

MĚŘENÍ NA ELEKTROCHEMICKÉM AKUMULÁTORU

Jan Ezr, Robin Chocholoušek

Revize 2

Obsah

1 Zadání	3
1.1 Identifikace článků a jeho klíčových parametrů	3
1.2 Praktický příklad 1	3
1.3 Praktický příklad 2	4
1.4 Praktický příklad 3	5
1.5 Praktický příklad 4	5
1.6 Seznam použitých přístrojů a zařízení	5
2 Měření a zpracování dat	6
2.1 Identifikace článků a jeho klíčových parametrů	6
2.2 Vliv absence čtyřvodičové metody na měření	7
2.2.1 Nabíjení	7
2.2.2 Vybíjení	7
2.3 Přesnost měření a kalibrace přístroje	8
2.3.1 Nabíjení	8
2.3.2 Vybíjení	8
2.4 Ověření měrné hustoty energie (VED, GED)	8
2.5 Měření vnitřního odporu metodou ACIR a DCIR	9
3 Závěr	10
3.1 Identifikace článků a jeho klíčových parametrů	10
3.2 Vliv absence čtyřvodičové metody na měření	10
3.3 Přesnost měření a kalibrace přístroje	10
3.4 Ověření měrné hustoty energie (VED, GED)	10
3.5 Měření vnitřního odporu metodou ACIR a DCIR	10
Seznam literatury	12
Seznam tabulek	13
Historie revizí	14

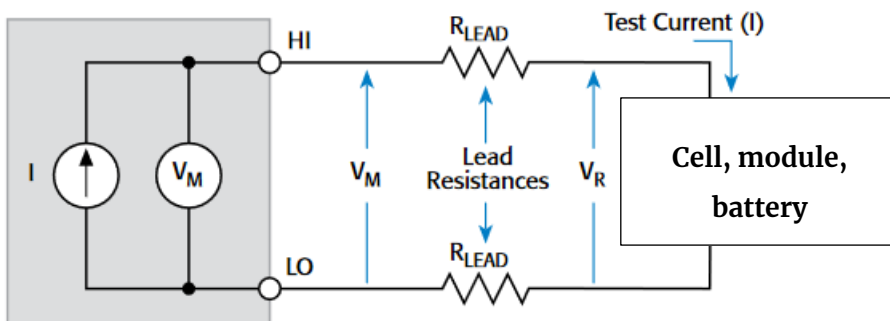
1 Zadání

1.1 Identifikace článků a jeho klíčových parametrů

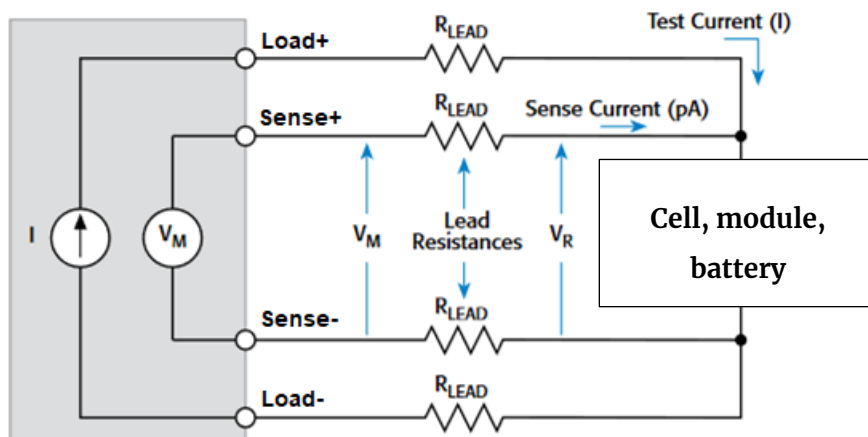
- Určete model vzorku článku z popisu na jeho obalu
- Pokuste se vyhledat dokumentaci k vašemu vzorku článku
- V datasheetu najděte napěťové limity pro nabíjení a vybíjení
- V datasheetu najděte předpis testu nominální kapacity
- V MSDS zkuste najít složení aktivního materiálu elektrod
- V UN38.3 reportu ověřte výsledek testů bezpečnosti
- Vyhodnocení:
- Jaké informace jsou obvykle uvedeny na pouzdře článku?
- Které bezpečnostní testy jsou předepsány dle UN38.3?

1.2 Praktický příklad 1

- Připojte tester EBC-A20 k softwarové aplikaci ZKETECH
- Připojte tester EBC-A20 k univerzálnímu 4W držáku cylindrických článků
- Změřte a zaznamenejte hodnoty napětí vždy pro 2W a 4W metodu
- Vyhodnocení:
- Zhodnoťte chybu měření při použití 2W metody a její důsledky



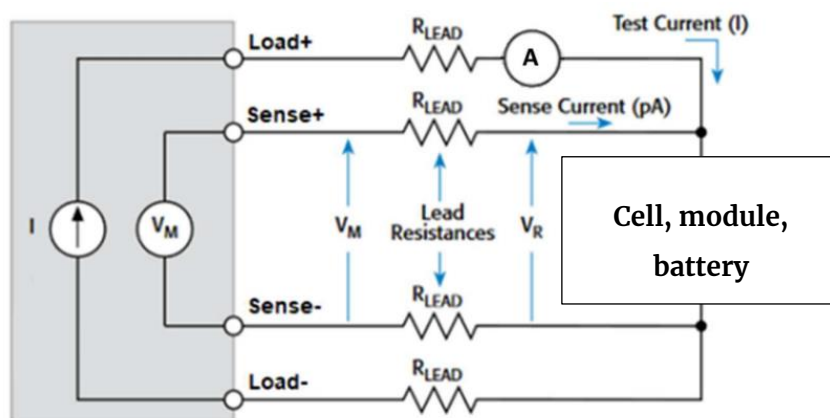
Obrázek 1: Schéma zapojení 2W metody



Obrázek 2: Schéma zapojení 4W metody

1.3 Praktický příklad 2

- Do zapojení z předchozí úlohy připojte „přesný“ ampérmetr do Load obvodu
- Změřte a zaznamenejte hodnoty proudu z aplikace a ampérmetru
- Vyhodnocení:
- Zhodnoťte přesnost měření přístroje EBC-A20 a jeho důsledky



Obrázek 3: Schéma zapojení 4W metody s ampérmetrem

1.4 Praktický příklad 3

- Změřte rozměry a hmotnost vašeho vzorku cylindrického článku
- Naprogramujte test nominální kapacity / energie článku v aplikaci ZKETECH
- Hodnoty nominální kapacity / energie vyčtete ze složky „Datasety vzorků“ na elearningu (obvykle 5. nebo 6. řádek CC Discharge)
- Vyhodnocení:
- Určete VED [Wh/l] a GED [Wh/kg] vašeho vzorku cylindrického článku
- Uvedte v protokolu předpis (tabulkou) testu nominální kapacity vzorku

1.5 Praktický příklad 4

- Změřte ACIR 1 kHz vzorku cylindrického článku předloženým ACIR metrem
- Naprogramujte test DCIR10s v aplikaci ZKETECH
- Hodnoty naměřené DCIR10s vyčtete ze složky „Datasety vzorků“ na elearningu (řádek DCIR_1 Discharge)
- Vyhodnocení:
- Určete hodnoty ACIR a DCIR10s
- Porovnejte zjištěné hodnoty s datasheetem

1.6 Seznam použitých přístrojů a zařízení

Tabulka 1: Seznam použitých přístrojů

Přístroj	Model
Elektrochemický článek	N21700CG-50 BAK A01
Ampérmetr	UNI-T UT71B
Posuvné měřítko	Carbon fiber composite Digital caliper
Váha	Kern EMB1200-1
Battery tester	EBC-A20
BATTERY FIXTURE	BF-2A
ACIR metr	RC3563

2 Měření a zpracování dat

2.1 Identifikace článků a jeho klíčových parametrů

- Formát: Cylindrický 21700
- Chemické složení: Lithium-iontová technologie – katoda typu NCM (nikl-kobalt-mangan-mangan), anoda z grafitu
- Jmenovitá kapacita: 5000 mAh
- Jmenovité napětí: 3,6 V
- Rozsah pracovního napětí: 2,5 V až 4,2 V

Testovací podmínky a standardy

Pro ověření elektrických parametrů se využívá následující standardizovaný nabíjecí a vybíjecí režim:

- **Nabíjení:** Konstantní proud 5,0 A (1C), přepnutí na konstantní napětí 4,2 V s odpojením při poklesu proudu pod 100 mA
- **Vybíjení:** Konstantní proud 15,0 A (3C) do napětí 2,5 V
- Teplota prostředí během testu: 25 ± 2 °C
- Doporučená doba odpočinku mezi cykly: minimálně 10 minut

Konstrukční a materiálové vlastnosti

- Anodový materiál: Uhlíkový grafit
- **Katodový materiál:** Sloučenina na bázi oxidu niklu, kobaltu a manganu (NCM)
- Maximální trvalý vybíjecí proud: 10 A
- Doporučený nabíjecí proud: 2,5 A
- Maximální nabíjecí proud (rychlé nabíjení): 5 A

Soulad s bezpečnostními normami

Článek je navržen pro splnění požadavků bezpečnostních zkoušek dle normy UN38.3 (potvrzení musí být doloženo odpovídající certifikací). Mezi typické testy této normy patří:

- Vibrace (Vibration)
- Mechanické poškození (Drop test, Crush test)
- Přetížení a nucené vybíjení (Overcharge, Forced Discharge)
- Tepelná zátěž (130°C hot oven)
- Simulace výškového letu (Altitude Simulation)

- Krátkodobé zkratky (External Short Circuit)

Informace typicky uváděné na označení článku

- Kód a typové označení článku
- Výrobce a výrobní šarže
- Rozměry a elektrické parametry
- Bezpečnostní symboly a označení
- Sériové číslo nebo QR kód pro sledovatelnost

2.2 Vliv absence čtyřvodičové metody na měření

Dvouvodičová metoda měření zahrnuje do výsledku nejen odpor měřeného prvku, ale i odpor přírodních vodičů a kontaktů. To vede k významné chybě, zejména při měření nízkých odporů v řádu miliohmů. Pro přesná měření nízkých odporů je čtyřvodičová metoda jednoznačně doporučovaná, protože eliminuje vliv vodičů a kontaktů.

2.2.1 Nabíjení

Tabulka 2: Napětí při nabíjení

I[A](C-CV)	0	0.1	0.5	1	5
U _{2w} [V]	3.536	3.544	3.548	3.638	3.987
U _{4w} [V]	3.536	3.536	3.543	3.579	3.755

2.2.2 Vybíjení

Tabulka 3: Napětí při vybíjení

I[A](D-CC)	0	0.1	0.5	1	5
U _{2w} [V]	3.514	3.507	3.491	3.463	3.242
U _{4w} [V]	3.514	3.514	3.507	3.499	3.253

Pozn.: Hodnota napětí měřeného čtyřvodičovou metodou, při proudu 5A není správná, z důvodu nepřepnutí přepínače na měřícím přístroji.

2.3 Přesnost měření a kalibrace přístroje

2.3.1 Nabíjení

Tabulka 4: Porovnání metod měření při nabíjení

I[A](C-CV)	0	0.1	0.5	1	5
I[A](aplikace)	0	0.1	0.5	1	5
Chyba zketetech [A]	0	±0.0105	±0.0125	±0.015	±0.035
I[A](ampérmetr)	0	0.106	0.507	1.007	5.015
Chyba amp [A]	0	±0.030742	±0.033549	±0.037049	±0.065105

2.3.2 Vybíjení

Tabulka 5: Porovnání metod měření při vybíjení

I[A](D-CC)	0	0.1	0.5	1	5
I[A](aplikace)	0	0.1	0.5	1	5
Chyba zketetech [A]	0	±0.0105	±0.0125	±0.015	±0.035
I[A](ampérmetr)	0	0.078	0.48	0.98	4.99
Chyba amp [A]	0	±0.030546	±0.03336	±0.03686	±0.06493

2.4 Ověření měrné hustoty energie (VED, GED)

Tabulka 6: Parametry elektrochemického článku

Veličina	Hodnota
Výška [mm]	70.5
Průměr [mm]	21.2
Váha [g]	68.2
E_{nom} [Wh]	17.55
VED [Wh/l]	705
GED [Wh/kg]	257

$$VED = \frac{E_{nom}}{v} \left[\frac{Wh}{l} \right] \quad GED = \frac{E_{nom}}{m} \left[\frac{Wh}{kg} \right]$$

2.5 Měření vnitřního odporu metodou ACIR a DCIR

Tabulka 7: OCV a ACIR 1kHz

Veličina	Hodnota
OCV [V]	3.54
ACIR 1kHz [mΩ]	12.89
Datasheet internal resistance [mΩ]	≤30

Tabulka 8: DCIR_{10s}

Veličina	Hodnota
U ₀ [V]	3.51
U _{10s} [V]	3.342
I _{load} [A]	2.5
DCIR _{10s} [mΩ]	67.2
Dataset DCIR[mΩ]	30.1625

$$DCIR_{10} = \frac{U_0 - U_{10s}}{I_{load}} [\Omega]$$

Pozn.: Test DCIR_{10s} nevyšel správně z důvodu nepřepnutí přepínače na měřícím přístroji ze dvouvodičového zapojení na čtyřvodičové zapojení. Hodnota napětí U_{10s} odpovídá dvouvodičovému zapojení.

3 Závěr

3.1 Identifikace článků a jeho klíčových parametrů

Na základě údajů z obalu a výrobní dokumentace byl testovaný článek identifikován jako N21700CG 50 od firmy Zhengzhou BAK Battery. Z datasheetu byly získány klíčové parametry – maximální napětí, nominální napětí, maximální nabíjecí a vybíjecí proud a metodika měření kapacity. V souladu s bezpečnostní dokumentací UN38.3 článek úspěšně prošel požadovanými testy.

3.2 Vliv absence čtyřvodičové metody na měření

Byl porovnán vliv 2W a 4W zapojení při měření napětí. 4W zapojení poskytlo přesnější výsledky díky eliminaci úbytku napětí na vodičích, zejména při vyšší zátěži. 2W zapojení vykazovalo větší odchylky.

Hodnota napětí měřeného čtyřvodičovou metodou, při proudu 5A nebyla správná, z důvodu nepřepnutí přepínače ze dvouvodičového zapojení na čtyřvodičové zapojení.

3.3 Přesnost měření a kalibrace přístroje

Přístroj EBC-A20 byl vyhodnocen jako dostatečně přesný pro běžné aplikace. Při nízkých proudech byly odchylky vyšší, ale při vyšších proudech byly rozdíly zanedbatelné.

3.4 Ověření měrné hustoty energie (VED, GED)

Z geometrických a hmotnostních dat článku byla spočítána objemová a hmotnostní energetická hustota.

3.5 Měření vnitřního odporu metodou ACIR a DCIR

Pomocí ACIR metru byla změřena impedance při 1 kHz: 12.89 mΩ. Z desetisekundového vybíjení byl následně vypočten DCIR10s = 67.2 mΩ.

Bohužel test $DCIR_{10s}$ nevyšel správně z důvodu nepřepnutí přepínače ze **dvouvodičového** zapojení na **čtyřvodičové** zapojení.

Seznam literatury

Specification For Lithium ion Rechargeable Cell. Online. Zhengzhou BAK Battery Co., 2021. Dostupné z: https://elearning.tul.cz/pluginfile.php/1125895/mod_folder/content/o/BAK%20N21700CG-50/BAK%20N21700CG-50_datasheet.pdf?forcedownload=1. [cit. 2025-04-16].

LITHIUM ION BATTERY SAFETY TESTING REPORT. Online. CVC, 2021. Dostupné z: https://elearning.tul.cz/pluginfile.php/1125895/mod_folder/content/o/BAK%20N21700CG-50/BAK%20N21700CG-50_UN38.3.pdf?forcedownload=1. [cit. 2025-04-16].

Seznam tabulek

<i>Tabulka 1: Seznam použitých přístrojů</i>	<i>5</i>
<i>Tabulka 2: Napětí při nabíjení</i>	<i>7</i>
<i>Tabulka 3: Napětí při vybíjení</i>	<i>7</i>
<i>Tabulka 4: Porovnání metod měření při nabíjení</i>	<i>8</i>
<i>Tabulka 5: Porovnání metod měření při vybíjení</i>	<i>8</i>
<i>Tabulka 6: Parametry elektrochemického článku</i>	<i>8</i>
<i>Tabulka 7: OCV a ACIR 1kHz</i>	<i>9</i>
<i>Tabulka 8: DCIR_{10s}</i>	<i>9</i>

Historie revizí

Tabulka 1: Historie revizí dokumentu

Revize	Datum	Popis změn	Autor
1	16.4.2025	Úvodní vydání	Jan Ezr
2	23.4.2025	Oprava	Jan Ezr