

Jussi Sihvo*, Joonas Leinonen, Tomi Roinila, Tuomas Messo

Jatkuva-aikaiset impedanssimittaukset osana älykkäitä akkujärjestelmiä

Avainsanat: Litium-ioni akku, Akun impedanssi, jatkuva-aikaiset mittaukset, älykkäät akkujärjestelmät, kuntotila, varaustila

***Vastaava kirjoittaja: Jussi Sihvo:** Tampere University of Technology, E-mail: jussi.sihvo@tuni.fi

Joonas Leinonen: Tampere University of Technology, E-mail: joona.leinonen@tuni.fi

Tomi Roinila: Tampere University of Technology, E-mail: tomi.roinila@tuni.fi

Tuomas Messo: Tampere University of Technology, E-mail: tuomas.messo@tuni.fi

Laajennettu Tiivistelmä

Li-ion akkuja hyödyntävien sovellusten, kuten esimerkiksi sähköisen liikenteen ja uusiutuvan energian, määrä on merkittävästi kasvanut viimeisten vuosien aikana. On arvioitu, että akkujen globaalit markkinat ylittävät 100 miljardia euroa vuoteen 2030 mennessä [1]. Tämä on asettanut haasteen kiertotaloudelle, sillä noin 95% akuista päätyy jätteeksi kierrättämisen sijaan. Tutkimukset ovat kuitenkin osoittaneet, että jopa 95% li-ion akuista olisi mahdollisuus uusiokäyttää osittain tai kokonaan [2].

Li-ion akut tarvitsevat toimiakseen akun valvontajärjestelmän (battery-management-system (BMS)), joka mahdollistaa akun turvallisen, sekä optimaalisen käytön. Akun tilaa indikoidaan akun valvontajärjestelmässä akun tilaparametrien, kuten varaustilan (state-of-charge (SOC)) ja kuntotilan (state-of-health (SOH)) avulla. Varaustila kertoo, kuinka paljon akussa on varausta jäljellä ja kuinka paljon akku pystyy toimittamaan energiaa [3]. Akun kuntotila taas indikoi akun jäljellä olevaa käyttökapasiteettia, sekä akun kykyä toimia sen nykyisessä sovelluksessa [4]. Parametrien tarkka määrittäminen on kuitenkin haasteellista, sillä SOC ja SOH riippuvat myös akussa vallitsevista olosuhteista, kuten lämpötilasta ja akun sisällä tapahtuvista kemiallisista reaktioista [5]. Lisäksi kyseiset parametrit täytyy määrittää epäsuorasti akun jännite-, virta- ja lämpötilamittauksin [6]. Erityisesti

akun kuntotilan monitorointi on haasteellista, sillä akun kunto riippuu myös nykyisen kapasiteetin lisäksi hyvin paljon siitä, kuinka ja missä olosuhteissa akkua on aiemmin käytetty ja kuinka kapasiteetti on laskenut. Luotettavaan kuntotilan monitorointiin tarvitaan läpi akun eliniän kestävää monitorointia, jotta vikaantuneet kennot voidaan havaita ennen kuin niiden kunto on laskenut liikaa [7].

Akun kapasiteetti voidaan mitata purkamalla akku täydestä tyhjäksi ja laskea akusta purettu varauksen määrä. Kyseinen menetelmä kuitenkin vie hyvin paljon aikaa ja kuluttaa akkua turhaan eikä näin ollen sovellu akun kuntotilan mittauksiin. Tutkimukset ovat kuitenkin osoittaneet, että Li-ion akun sisäinen impedanssi vaihtelee paitsi akun kapasiteetin ja kuntotilan, myös varaustilan funktiona [3-8]. Akun impedanssin mittaus tarjoaa siis vaihtoehdoisen tavan määrittää akun kunto- ja varaustila. Akun impedanssi voidaan mitata elektrokemiallisen impedanssi-spektroskopian (EIS) avulla. EIS-menetelmässä akkua puretaan/ladataan sinimuotoisella virta-herätteellä, jonka tuottama jännitevaste mitataan jännitesensoreilla. Menetelmällä voidaan impedanssi mitata tarkasti ja luotettavasti, mutta tekniikka on huonosti sovellettavissa käytännön sovelluksiin sen hitauden ja kompleksisuuden takia.

Tässä työssä hyödynnetään laajakaistaista, pseudo-satunnaista binääristä herätesignaalia (PRBS) sekä Fourier-tekniikoita akun impedanssin mittauksiin [11]. Menetelmässä akkua herätetään (ladataan/puretaan) pieniamplitudisella, kaksitasoisella herätesyklillä, jonka avulla akun impedanssi voidaan mitata useilla eri taajuuksilla samanaikaisesti. Näin mittaukset voidaan suorittaa vain murto-osalla ajasta joka kuluisi perinteisiin EIS-menetelmän mittauksiin. Nopeutensa ansiosta PRBS-menetelmää voi käyttää jatkuva-aikaisiin sovelluksiin, joita ovat esimerkiksi akun impedanssin muutosten hyödyntäminen akun varaustilan ja kuntotilan estimointiin. Lisäksi, menetelmä vaatii ainoastaan kaksi eri signaalitasoa, mikä mahdollistaa menetelmän yksinkertaisen ja edullisen toteutuksen esimerkiksi jo akkujärjestelmässä olemassa olevan akun balansointipiirin yhteyteen. Tässä artikkelissa menetelmästä julkaistut tulokset pohjautuu julkaisuissa [9-10] esiteltyihin tuloksiin ja teoriaan.

Lähteet

- [1] J. S. John, "Global energy storage to double 6 times by 2030, matching solars spectacular rise," Bloomberg New Energy Finance (report), 2017.
- [2] S. King, N. Boxall, and A. Bhatt, "Lithium battery recycling in Australia - Current status and opportunities for developing a new industry," CSIRO, 2018.
- [3] J. Rivera-Barrera, N. Munoz-Galeano, and H. Sarmiento-Maldonado, "SoC Estimation for Lithium-ion Batteries: Review and Future Challenges," *Electronics*, vol. 6, no. 4, p. 102, 2017.
- [4] D. I. Stroe, M. Swierczynski, S. K. Kær, and R. Teodorescu, "Degradation Behavior of Lithium-Ion Batteries During Calendar Ageing - The Case of the Internal Resistance Increase," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 54, no. 1, pp. 517–525, 2018.
- [5] J. Vetter, P. Nov, M. R. Wagner, and C. Veit, "Ageing mechanisms in lithium-ion batteries," *Journal of Power Sources*, vol. 147, pp. 269–281, 2005.
- [6] P. Weicker, *A system Approach to Lithium-ion Battery management*. Artech House, 2013, no. 2013.
- [7] M. Bercibar, I. Gandiaga, I. Villarreal, N. Omar, J. Van Mierlo, and P. Van den Bossche, "Critical review of state of health estimation methods of Li-ion batteries for real applications," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 56, pp. 572–587, apr 2016.
- [8] A. Zenati, P. Desprez, and H. Razik, "Estimation of the SOC and the SOH of Li-ion batteries, by combining impedance measurements with the fuzzy logic inference," *IECON Proceedings Industrial Electronics Conference*, pp. 1773–1778, 2010.
- [9] J. Sihvo, T. Messo, T. Roinila, and R. Luhtala, "Online internal impedance measurements of li-ion battery using prbs broadband excitation and fourier techniques: Methods and injection design," in *2018 International Power Electronics Conference (IPEC-Niigata 2018 -ECCE Asia)*, May 2018, pp. 2470–2475.
- [10] J. Sihvo, T. Messo, T. Roinila, and D. I. Stroe, "Online identification of internal impedance of Li-ion battery cell using ternary-sequence injection," in *Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, 2018 IEEE, 2018, pp. 1–7.
- [11] K. Godfrey, *Perturbation Signals for System Identification*. Prentice Hall, 1994.
- [12] R. Al Nazer, V. Cattin, P. Granjon, M. Montaru, M. Ranieri, and V. Heiries, "Classical EIS and square pattern signals comparison based on a well-known reference impedance," *World Electric Vehicle Journal*, vol. 6, no. 3, pp. 800–806, 2013.
- [13] A. J. Fairweather, M. P. Foster, and D. A. Stone, "Battery parameter identification with Pseudo Random Binary Sequence excitation (PRBS)," *Journal of Power Sources*, vol. 196, no. 22, pp. 9398–9406, 2011.
- [14] P. Manganiello, G. Petrone, M. Giannattasio, E. Monmasson, and G. Spagnuolo, "FPGA implementation of the EIS technique for the on-line diagnosis of fuel-cell systems," *IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, 2017.