**Porovnání měření vnitřního odporu aku LiPol nabíječkou RAYTRONIC C14+ a metodou dle IEC/EN 61960**

 V modelářských obchodech a e-shopech se začaly objevovat univerzální nabíječky, které k nabíjení aku LiPol, LiPol HV, LiIon, NiCd, NiMh, LiFePO4 a Pb přidaly i speciální funkce. Mezi ně především patří měření vnitřního odporu celého aku, ale i jeho jednotlivých článků.

 Protože se mezi modeláři, ale i na modelářských fórech ozývají hlasy, že výsledky měření neodpovídají realitě, rozhodl jsem se ověřit pravdivost těchto zpráv měřením.

 K porovnání měřených hodnot Ri lithiových článků byla použita nabíječka RAYTRONIC C14+ a datový záznamník, snímající hodnoty po 0,1s. Chyba měření záznamníku je menší než 1%. Jako měřený objekt posloužil tříčlánek aku Hyperion VX G3 2600 mAh. Postup měření Ri se záznamníkem odpovídal metodice uvedené v čl. 7.6.2., normy IEC/EN 61960.

 Je obecně známé, že velikost vnitřního odporu lithiového aku je mj. závislá na jeho teplotě. Proto nabíjení aku, z

důvodu jeho nízkého zahřívání, bylo prováděno po krocích co nejbližších 0,3 V, proudem pouze 0,3 A. Jmenovité hodnoty Uo [V] uvedené v tabulce, byly lineárně interpolovány. Mezi nabíjením a odečty hodnot byla z důvodu ustálení napětí časová prodleva 10 minut.

 Původně jsem se chtěl vyhnout jakýmkoliv rovnicím, ale jen jedna zjištěná zajímavost:

Z rovnice pro výpočet Ri využili konstruktéři nabíječky RAYTRONIC C14+ (možná, že i jiných typů), jednu „chytrost“. Zatěžovací proud je konstantní cca 1 A, takže vnitřní odpor aku je potom pouze rozdíl mezi napětím naprázdno a napětím při zatížení – jak jednoduché, když se přemýšlí!

 Vnitřní odpor aku je dále závislý pouze na napětí naprázdno. Ověříme si to tak, že při stejném napětí naprázdno Uo [V] zatěžujeme (samozřejmě s přestávkami) aku různými proudy, ale vždy zjistíme, že výsledek měřeného Ri [mΩ] bude prakticky stejný.

 (napětí naprázdno) mínus (napětí při zatížení)

 vnitřní odpor =

 zatěžovací proud

Tabulka naměřených hodnot, spolu se zjištěným rozdílem v [mΩ]:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Uoaku[V] | **RAYTRONIC C14+** | **Měření dle IEC/EN 61960** | Teplo-ta okolí[°C] | Rozdíl [mΩ] meziRAYTRONIC C14+a měřením dle normy IEC |
| Ri1. čl.[mΩ] | Ri 2. čl.[mΩ] | Ri 3. čl.[mΩ] | Ø Ri článků [mΩ] | Ri celk.[mΩ] | Ri 1. čl.[mΩ] | Ri 2. čl.[mΩ] | Ri 3. čl.[mΩ] | Ri celk.[mΩ] |
| čl.č.1 | čl.č.2 | čl.č.3 |
| 9,0 | 107/69 | 38/33 | 34/29 | 88 | 35,5 | 31,5 | 155 | 133,6 | 38,1 | 30,0 | 193,5 | 22,7 | -38,5 |
| 9,3 | 24/24 | 20/19 | 20/20 | 24 | 19,5 | 20 | 63,5 | 26,5 | 21,9 | 20,6 | 86,2 | 22,4 | -22,7 |
| 9,6 | 15/15 | 15/14 | 15/15 | 15 | 14,5 | 15 | 44,5 | 16,5 | 14,1 | 13,7 | 44,3 | 22,4 | 0,2 |
| 9,9 | 14/9 | 9/14 | 9/12 | 11,5 | 11,5 | 10,5 | 33,5 | 12,8 | 12,4 | 10,1 | 35,3 | 22,6 | -1,8 |
| 10,2 | 9/11 | 10/10 | 10/15 | 10 | 10 | 12,5 | 32,5 | 13,0 | 10,3 | 8,1 | 31,4 | 22,9 | 0,9 |
| 10,5 | 10/11 | 10/10 | 10/12 | 10,5 | 10 | 11 | 31,5 | 11,1 | 9,9 | 9,1 | 30,1 | 23,1 | 1,4 |
| 10,8 | 8/9 | 9/8 | 10/9 | 8,5 | 8,5 | 9,5 | 26,5 | 10,9 | 8,2 | 7,7 | 26,8 | 23,1 | -0,3 |
| 11,1 | 8/9 | 8/6 | 7/6 | 8,5 | 7 | 6,5 | 22 | 9,4 | 7,9 | 7,9 | 25,2 | 22,5 | -3,2 |
| 11,4 | 8/6 | 9/5 | 7/7 | 7 | 7 | 7 | 21 | 8,2 | 7,5 | 7,9 | 23,6 | 22,3 | -2,6 |
| 11,7 | 6/6 | 10/5 | 10/8 | 6 | 7,5 | 9 | 22,5 | 9,2 | 6,4 | 7 | 22,6 | 22,6 | -0,1 |
| 12,0 | 5/7 | 5/7 | 8/5 | 6 | 6 | 6,5 | 18,5 | 6,9 | 6,0 | 7,3 | 20,2 | 22,9 | -1,7 |
| 12,3 | 8/5 | 10/10 | 10/8 | 6,5 | 10 | 9 | 25,5 | 6,9 | 6,9 | 6,9 | 20,7 | 20,7 | 4,8 |
| 12,6 | 10/10 | 10/10 | 8/10 | 10 | 10 | 9 | 29 | 7,7 | 7,6 | 6,9 | 22,2 | 21,9 | 6,8 |

kde: - **RAYTRONIC C14+**,sloupce Ri 1.čl. až Ri 3.čl. … hodnota Ri každého článku byla měřena 2krát (děl.lomítkem)

 - Ø Ri článků [mΩ] … průměr ze dvou měření každého článku

 Přestože jsou v barevně označených sloupcích měřeného Ri patrné rozdíly u jednoho a téhož článku, jejich zprůměrováním se dostáváme k „rozumnějším“ hodnotám. Nabíječka totiž pracuje s rozlišením napětí 1 mV, což odpovídá na rozsahu 20 V rozlišení 4 ½ místného multimetru s cenou přesahující cenu samotné nabíječky!

 Snadno si odvodíte, že **rozdíl napětí nezatíženého a zatíženého** **aku 1 mV odpovídá** (při zatěžovacím proudu

1 A) **1mΩ** !!! Tady je ten „zakopaný pes“, který způsobuje, že si modeláři stěžují na nereálné hodnoty a velký rozptyl měřených vnitřních odporů článků a tím i baterie. Od žádného měřidla nemůžeme chtít, aby měřenou hodnotu zobrazovalo opakovatelně a bez chyby.

 *Poznámka: Mám 4 ½ místný multimetr METEX (myslím si, že nadstandardní), jehož cena byla kolem 4 tis. Kč. Na stejnosm. rozsahu 20 V má chybu ± (0,05% + 3 dig). Při měřeném napětí 4 V je potom povolená chyba ± (2 + 3) =*

*5 mV, což je zároveň (při zatěžovacím proudu 1 A) i povolená hodnota měřeného Ri = ± 5 mΩ. V našem případě se (naštěstí) nejedná o tuto povolenou chybu, ale pouze o chybu linearity, která bude podstatně menší.*

 V rozdílu mezi oběma způsoby měření vybočují hodnoty při Uo = 12,3 a 12,6 V, kdy stoupá hodnota Ri, ačkoliv by měla dále klesat (viz čerchované čáry v grafu). Podotýkám, že se nejedná o chybu měření.

 *Poznámka: Této vlastnosti můžete využít při soutěžním létání, kdy (z nabitého aku na 4,20 V), nejprve na zemi necháte několik sekund běžet motor. Po poklesu napětí, klesne i Ri (viz graf), a tím dojde ke zvýšení proudu (příkonu) do motoru. Na tuto vlastnost jsem upozornil již v roce 2017 v článku Vnitřní odpor a C násobek aku GensAce 2600 mAh, C= 25, v průběhu vybíjení.*

 V poslední části nabíjení, tj. před dosažením jmenovitého napětí 4,20 V, přechází nabíječka z konstantního proudu (CC) na konstantní napětí (CV) a nabíjení ukončí cca při desetině nastaveného nabíjecího proudu. Aku tak není dostatečně nabitý a můžete pozorovat, že i napětí naprázdno bude po odpojení nabíječky mírně klesat. Podle stupně nabití můžeme očekávat, že hodnota Ri při 12,3 až 12,6 V se bude pohybovat v grafu někde mezi plnou a čerchovanou čarou. (Existují teorie, které rozšiřují možnosti, způsobující nedostatečné nabití aku – nebudeme rozvádět).

 Ještě zmíním další vlastnost lithiových aku, a tou je kromě vnitřního odporu, kapacitní složka (bez teoretického zdůvodnění), už tak budete číst článek dost dlouho. Jistě jste se s touto vlastností aku setkali, když jste na letišti během létání vyčerpali kapacitu aku, ale doma zjišťujete „zázračné“ zvýšení jeho napětí, jako kdyby aku čerpal energii právě z tohoto vnitřního kondenzátoru.

 Teď se konečně dostáváme ke grafu rozdílů Ri měřenými nabíječkou a metodou podle IEC/EN. V grafu nejsou uvedeny hodnoty Ri při 9,3 a 9,0 V, protože se tříčlánek aku LiPol v elektroletu tak hluboko nevybíjí.

Optimalizovaný průběh Ri

Nedokončené nabíjení aku

 Pokud se Vám bude chtít, nakreslete si na papír *přibližně* průběh červené křivky grafu (od 12,0 V do 12,6 V s čerchovanou čarou) a dále i s hodnotami strmě stoupajícími při 9,3 a 9,0 V. Graf nyní otočte o 180° a co vidíte? Samozřejmě, je to klasický průběh napětí, provázející kapacitní zkoušku aku ! Další důkaz toho, že Ri [mΩ] závisí pouze na napětí aku naprázdno.

 Závěr

 Podle výsledků tohoto měření je zřejmé, že přesnějších hodnot Ri bude možné dosáhnout až po zvýšení rozlišitelnosti (i přesnosti) měřeného napětí nabíječkou o jeden řád, tedy na 0,1 mV. Abyste zlepšili věrohodnost měřených hodnot Ri, tak měření provádějte v rozsahu napětí aku naprázdno mezi 9,9 až 12,0 V. Tato měření budou vhodná pro hodnocení změn Ri aku v čase a k jejich třídění.

 Nejlepší ale bude, nezabývat se těmito „prkotinami“, a chodit létat.

 Zbývá podotknout, že naměřené hodnoty platí ve dnech měření, na místě a za uvedených podmínek.

V Náchodě 16. 11. 2020

 Bobr

.