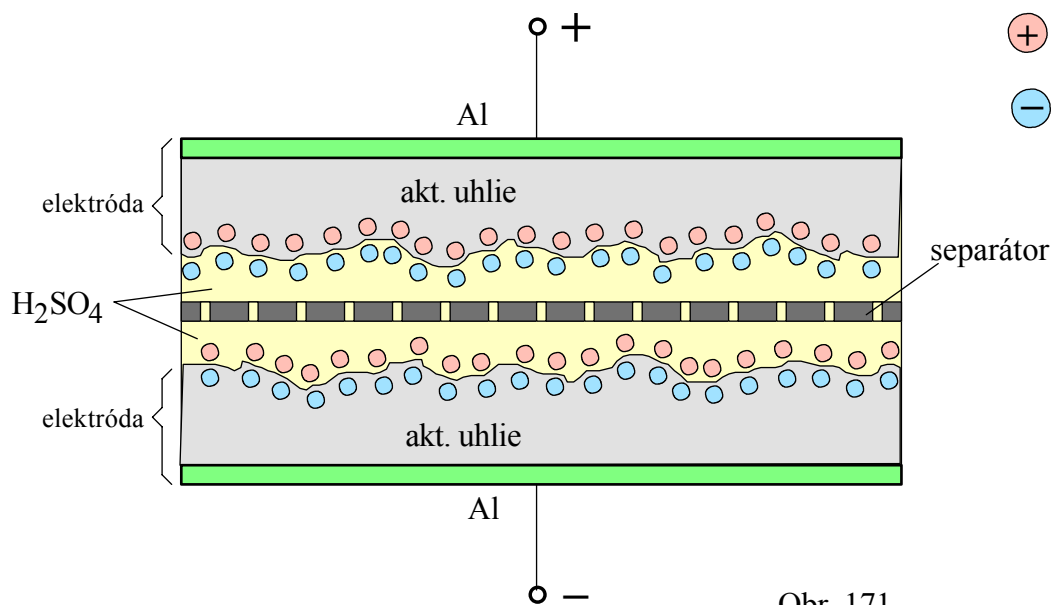
- "Odpad" je voda a CO<sub>2</sub>
- Výkony sú od W do kW
- 125 ml metanolu vyrobí cca 150 Wh.

(Smart fuel cell C 25: 125 ml → 7 hod prevádzky notebooku)

## 12.4. Kondenzátory s veľkou kapacitou (supercapacitor)

Špeciálna technológia - rádove 100-ky, až 1000-ky **Faradov**. (Princíp je na obr. 171)

- na AL doske je vrstva aktívneho uhlia (nové - alotrop uhlíka nanotrúbica)
  - AL + uhlie = **elektroda** s veľkou plochou
  - separátor oddeľuje "elektrody"
  - v priestore je elektrolyt  $H_2SO_4$
- 
- elektróda i elektrolyt sú vodivé
  - na styčnej ploche sa zhromaždia ióny
  - ak sa neprekročí disociačné napätie (**2 - 3 V**), nespoja sa
  - vzniká EDL (Electrochemic Double Layer), "dielektrikum" hrúbky **nm**
  - malé d, veľké S  $\Rightarrow$  veľká kapacita C (už 5000 F - 2010)



Obr. 171.

Výhody:

- 100 000 nabíjacích cyklov pri životnosti 7 ÷ 10 rokov
- $R_i$  rádove  $m\Omega$
- veľká  $\eta$  (až 95 %), malé zahrievanie
- rýchle nabitie (vybitie) - rádove sekundy  $\Rightarrow$  veľké prúdy
- teploty : - 20 ÷ + 70 °C

Nevýhody:

- menšia výkon. hustota (5 Wh/kg, Pb accu 40 Wh/kg)
- malé U (do 3 V)
- väčšie samovybijanie ?
- exponenciálne vybíjanie  $\Rightarrow$  regulačné obvody

Príklad : (Power Cap) kondenzátory 470 F/ 3V (390 mAh) a 1500 F/ 3V, (1250 mAh)

*Poznámka: Tieto kondenzátory nie sú vhodné na filtráciu a treba rešpektovať ich prevádzkové napätie.*

### Lítium - iónový kondenzátor

hybrid : supercapacitor + LiIon akumulátor  $\Rightarrow$  vyššia energia, vyššie U (3,8 - 4 V)

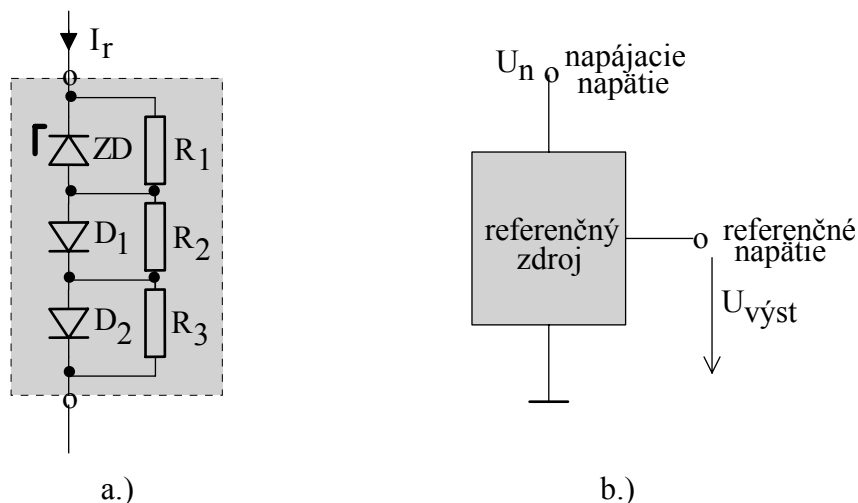
## 13. ŠPECIÁLNE ZDROJE

Z mnohých zdrojov si opíšeme :

- referenčné napät'ové zdroje
- referenčné prúdové zdroje
- napät'ové násobiče

### 13.1. Referenčné napät'ové zdroje

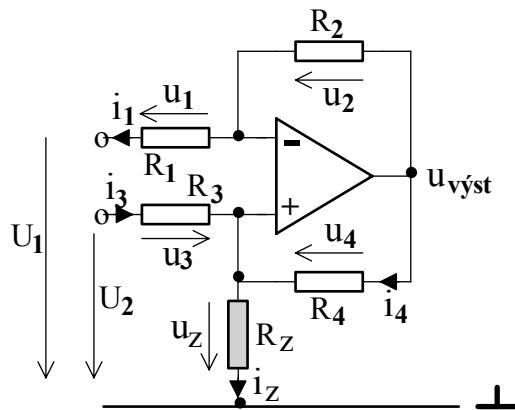
- referenčná dióda
- referenčný napät'ový zdroj (obvykle integrovaná forma)



Obr. 172.

### 13.2. Referenčné prúdové zdroje

Na obr. 173 je obvod, nazvaný "*Howlandovo zapojenie*".



Obr. 173.

Ak analyzujeme zapojenie, predpokladajme, že :

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3} \quad , \quad U_2 > U_1, \quad i_z = i_3 + i_4$$

$$i_z = \frac{U_2 - U_1}{R_3}$$

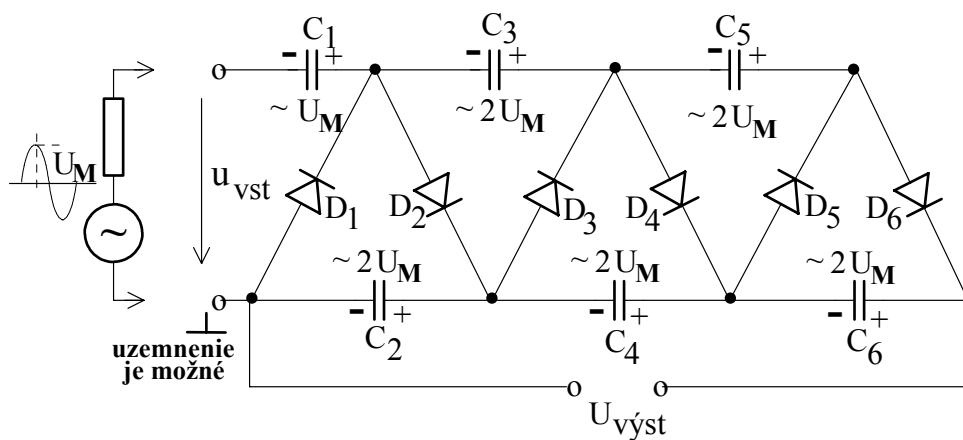
- $i_z$  nie je závislý na odpore  $R_z$ , teda záťaži
- prúd je možné nastavovať podľa vzt'ahu zmenou  $U_2$ ,  $U_1$ , alebo  $R_3$ .

Pre neuzemnenú záťaž je možné použiť i jednoduchšie zapojenia

### 13.3. Násobiče napätia

- ♦ pre malý výst. výkon
- ♦ keď potrebujeme vyššie napätie ako máme k dispozícii.
- ♦ zvýšenie výstupného napätia teoreticky neobmedzene
- ♦ max. reálny, t.j. použiteľný násobiaci faktor je okolo 10

**Pozor, napájanie je striedavé !**



Obr. 174.

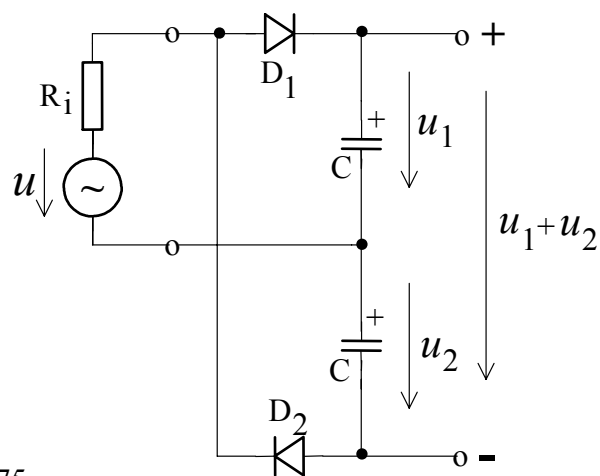
zvolený násobiaci faktor "m" → hodnota kapacity  $C_i$  (sú rovnaké) je :

$$C \geq \frac{2m(m+2)}{R_L \cdot f} \quad \text{a pre výber diódy : } U_{KA} \geq 2U_M$$

Ako už bolo spomenuté, max reálny faktor "m" je  $6 \div 10$ ,  $R_L$  je odpor záťaže.

Výstup len z kapacity  $C_2$  → [zdvojovač napätia](#)

Zdvojovač na obr. 175 → "*Greinacherovo*" zapojenie



Obr. 175.