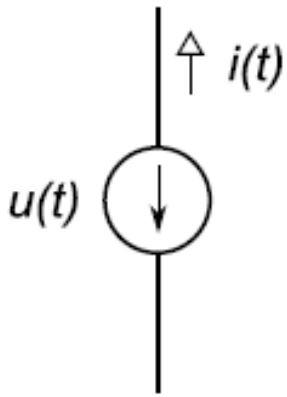
20ZEKT: přednáška č. 7

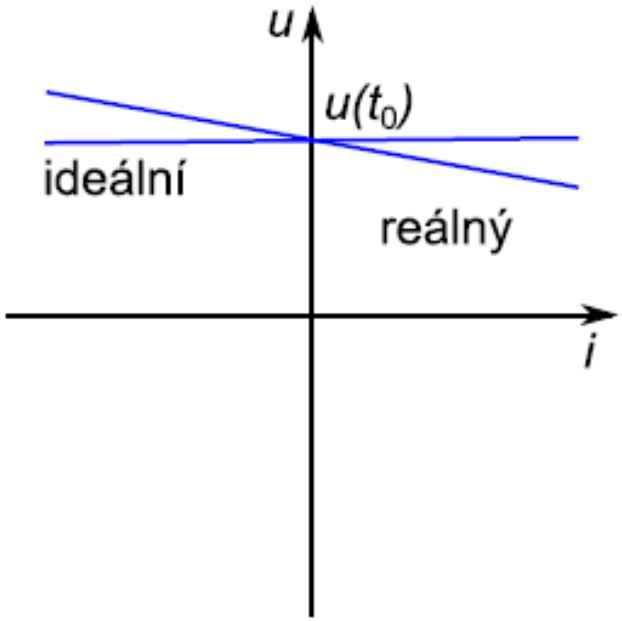
Zdroje

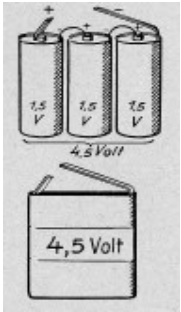
- Zdroj proudu a napětí
- Zatěžovací charakteristiky zdrojů
- Théveninův a Nortonův teorém
- Akumulátory a baterie
- Fotovoltaické zdroje
- Jak vybrat zdroj?

(Nezávislý) zdroj napětí u(t)

- Ideální zdroj napětí je schopen udržovat na svých svorkách určité napětí s daným časovým průběhem nezávisle na odebíraném proudu





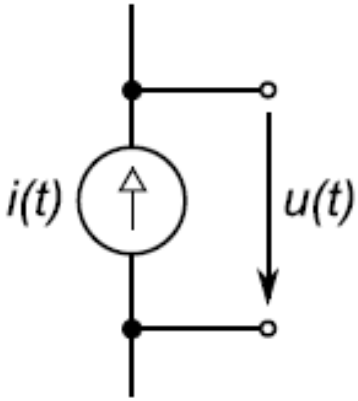


Šipka smeruje ve směru poklesu napětí (od + k -)

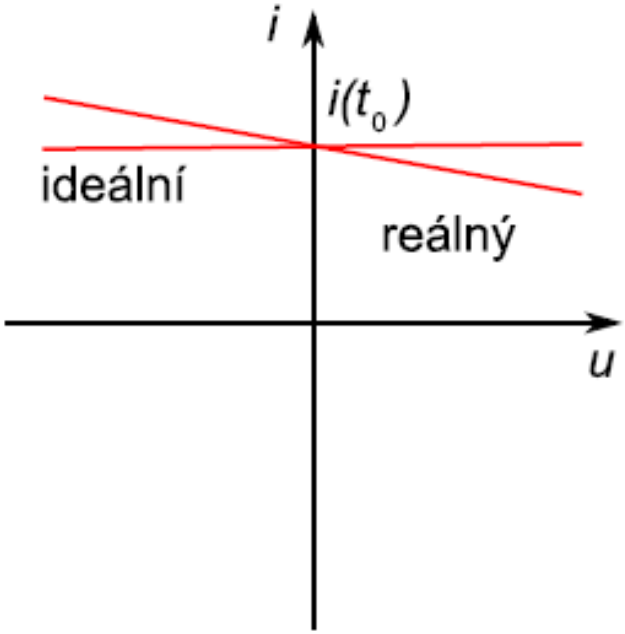
Voltampérová charakterisktika ideálního zdroje napětí platná pro libovolný časový okamžik t_0.

(Nezávislý) zdroj proudu i(t)

- Ideální zdroj proudu je schopen dodávat ze svých svorek určitý proud s daným časovým průběhem nezávisle na vlastnostech připojených obvodů

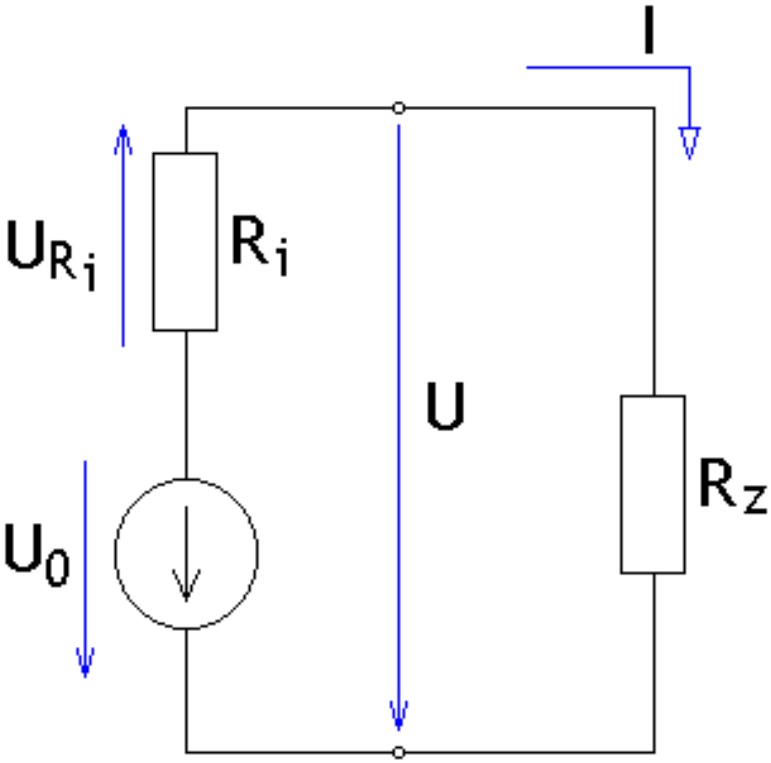


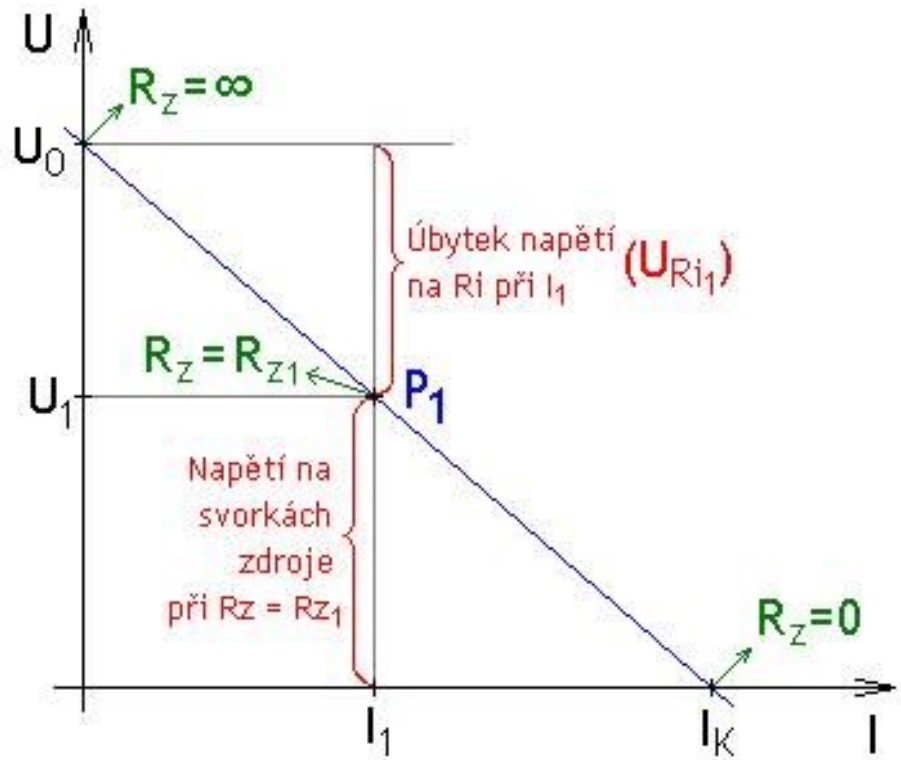
Šipka směřuje ve směru toku kladného náboje



Voltampérová charakterisktika ideálního zdroje proudu platná pro libovolný časový okamžik t_0.

Zatěžovací charakteristika zdroje napětí





U_0 ... svorkové napětí naprázdno
U ... svorkové napětí
R_i ... vnitřní odpor zdroje
I ... proud zátěží

$$R_i = \frac{U_0}{I_k} = \frac{U_0 - U_1}{I_1} = \frac{U_0 - I.R_z}{I}$$

Zatěžovací charakteristika je graf závislosti svorkového napětí na zatěžovacím proudu.

- P_1 ... pracovní bod
- U_0 ... napětí naprázdno (pro $R_z=\infty$)
- I_k ... proud nakrátko (pro $R_z=0$)

Určení napětí naprázdno, proudu nakrátko a vnitřního odporu aktivního dvojpólu

- <u>Lineární aktivní odporový dvojpól</u>
  - obvod (kombinace, „*změť*“) se zdroji napětí, zdroji proudu a lineárními rezistory se dvěma svorkami AB (představte si, že ze svorky A povede jeden vodič a ze svorky B povede druhý vodič*)*
- <u>Určení napětí naprázdno</u>
  - Neuvažujeme obvod za svorkami AB (vodič ze svorky A i vodič ze svorky B necháme tzv. naprázdno, chcete-li *ve vzduchu*)
  - Nyní určíme napětí mezi svorkami AB (tzv. naprázdno, protože neuvažujeme zátěž, která je za svorkami AB) - toto napětí spočítáme vhodnou metodou
- <u>Určení proudu nakrátko</u>
  - Obvod za svorkami AB zkratujeme (vodivě propojíme vodič ze svorky A i vodič ze svorky B)
  - Nyní určíme proud mezi svorkami AB (tzv. nakrátko, protože svorky AB jsou zkratovány) – tento proud spočítáme vhodnou metodou
- <u>Určení vnitřního odporu</u>
  - Vnitřní odpor určíme jako podíl napětí naprázdno a proudu nakrátko (viz též minulý snímek)

Théveninův teorém

- <u>Použitelnost</u>
  - Jako dílčí krok pro výpočet napětí/proudů v určitých typech obvodů (typicky pro obvody začínající zatíženým děličem napětí, nebo s více zdroji)
- <u>Princip</u>
  - Vychází z toho, že jakkoliv složitý aktivní dvojpól lze nahradit sériovou kombinací zdroje napětí a odporu
  - Důkaz - spočívá ve shodě zatěžovacích charakteristik původního složitého a nového jednoduchého aktivního dvojpólu.
- <u>Postup</u>
  - V původním (složitém) obvodu vybereme vhodným způsobem svorky A a B
    - tak aby bylo mělo smysl obvod před svorkami nahradit sériovou kombinací zdroje napětí (Théveninovo náhradní napětí) a odporu (Théveninův náhradní odpor)
  - Určíme Théveninovo náhradní napětí U_{Th} jako napětí naprázdno původního (složitého) aktivního dvojpólu
  - Určíme Théveninův náhradní odpor R_{Th} jako vnitřní odpor původního (složitého) aktivního dvojpólu Je to odpor mezi svorkami AB při vyřazených zdrojích (zdroje napětí zkratovány, zdroje proudu rozpojeny).
  - Původní složitý obvod před svorkami AB nahradíme sériovou kombinací zdroje napětí U_{Th} a odporu R_{Th}

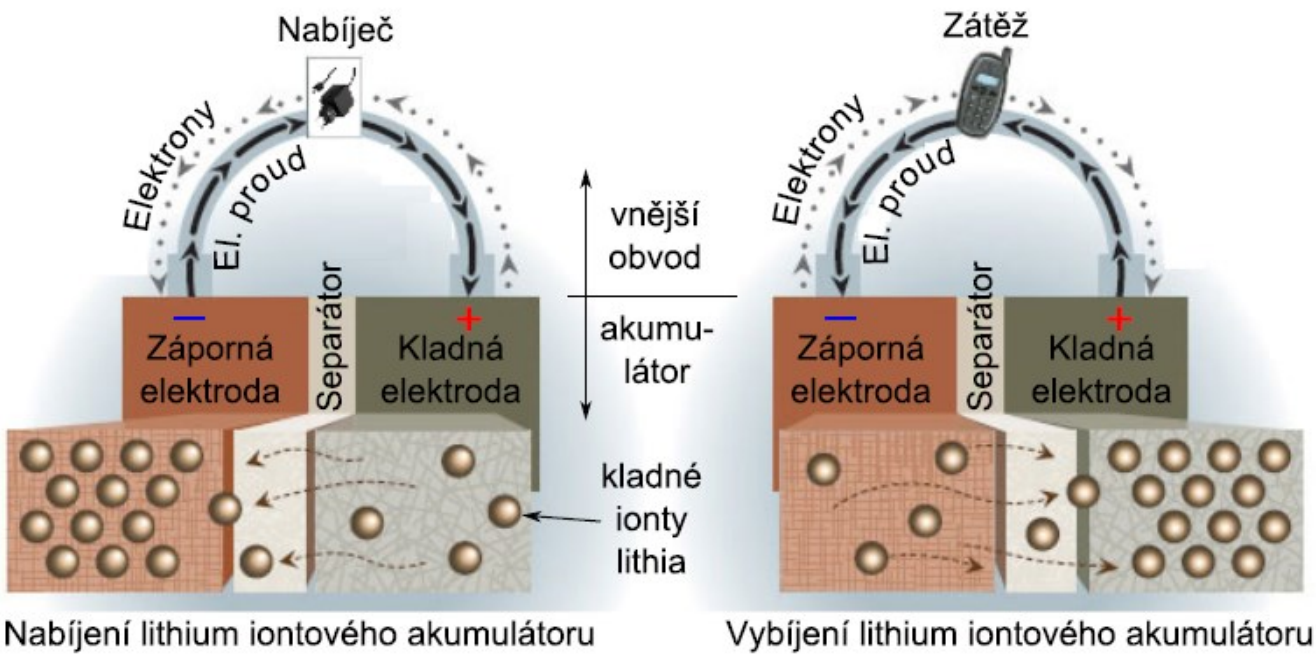
Nortonův teorém

- <u>Použitelnost</u>
  - Jako dílčí krok pro výpočet napětí/proudů v určitých typech obvodů (typicky pro obvody začínající zatíženým děličem napětí, nebo s více zdroji)
- <u>Princip</u>
  - Vychází z toho, že jakkoliv složitý aktivní dvojpól lze nahradit paralelní kombinací zdroje proudu a odporu
  - Důkaz - spočívá ve shodě zatěžovacích charakteristik původního složitého a nového jednoduchého aktivního dvojpólu.
- <u>Postup</u>
  - V původním (složitém) obvodu vybereme vhodným způsobem svorky A a B
    - tak aby bylo mělo smysl obvod před svorkami nahradit paralelní kombinací zdroje proudu (Nortonův náhradní proud) a odporu (Nortonův náhradní odpor)
  - Určíme Nortonův náhradní proud I_{Nor} jako proud nakrátko původního (složitého) aktivního dvojpólu
  - Určíme Nortonův náhradní odpor R_{Nor} jako vnitřní odpor původního (složitého) aktivního dvojpólu
  - Původní složitý obvod před svorkami AB nahradíme paralelní kombinací zdroje proudu I_{Nor} a odporu R_{Nor}

Akumulátory a baterie

<u>Princip:</u>

- <u>elektrochemické reakce</u> (→ vybíjení; ← nabíjení)
- reakce probíhající na záporné elektrodě:
  - $LiC_6 \rightleftarrows 6C + Li^+ + e^-$
- reakce probíhající na kladné elektrodě:
  - $CoO_2 + Li^+ + e^- \rightleftarrows LiCoO_2$



Akumulátory a baterie

Veličiny

Označení	Jedn.	Název	Význam
C_n	Ah	Kapacita článku	(Jmenovitá) kapacita článku určená za stanov. podmínek a deklarovaná výrobcem
SOC	%	Stav nabití baterie	Aktuální stav nabití baterie. Podíl kapacity baterie, kterou lze v aktuálním stavu během jednoho definovaného vybíjení ještě využít k zaručené kapacitě
SOH	%	Stav zdraví baterie	Aktuální stav zdraví baterie. Podíl kapacity baterie, kterou lze během jednoho definovaného vybíjení z plného nabití využít k zaručené kapacitě (původní neopotřebené baterie).
R_i	mOhm	Vnitřní odpor baterie	Aktuální hodnota vnitřního odporu baterie (ohmický + polarizační odpor) - podíl změny napětí článku a odpovídající změny vybíjecího proudu
U_{max}	V	Konečné nabíjecí napětí	Napětí dosažené na konci nabíjecí fáze při stanoveném konstantním proudu (maximální napětí akumulátoru)
OCV	V	Napětí naprázdno	Aktuální napětí naprázdno baterie
U_n	V	Jmenovité napětí akumulátoru	Vhodná přibližná hodnota napětí používaná k označení nebo identifikaci článku
U_{min}	V	Konečné napětí	Stanovené napětí článku při kterém se ukončuje vybíjení (minimální napětí akumulátoru)
I_{Vmax}	xCA	Maximální vybíjecí proud	akumulátoru (článku)
I_{Nmax}	xCA	Maximální nabíjecí proud	akumulátoru (článku)

Akumulátory a baterie

Názvosloví:

- článek: základní funkční jednotka skládající se ze sestavy elektrod, elektrolytu, nádoby, pólových vývodů (terminálů) a obvykle separátorů, která je zdrojem elektrické energie, získávané přímou přeměnou chemické energie.
- baterie: jeden nebo více článků vybavených prvky nezbytnými pro použití, např. pouzdrem, pólovými vývody, značením a ochrannými prvky
- řazení článků
  - sériové: používá se nejčastěji, n článků v sérii: $U_{bat}=n.U_{cell}$, $C_{bat}=C_{cell}$
    - nutné použití balancovacích obvodů, protože napětí jednotlivých článků se může lišit, takže ačkoliv celá baterie je v povolených mezích napětí, jeden z článků může již být mimo meze a tím by se mohl zničit.
  - paralelní: n článků paralelně: $U_{bat}=U_{cell}$, $C_{bat}=n.C_{cell}$
    - problémy s nerovnoměrným rozdělením proudů mezi jednotlivé články způsobuje nerovnoměrné opotřebení.
  - sérioparalelní: kombinace sériového a paralelního řazení

Akumulátory a baterie

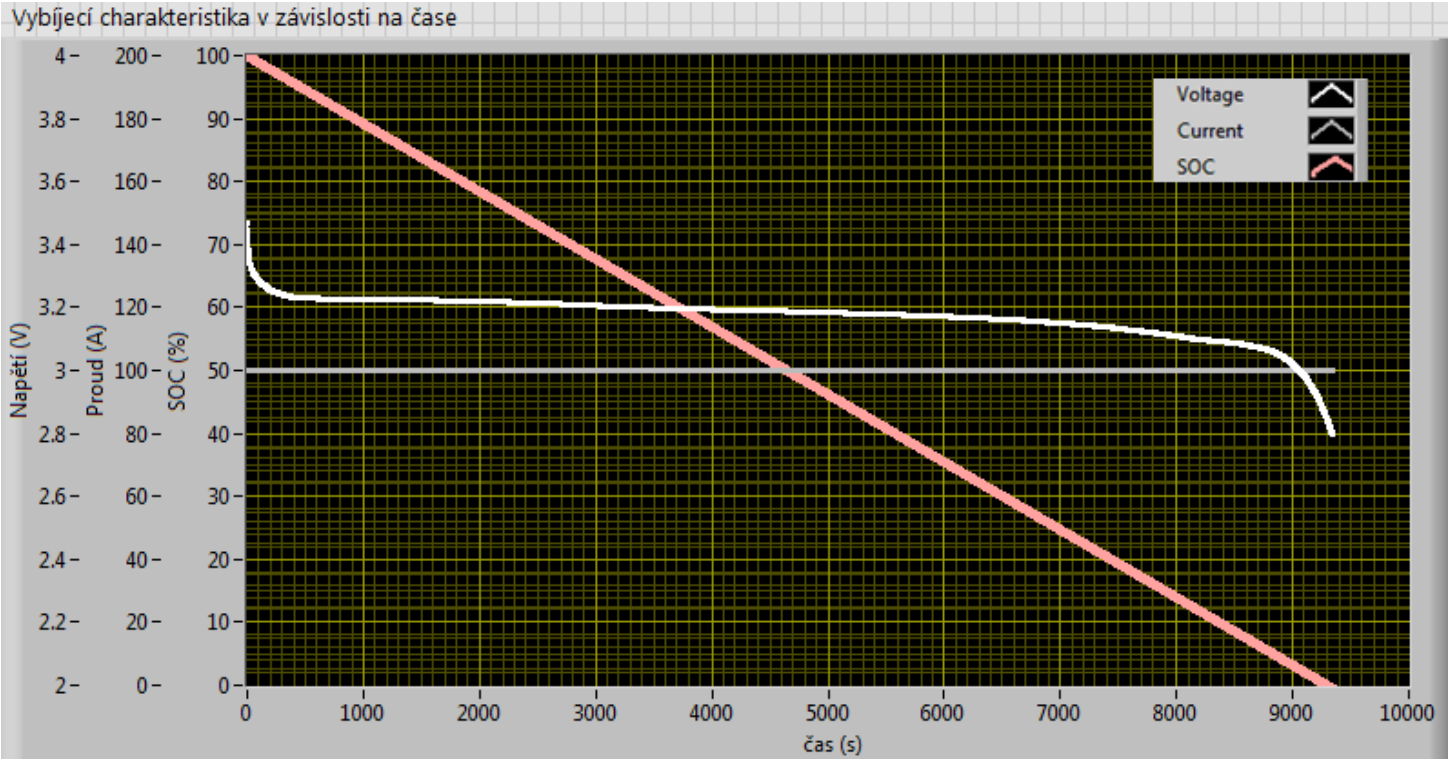
Orientační přehled druhů elektrochemických akumulátorů - údaje pro 1 článek

Technologie	U_n [V]	U_{max} [V]	U_{min} [V]	I_{Vmax} [xCA]	I_{Nmax} [xCA]	W_{spec} [Wh/kg]	P_{spec} [W/kg]	C_W [Kč/Wh]	C_P [Kč/W]	Cykly [1]	$C_{Opotř}$ [Kč/kWh]	η_W [%]
Olověné Pb	2	2.4	1.7	10	0.2	44	440	14	1.36	1500	9.09	70
Nikl kadmiové NiCd	1.2	1.5	0.94	1	1	9	9	104	104.17	2750	37.88	60
Nikl metal hydridové NiMH	1.2	1.6	1	3	1	89	267	38	12.50	2500	15.00	65
Lithium-ion LFP železo fosfátové $LiFePO_4$	3.2	3.65	2.8	3	2	97	291	8	2.68	1500	5.36	90
Lithium-ion NMC oxid niklu manganu a kobaltu $LiNiMnCoO_2$	3.6	4.2	3	2	1	160	321	19	9.41	500	37.63	90
Lithium-ion LTO titanátové $Li_4Ti_5O_{12}$	2.4	2.8	1.8	15	6	45	679	19	1.30	10000	1.94	90

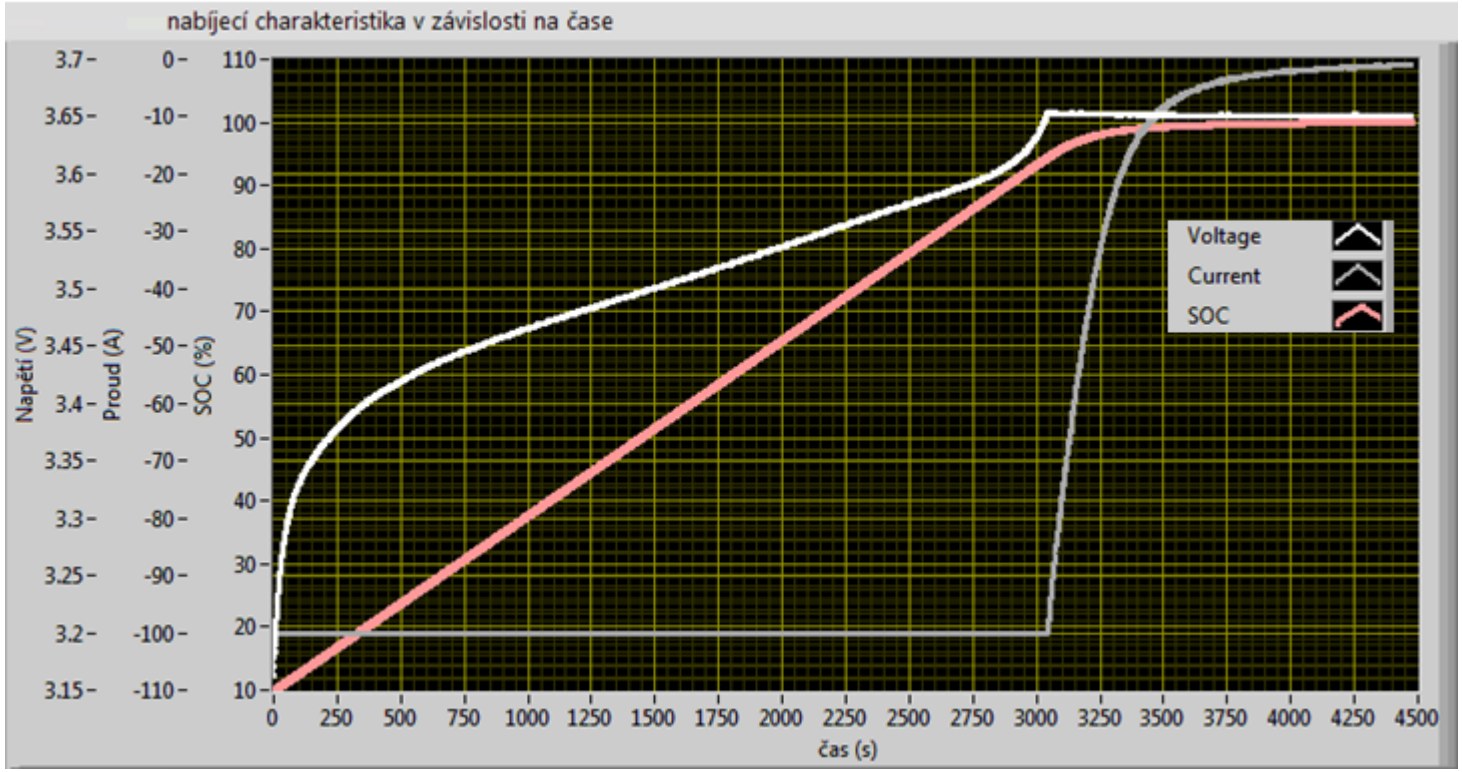
Akumulátory a baterie

Charakteristiky akumulátorů:

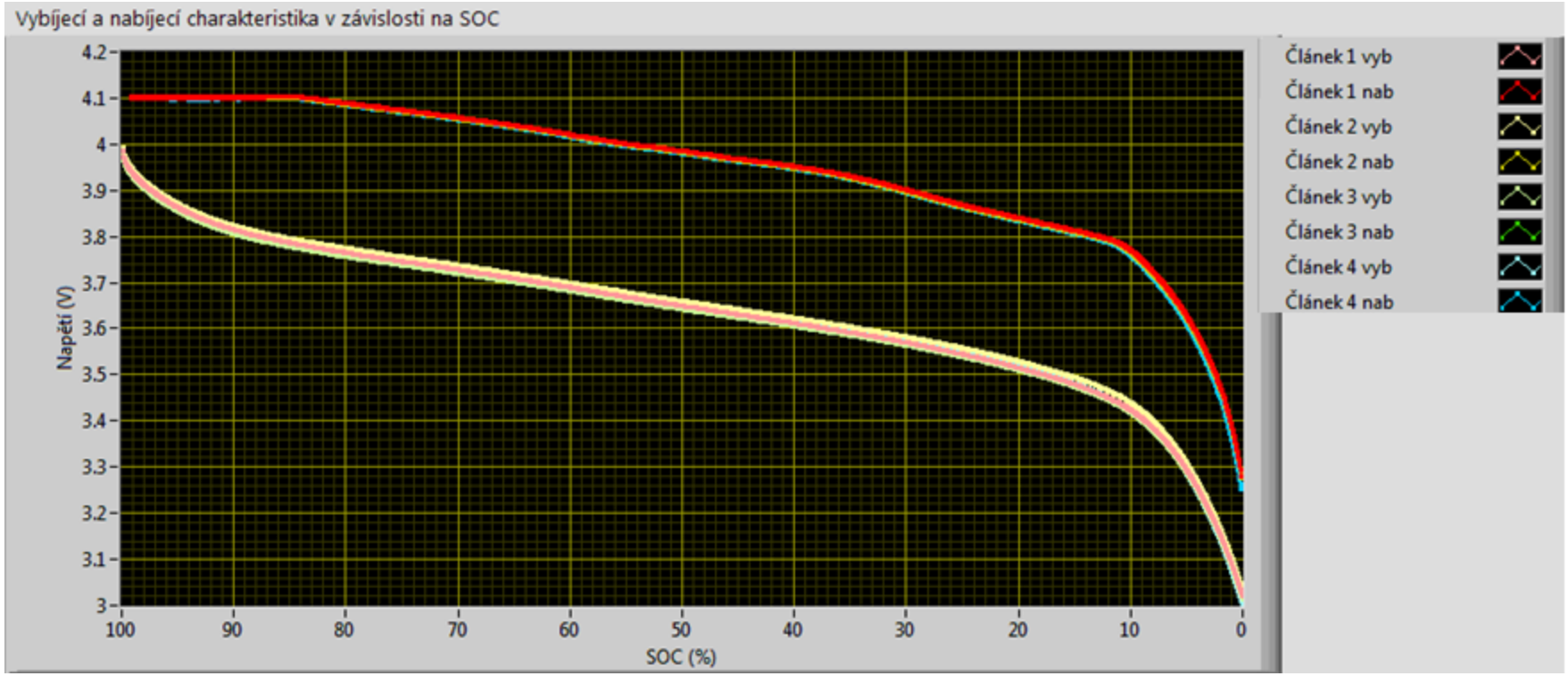
- Zatěžovací charakteristika: závislost svorkového napětí akumulátoru/baterie na odebíraném proud viz výše, ale jen do max. přípustného proudu!
- Vybíjecí resp. nabíjecí charakteristika: závislost svorkového napětí během vybíjení resp. nabíjení. Nezávislou proměnnou je obvykle stav nabití *SOC*, příp. čas.



Akumulátor $LiFePO_4$ 3.2V/250Ah, proud 0.4C



Akumulátor $LiFePO_4$ 3.2V/250Ah, proud 0.4C

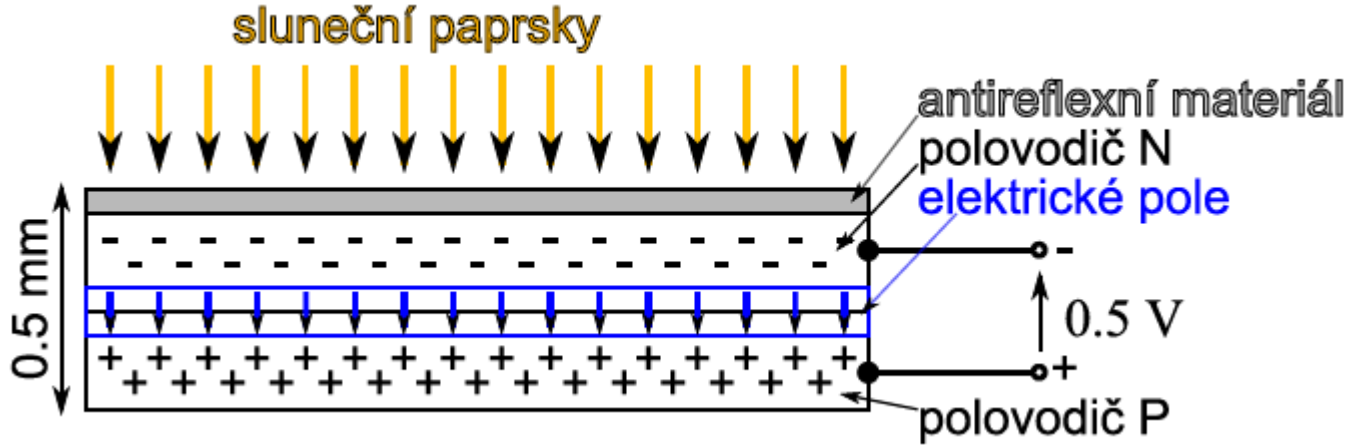


Část baterie z elektromobilu Nissan Leaf, 4x3.8V/60Ah proud 2.2C, technologie $LiMnO_2$ + $LiNiO_2$
Nabíjení pouze do 4.1 V (dalo by se nabíjet do 4.2 V)

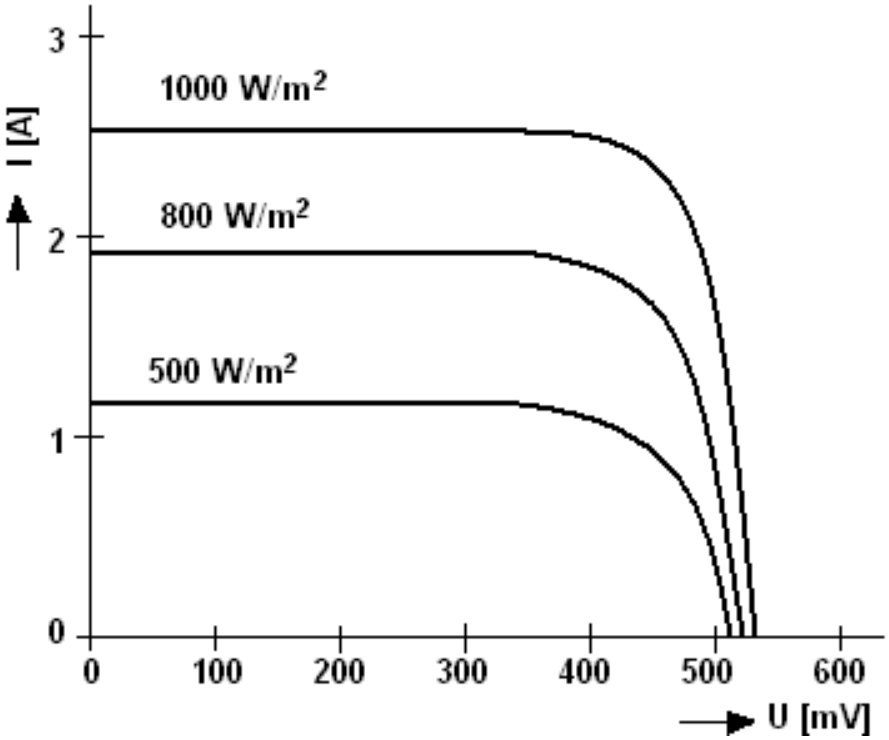
Fotovoltaické zdroje

Princip:

- fotoelektrický jev



Fotovoltaický článek je nejčastěji tvořen tenkou destičkou (0,5 mm) nařezanou z monokrystalu nebo polykrystalu křemíku. Každá strana destičky je obohacena atomy vhodných prvků tak, aby vznikl PN přechod, kde se vytvoří elektrické pole. Když na destičku dopadnou fotony, generují se páry volných nosičů náboje – elektrony a „díry“, jež jsou elektrickým polem přemístěny na příslušnou stranu destičky. Jeden m^2 dá při dopadajícím záření 1000 W/m^2 výkon až cca 200 W stejnosměrného proudu. Solární články můžeme zapojovat buď za sebou (sériově), abychom dosáhli potřebného napětí (na jednom článku je asi 0,5 V), nebo vedle sebe (paralelně), abychom získali větší proud.



Nelineární zatěžovací charakteristika fotovoltaického zdroje

Z charakteristiky vyplývá, že při dané velikosti intenzity záření je při narůstajícím napětí proud téměř konstantní. Po dosažení určité velikosti napětí prudce klesá proud. Pro dosažení maximálního výkonu je tedy zapotřebí udržovat takovou zátěž, která odpovídá pracovnímu bodu s maximálním součinem napětí a proudu.

Fotovoltaické panely

Parametry:

Označení	Jedn.	Název	Význam
P, P_{MPP}, P_{max}	Wp	Výkon panelu	Výkon, který dodává panel do vnějšího obvodu při dopadajícím záření 1000 W/m^2 v pracovním bodě maximálního výkonu. Jednotkou je „Watt peak“.
U_0, U_{OC}, OCV	V	Napětí naprázdno	Svorkové napětí rozpojeného panelu (bez připojeného vnějšího obvodu)
I_k, I_{SC}	A	Proud nakrátko	Proud zkratovaného panelu.
U_{MPP}, I_{MPP}	V, A	Napětí a proud v bodě maximálního výkonu	
η	-	Účinnost	Podíl dopadajícího slunečního záření a elektrického výkonu dodávaného panelem do vnějšího obvodu.
TC_{OCV}	%/°C	Teplotní koeficient U_0	Rozdíl od jmenovitých hodnot při teplotě 20 °C. Koeficient je záporný, např. -0,3 %/°C. Problém – při nízkých teplotách může být napětí panelu příliš vysoké!
TC_{ISC}	%/°C	Teplotní koeficient I_k	např. +0,05 %/°C
TC_{Pmax}	%/°C	Teplotní koeficient P_{max}	např. -0,4 %/°C

Fotovoltaické napájení

<u>Použití:</u>

- přímé použití FV zdroje
  - okamžitý výkon FV zdroje je dán okamžitou hodnotou dopadajícího záření
  - pro denní použití nutné předimenzování cca 10x kvůli zatažené obloze, stínům apod.
  - v noci, pod sněhem apod. nelze použít vůbec.
- FV zdroj se staniční baterií v ostrovním provozu
  - průměrná energie vyrobená za 1 den v létě je cca 10x vyšší než v zimě.
  - pokud je kryta spotřeba zařízení v zimě, v létě dochází k přebytkům
  - pokud je FV zdroj dimenzovaný na léto, v zimě nedokáže spotřebu pokrýt
- FV zdroj jako mikrozdroj – doplněk k existující síti 230 V, 50 Hz
  - aktuální nedostatky nebo přebytky kryje síť
  - není potřeba staniční baterie

Zdroje v praxi – jak vybrat zdroj?

- <u>Zařízení lze přímo připojit ke zdroji</u>
  - **síť AC 230 V, 50 Hz**: pro větší příkony hlídám jištění příslušného obvodu
  - **bateriový zdroj**: nutno znát napětí *U*, příkon *P* a dobu trvání provozu zařízení *t*.
    - Podle charakteru provozu vyberu vhodnou technologii akumulátoru, např.
      - vysoká hustota energie – Li-ion, lithium železo fosfát ($LiFePO_4$), lithium nikl mangan kobalt (NMC)
      - vysoká hustota výkonu – Li-oin, Li lithium titanátový ($Li_4Ti_5O_{12}$)
      - bezpečný provoz - lithium železo fosfát ($LiFePO_4$), HE3DA
      - provoz při nízkých teplotách – Niklokadmiové (NiCd)
    - Z příkonu a doby trvání provozu určím potřebnou energii *W*=*P*.*t*, popř. $W = \int_{t1}^{t2} p(t).\mathrm{d}t$
    - Pro danou technologii akumulátoru zvolím počet článků $n = \frac{U}{U_{\mathrm{cell}}}$
      - hlídám rozmezí napětí – musí souhlasit rozmezí napětí zařízení (zařízení funguje od do) a rozmezí napětí akumulátoru (během vybíjení se napětí mění od do)
    - Z energie a počtu článků určím potřebnou kapacitu jednoho článku $C = \frac{W}{n \cdot U_{\mathrm{cell}}}$
      - U_{cell} je střední (průměrná) hodnota napětí během vybíjení, obvykle stačí použít jmenovité napětí od výrobce.
    - Pro daný příkon určím maximální vybíjecí proud jako $I_{\max} = \frac{P}{n \cdot U_{\min}}$. Zkontroluji odebíraný proud z hlediska maximálního přípustného vybíjecího proudu (udává výrobce akumulátoru). Je-li potřebný proud vyšší, je nutné zvýšit kapacitu článků.

Zdroje v praxi – jak vybrat zdroj?

- <u>Zařízení nelze přímo připojit ke zdroji</u>

Mám k dispozici...	... ale potřebuji...	...tak musím použít	Odkaz např.	
Síť AC 230 V, 50Hz	zdroj stejnosměrného (DC) napětí U s proudovým odběrem I.	Síťový adaptér s výstupním napětím U a s výstupním proudem alespoň I.	https://www.conrad.cz/sitove-adaptery.c2110120	
Síť AC 230 V, 50Hz	jinou hodnotu AC napětí 50 Hz	Transformátor (nutno ošetřit bezpečnost)	https://www.gme.cz/transformatory	
Baterii (např. autobaterii 12V)	síť AC 230 V, 50Hz o výkonu alespoň P.	Měnič (střídač) 12V/230V o stálém zatížení výstupu alespoň P.	https://www.okay.cz/emos-n0031-menic-napeti-12v-230v-200w/	
DC napětí	jinou hodnotu DC napětí	DC/DC měnič. Výkonově omezeno.	https://www.tme.eu/cz/katalog/menice-dc-dc_100320/	

Literatura, odkazy

- Havlíček V., Pokorný M., Zemánek I.: Elektrické obvody 1, ČVUT 2005
- Leso M., Sadil J., Analýza a návrh aplikace akumulátorů pro elektromobil, časopis Elektro 6/2013.
- http://batteryuniversity.com/ (21.2.2017)
- http://www.nexeon.co.uk/technology-2/about-li-ion-batteries/ (21.2.2017)
- LTO: https://www.ev-power.eu/LTO-technology/Lithium-Titanate-Oxid-Battery-Cell-LTO-2-4V-30AH.html#tab3 (21.2.2017)
- LFP: https://www.ev-power.eu/Winston-40Ah-200Ah/WB-LYP100AHA-LiFeYPO4-3-2V-100Ah.html?cur=2
- https://www.ev-power.eu/Solar-Panels/?cur=2 (21.2.2017)