

Teljesítményelektronika

Akkumulátorok



Akkumulátorok jellemző tulajdonságai

- Az akkumulátorok (szekunder elemek) kémiai energiát alakítanak elektromos energiává (és vissza). Ez a folyamat többször is megismételhető (szemben a szárazelemekkel (primer elemek)).
- Alaptulajdonságok, jellemzők:
 - **Cellák, modulok és csomagok:** A villamos járművekben általában úgynevezett akkumulátor csomagokról beszélünk, melyek ma már több száz voltos kapocsfeszültséget is elérnek. Ennek legkisebb formája a cella. Az elemi cellákat valamely logika szerint (sorban vagy párhuzamosan) kapcsolják.
 - **C mennyiség:** A kisütési áramot gyakran C-vel jelölik. Mivel sok eltérő akkumulátor létezik, így tudják normalizálni ezt a jellemzőt. A C mennyiség azt mutatja meg, hogy az akkumulátor maximális kapacitásról minimálisra mennyi idő alatt merül le. 1C tehát azt a terhelőáram nagyságot jelenti, ami egy óra alatt az akkumulátort teljesen lemeríti. Példának vegyünk egy 100Ah-s akkumulátort.

C érték	I [A]
1C	100A
5C	500A
0,5C	50A

Akkumulátorok állapotjelzői

- **State of Charge – SOC [%]**: Az aktuális töltöttség viszonyszáma a maximális töltöttséghez képest.
- **Depth of Discharge – DOD [%]** – A maximális kapacitáshoz mért merülési arányt mutatja meg. A maximális érték általában 80%.
- **Kapocsfeszültség [V]** – Az akkumulátor kivezetésein mérhető feszültség (terhelt állapotban). Ez a feszültség az SOC és a töltő/kisütő áram függvényében változik.
- **Terheletlen kapocsfeszültség [V]**: Terhelés nélkül mért kapocsfeszültség.
- **Belső ellenállás [Ω]**: Az akkumulátor belső (veszteségi) ellenállása. Értéke a töltés/kisütés során, illetve a hőmérséklettől nagyban függ. Amennyiben növekszik, az akkumulátor hatékonysága csökken.

Akkumulátorok technikai jellemzői (katalógusadatok)

1. **Névleges feszültség [V]:** A cella „normális” névleges feszültségét jelenti.
2. **Határfeszültség [V]:** Az akkumulátor cella kapcsain mérhető minimális feszültség, lemerült állapotban.
3. **Kapacitás [Ah; mAh]:** Az akkumulátormaximális kapacitása. Ha teljesen feltöltjük és a katalógusban megadott C kisütőárammal terheljük, az akkumulátor a határfeszültségig merül. Nagyobb akkumulátorok esetén Ah-ban, kisebb akkumulátorok esetén mAh-ban van megadva ($1\text{Ah}=1000\text{mAh}$).
4. **Energia [kWh]:** Hasonló mérőszám, mint a kapacitás. Teljes töltöttség estén a névleges kisütőárammal terheljük addig, amíg el nem éri a határfeszültséget. Úgy számítható, hogy a kisütési teljesítményt megszorozzuk a kisütés idejével.

Akkumulátorok technikai jellemzői (katalógusadatok)

6. **Ciklus élettartam:** Azt mutatja meg, hogy egy adott akkumulátor hány töltés/kisütés ciklust bír ki (normál körülmények között). Függ a töltés/kisütés jellegétől, a hőmérséklettől és a páratartalomtól. Gyakran jelleggörbével is megadják.
7. **Maximális töltőáram [A]:** Az a maximális töltőáram, melyet az akkumulátor károsodás nélkül elvisel. Folytonos és impulzusszerű értékét is megadhatják. Általában az akkumulátor 70-80%-ig.
8. **Maximális kisütő áram [A]:** Az a maximális kisütő áram, mellyel az akkumulátort terhelni szabad. Ezt nem célszerű túllépni, mivel az akkumulátor öregedéséhez vagy tönkremeneteléhez vezet.
9. **Ideiglenes kisütő áram [A]:** Rövid ideig alkalmazható kisütő áram, mely a maximális kisütőáramnál nagyobb. Pl.: Motor gyorsítás esetén, mely rövid ideig tart.

Akkumulátorok technikai jellemzői (katalógusadatok)

- 10. Energiasűrűség [W/kg]:** Egységnyi kilogrammra vonatkoztatott névleges energia. Minél nagyobb ez az érték, annál hatékonyabb az akkumulátor.
- 11. Gravimetrikus energiasűrűség [Wh/kg]:** A akkumulátor névleges energiasűrűsége egységnyi tömegre vonatkoztatva
- 12. Térfogati energiasűrűség [Wh/l]:** Névleges akkumulátor energia egységnyi térfogatra vonatkoztatva.
- 13. Maximális töltőfeszültség [V]:** A katalógus által specializált töltőfeszültség. Célszerű nem túllépni (egy cellára vonatkoztatva).
- 14. Belső ellenállás [Ω]:** Ez egy jellemzően m Ω nagyságrendű ellenállás, mely töltés/ kisütés illetve hőmérséklet függő. Amennyiben növekszik, az akkumulátor hatékonysága csökken. Az akkumulátor öregedésével általában ez az érték növekszik.

Járműhajtásban használt akkumulátorok

- A leggyakrabban alkalmazott akkumulátor típusok:
 - Nikkel – kadmium (Ni-Cd)
 - Nickel-metál-hidrid (Ni-MH)
 - Lítium-ion (Li-ion)

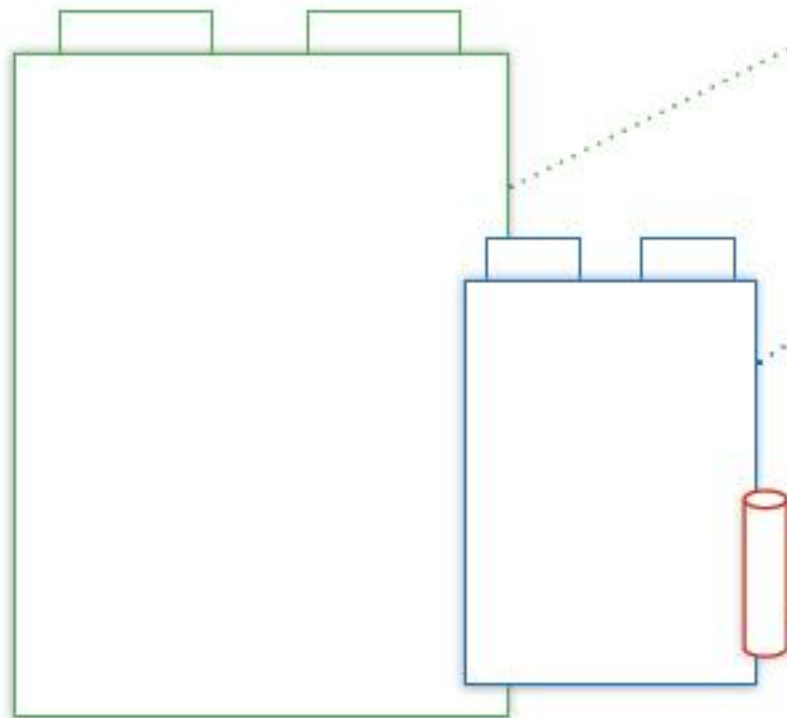
Jármű/model	Akkumulátor
Tesla Model S	70kWh és 90kWh. Li-ion (NCA) cellák (5375 illetve 7104 db). Max. hatótáv 424km. Folyadékhűtésű. Súly: 540kg.
Nissan Leaf	30kWh. Li-ion (NMC) cellák. Max. hatótáv 250km. Léghűtéses. Súly: 272kg.



Fizikai kivitel

Approximate Cell Size of Popular Plug-In Vehicles

(1st production models)



- **Nissan LEAF (2011)**

Approximate Cell Size:

290 mm x 216 mm x 7.1 mm

(192 cells per pack, 24 kWh total)

- **Chevrolet Volt (2011)**

Approximate Cell Size:

177 mm x 127 mm x 6.3 mm

(288 cells per pack, 16 kWh total)

- **Tesla Model S (2012)**

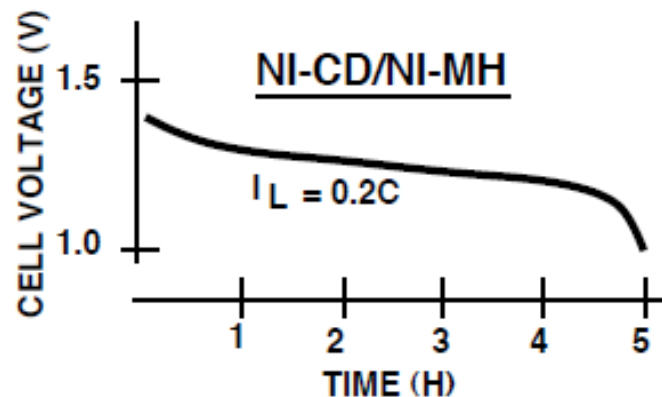
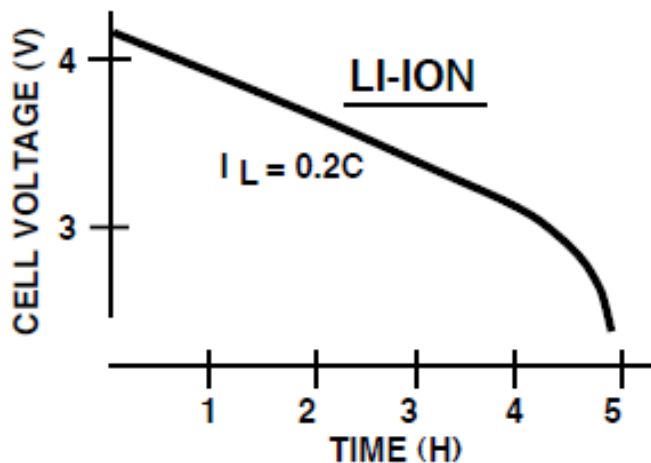
Approximate Cell Size:

65 mm long x 18.6 mm dia

(7,104 cells per pack, 85 kWh total)

Összehasonlítás (energiasűrűség, cellafeszültség)

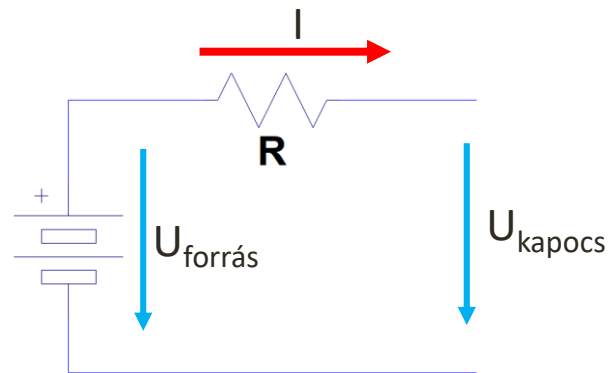
Tulajdonság/Cella típus	NI-MH	NI-CD	Li-ion
Gravimetrikus energiasűrűség [Wh/kg]	55	50	90
Térfogati energiasűrűség [Wh/l]	180	150	210



Akkumulátorok csúcsárama

Csúcsáram [A]: Az akkumulátorok csúcsárama szoros összefüggésben van belső ellenállás értékével. A terhelő áram átfolyik a belső ellenálláson, csökkentve ezzel az akkumulátor kapocsfeszültségét ($U = RI$).

A veszteség viszont az áramerősség négyzetes értékével egyenlő ($P_l = I^2 R$). A Ni-cd és a Ni-MH akkumulátorok tipikusan alacsony ESR értékkel rendelkeznek, így az ESR nem korlátozza a csúcsáram értékét, a Li-ion esetén ez az érték valamivel magasabb, de a legtöbb alkalmazásban ez nem jelent problémát. Nagy áramot általában csak kis ideig képesek produkálni.



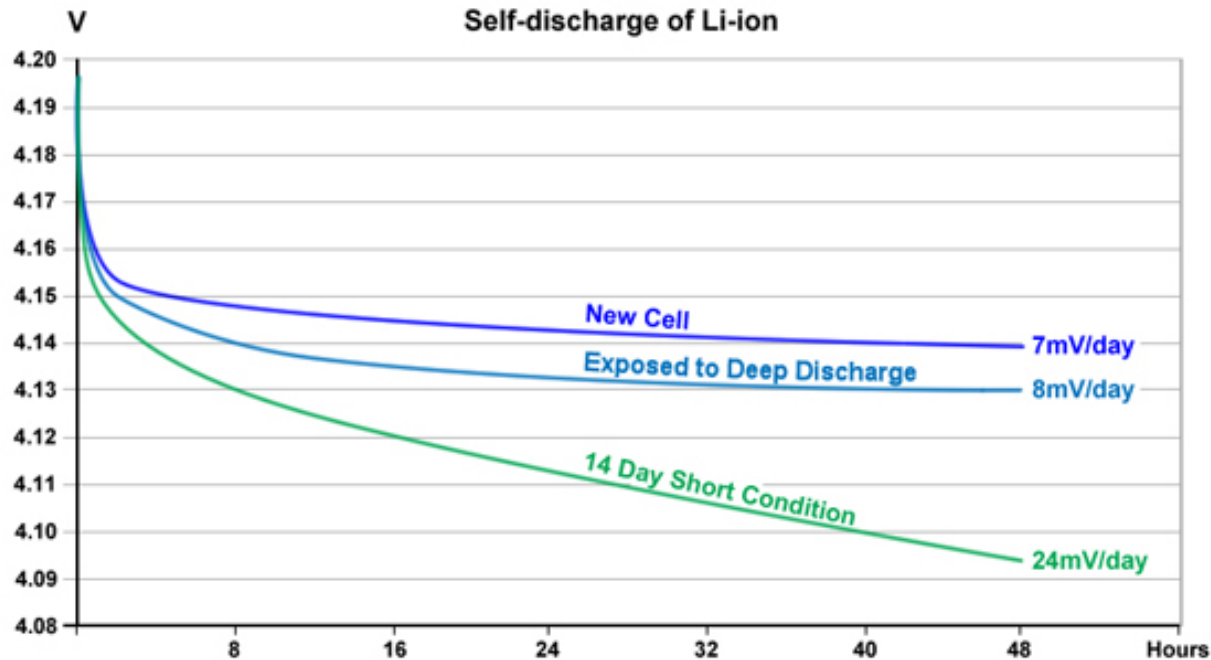
Önkisülés

- Ez egy minden akkumulátorban lejátszódó folyamat, nem gyártási hiba
- Aszimptotikus jellegű: Közvetlen feltöltés után a legnagyobb, majd megszűnik.
- Függ a hőmérséklettől, minél nagyobb a hőmérséklet, annál nagyobb az önkisülés
- Függ továbbá a cella aktuális állapotától (új celláról beszélünk, vagy egy használtról)
- Az önkisülési karakterisztika általában két nagyobb intervallumra bontható:
 - A feltöltést követő 24 óra
 - Azt követő időszak (havi bontásban)
- A kisütési karakterisztika nem lineáris



	NI-MH	NICD	Li-ion
Önkisülés @20°C-on [%/hónap]	20 – 30	15 – 20	5 - 10

Önkisülés (Li-ion)



SOC	0°C	25°C	60°C
Teljesen feltöltve	6%	20%	35%
40 – 60% töltöttség	2%	4%	15%

Feltöltési körülmények

- A töltés a kisütés inverz művelete, amikoris elektromos energiát alakítunk át kémiai energiává
- Időtartam tekintetében megkülönböztetünk
 - **Normál (lassú) töltést:** Ez a mindenkori „normál” töltés, mely általában több időt vesz igénybe. Ebben az esetben semmilyen védelmi, vagy felügyeleti eszközre/áramkörre nincs szükség.
 - **Gyorstöltést:** Ez általában a töredéke a lassú töltésnek. Összetettebb töltőáramkört igényel (feszültség, hőmérséklet stb. monitorozása). A töltő költségei nőnek, de cserébe a töltési idő csökken.
- Az egyes típusuk töltési mechanizmusa más és más

Töltés jellege	NI_MH	NI-CD	Li-ion
Lassú töltés [óra]	12 - 36	4 - 10	3
Gyorstöltés [óra]	1	0,25 - 1	1,5

Működési hőmérséklet

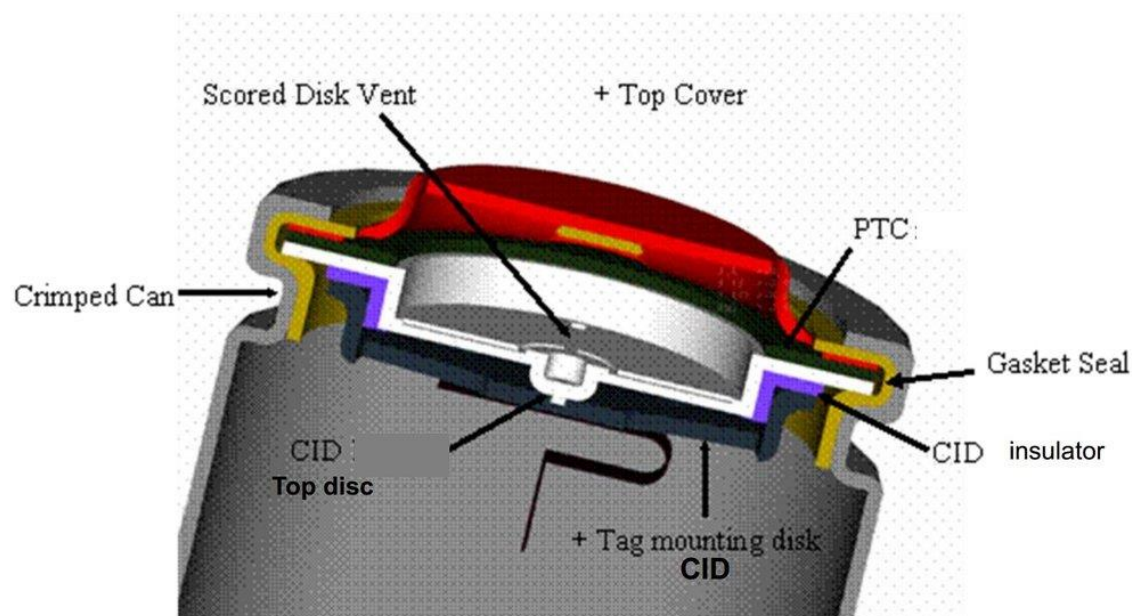
- Az akkumulátorok esetén ez egy rendkívül fontos paraméter (üzemben és tárolás során is).
- Ni-Cd, Ni-MH akkumulátorok
 - Tipikus hőmérsékleti tartományunk 0-50°C
 - Ideális kisütési hőmérsékletük 25°C körül található, ettől eltérő esetben
 - Magasabb hőmérsékleten (40°C-t meghaladó) a töltés elveszíti a hatékonyságát, a cella névleges energiájának 2-300%-át kell beletölteni, mielőtt teljesen feltöltődne
- Li-ion akkumulátorok
 - A tipikus töltés alatti hőmérsékleti tartományuk 0-45°C
 - Kisütés során ez -20 – 60°C
 - Nincs tipikus veszteségük magasabb hőmérsékleten
 - A 20°C-os kapacitásukhoz képest 0°C-on kapacitásuk 90%-át, -20°C-on a 70%-át képesek produkálni

Megbízhatóság

- A Li-ion akkumulátorok esetleges üzemzavar esetén nagyon intenzíven ég, vízzel sem oltható (a víz ebben az esetben csak katalizálja az égést). Kb. 2-5 mp-ig intenzív szúrólánggal ég, majd ezután a tokozás 15-30mp alatt kiég (akku méretétől függően).
- A Li olvadáspontja alacsony (180°C), így bárminemű rövidzár esetén akár meg is olvadhat (összehasonlítva egy NI-MH akkumulátorban a nikkel 1455°C -on olvad meg), így elveszítve mechanikai stabilitását (gyulladás, robbanás).
- A töltési végfeszültséget illik pontosan betartani, mely általában egy nagyon kis feszültségingadozást enged meg (kb. 50mV). Ezt csak nagyon stabil referencia esetén érhetjük el.
- Hamisítás: Mivel a Li alapú akkumulátorok rendkívül népszerűek, egyben ez is hátrányuk. A gyenge hamisítványok gyakran nem teljesítik a technikai követelményeket, veszélyt idézve ezzel elő.

Védelmek a gyakorlatban

- A hengeres cellakialakításnak nem csak védelmi hanem biztonsági szerepe is van. Túlzott gázképződés esetén egy mechanikus kupak (CUD – Current Interrupt Device) megszakítja az áramot a cella belsejébe
- További védelem a belső PTC (pozitív tékájú ellenállás), mely esetleges túláram esetén szintén szakadást idéz elő



LIR18650 Li-ion akkumulátor (katalógus paraméterek)

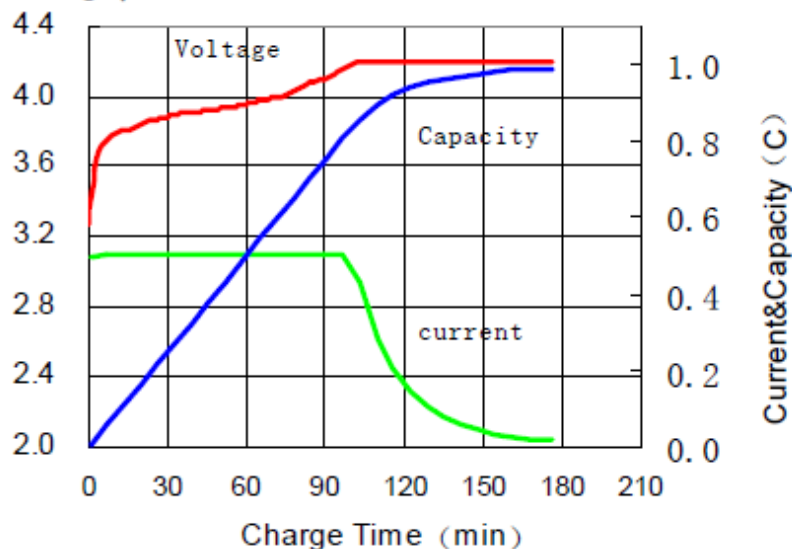
3. →	5.1 Capacity ($25\pm5^{\circ}\text{C}$)	Nominal Capacity: 2600mAh (0.52A Discharge, 2.75V) Typical Capacity: 2550mAh (0.52A Discharge, 2.75V) Minimum Capacity: 2500mAh (0.52A Discharge, 2.75V)
1. →	5.2 Nominal Voltage	3.7V
	5.3 Internal Impedance	$\leq 70\text{m}\Omega$
2. →	5.4 Discharge Cut-off Voltage	3.0V
11. →	5.5 Max Charge Voltage	$4.20\pm0.05\text{V}$
7. →	5.6 Standard Charge Current	0.52A
	5.7 Rapid Charge Current	1.3A
8. →	5.8 Standard Discharge Current	0.52A
9. →	5.9 Rapid Discharge Current	1.3A
	5.10 Max Pulse Discharge Current	2.6A
	5.11 Weight	$46.5\pm1\text{g}$
	5.12 Max. Dimension	Diameter($\varnothing$): 18.4mm Height (H): 65.2mm
	5.13 Operating Temperature	Charge: $0 \sim 45^{\circ}\text{C}$ Discharge: $-20 \sim 60^{\circ}\text{C}$
	5.14 Storage Temperature	During 1 month: $-5 \sim 35^{\circ}\text{C}$ During 6 months: $0 \sim 35^{\circ}\text{C}$

Karakterisztikák (*LIR18650*)

Charge Characteristics

Measurement temperature: 25°C

Charge: CC-CV:1.3A-4.2V

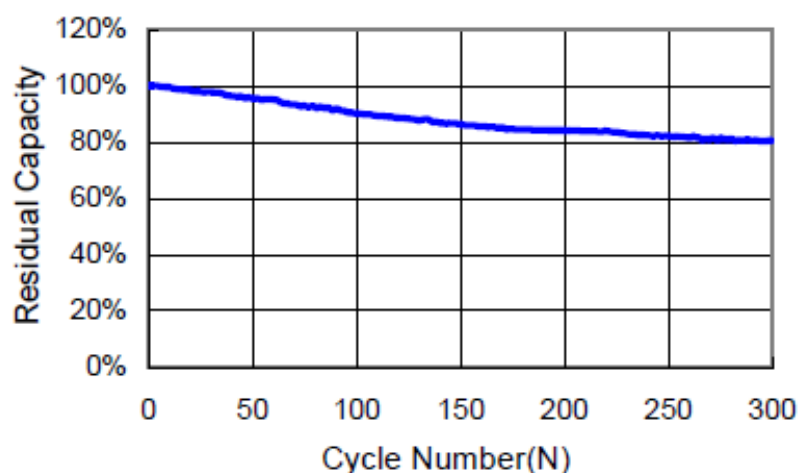


Cycle Characteristics

Measurement temperature: 25°C

Cycle condition: charge: CC-CV:1.3A-4.2V

Discharge: CC:1.3A(E.V:3.0V)



A grafikonról jól látszik, hogy kezdetben konstans árammal töltünk, majd pedig konstans feszültséggel.

Ciklus élettartam grafikon

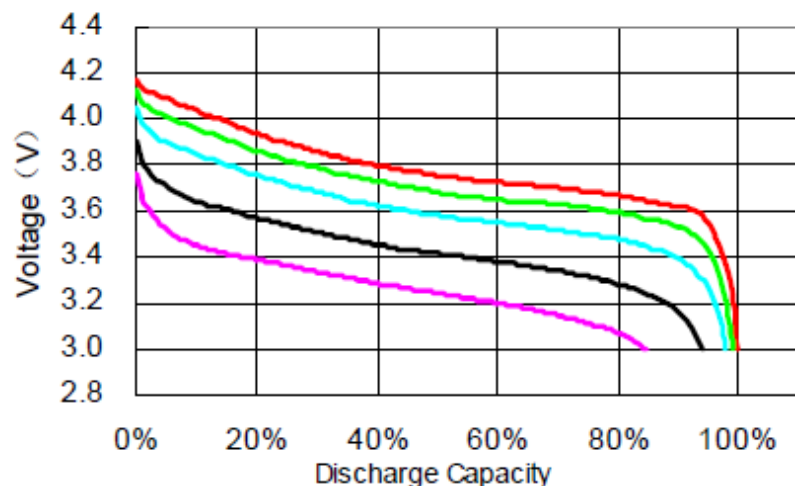
Karakterisztikák (*LIR18650*)

Rate Discharge Characteristics

Charge: CC-CV; 1.3A-4.2V at 25°C

Discharge: CC; variable Current (E.V.: 3.0V)

— 0.2C
— 0.5C
— 1.0C
— 2.0C
— 3.0C



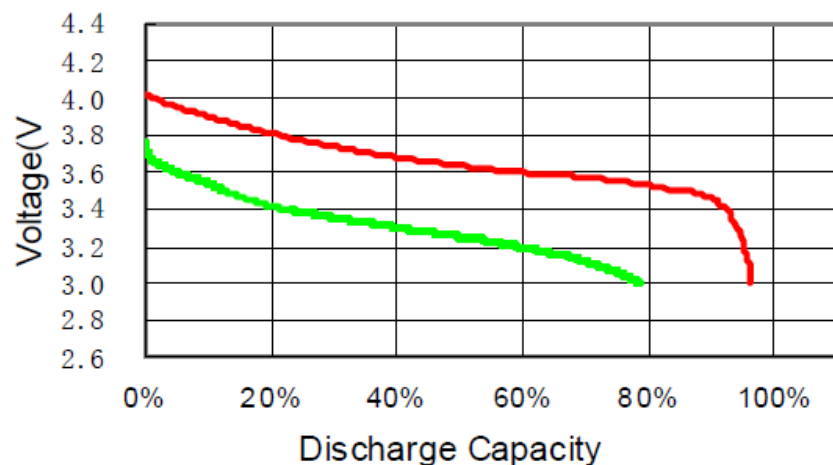
Kisütési karakterisztika, különböző kisütőáramok mellett, a kapacitás függvényében.

Discharge Temperature Characteristics

Charge: CC-CV: 1.3A-4.2V at 25°C

Discharge: CC: variable Current (E.V.: 3.0V)

— 55°C, 0.5C
— -20°C, 0.2C



Kisütési hőmérsékletfüggés a kapacitás függvényében.

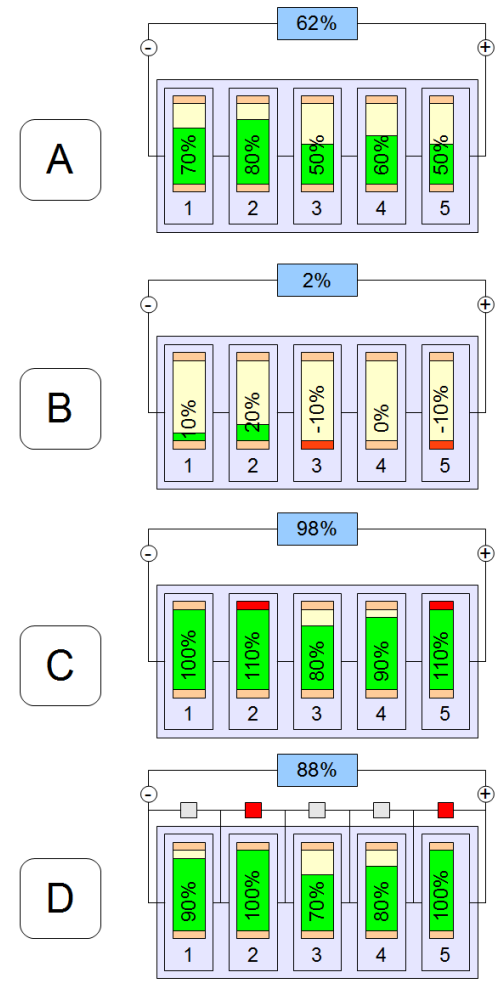
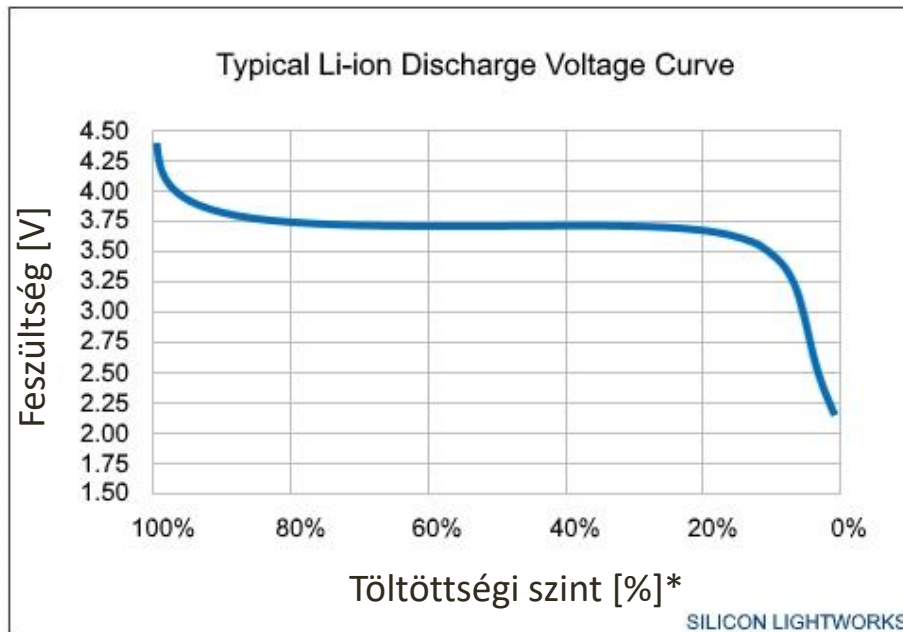
Akkumulátor felügyeleti rendszer (BMS)-Áttekintés

- A járműhajtásban (is) leggyakrabban alkalmazott akkumulátor a Li-ion akkumulátor:
 - A régebbi technológiájú akkumulátorokhoz képest akár másfélszeres energiasűrűség érhető el (gyakorlatilag kisebb térfogatban több energiát tudunk eltárolni)
- Mivel általában relatíve nagy telepeket alkalmaznak, így a tervezés során figyelembe kell venni
 - Méret (tömeg)
 - Költség
 - Élettartam paramétereket
- A Li-ion cellák csak bizonyos körülmények között üzemelnek biztonságosan. Ezeket a megfelelő élettartam érdekében be kell tartani:
 - Töltés,- kisütés áram értékek
 - Feszültség szintek
 - Hőmérséklet szintek

Akkumulátor felügyeleti rendszer – **Battery Management System (BMS)**

Li-ion cella jellemzői

- A Li-ion cellák élettartamát átlagosan 10 évre becsülik
- A cellák kapacitásának bizonyos keretek közé szorításával az élettartam nagyban növelhető:
 - A Li-ion cellákat jellemzően 20% - 80% közötti kapacitás mellett használjuk (így az akkumulátor teljes kapacitásának csak a 80%-át használjuk ki)
- A túltöltés és a túl nagy árammal való terhelés csökkenti az élettartamot

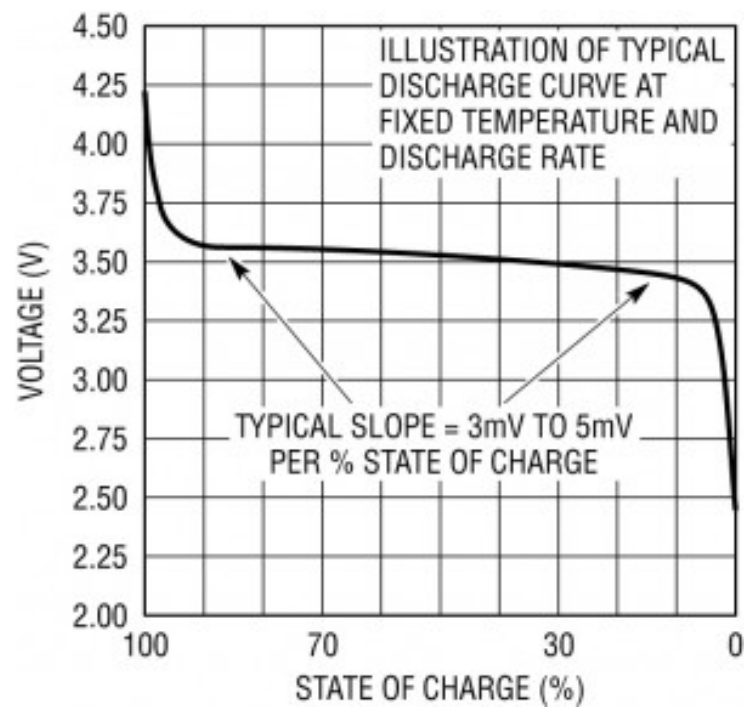
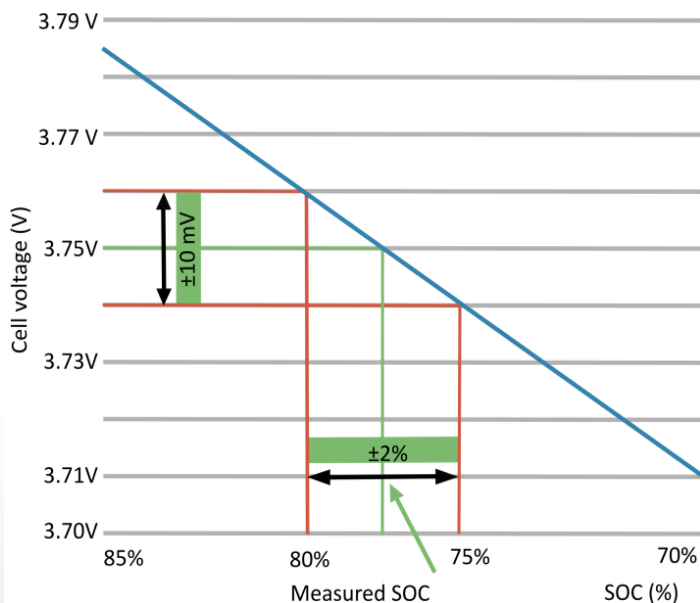


*Az angol szakirodalomban
SOC (State of Charge)

Cellák feszültségének mérése

- A használt tartományban a görbe meredeksége rendkívül kicsi (3 – 5mV/%)

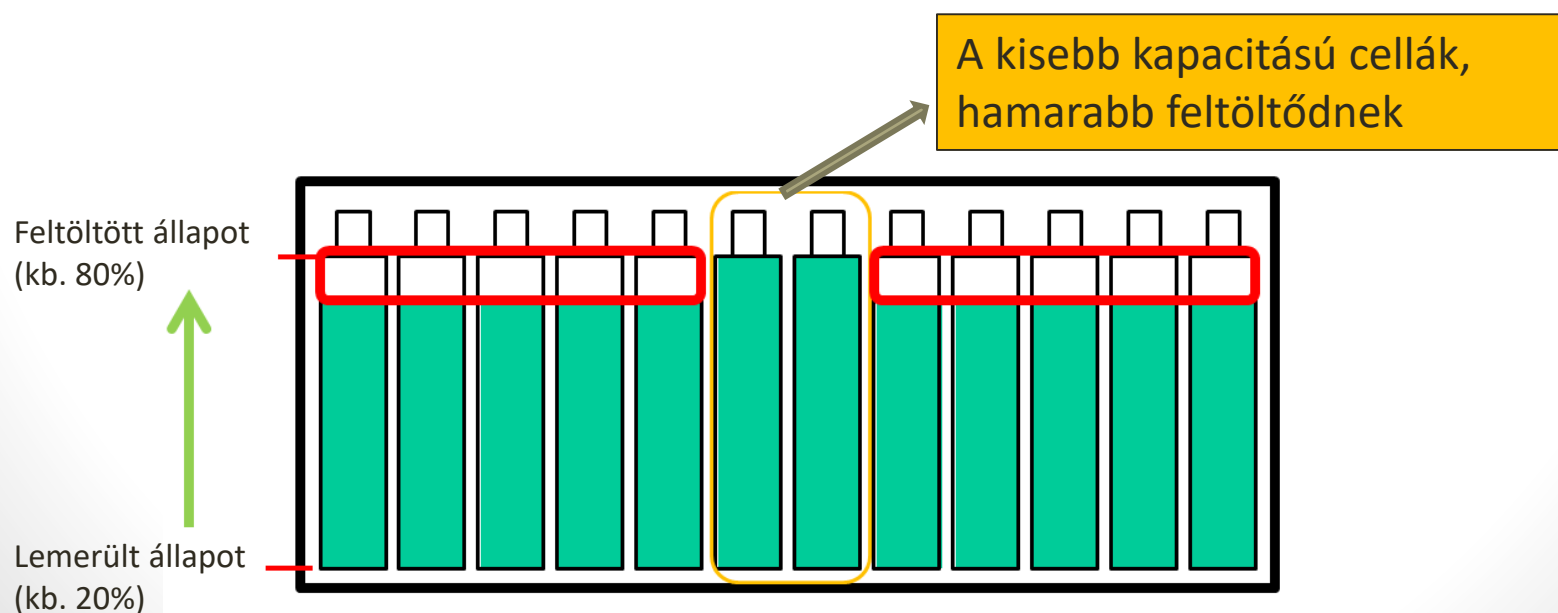
↓
±10%-os
mérési hiba



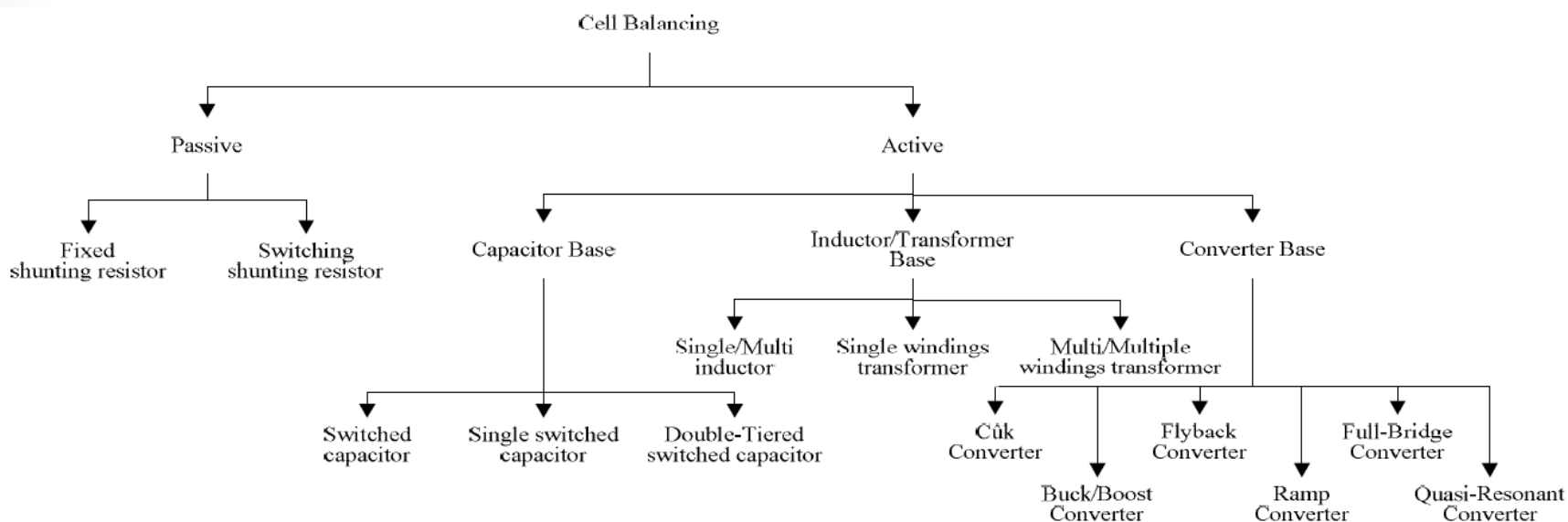
- Ha figyelembe vesszük a mérési hibát, a 20/80-as tartomány a mérési hibának megfelelően szűkül

Akkumulátor csomagok

- A nagyobb kapocsfeszültség elérése érdekében általában nem egyetlen Li-ion cellát használunk, hanem több cella sorba kapcsolt változatát (napjainkban több 100V!).
- Általában az elemi cellák nem egyformán töltődnek/merülnek. Töltés (kisütés) során semmi nem garantálja, hogy az egyes cellákra ugyanakkora töltőfeszültség jut, illetve hogy azonos mértékben töltődnek fel (sülnek ki).
- Megállapíthatjuk tehát, hogy az akkumulátor csomag teljes töltöttségén kívül az elemi cellák közötti kiegyenlítésre is szükség van.

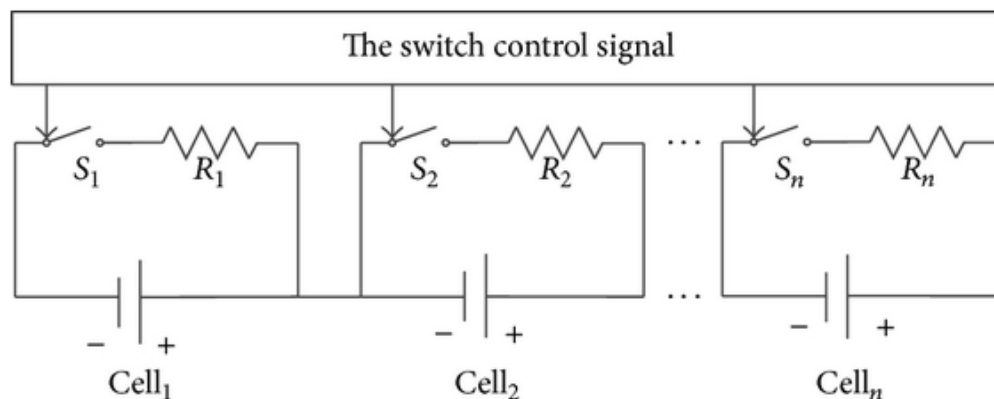


Cellkiegyenlítési módszerek



Passzív cellakegyenlítés

- Ez a legegyszerűbb módszer
- Az elemi cellákban lévő töltéstöbbletet ellenállásokon keresztül hővé alakítjuk, így hozva azonos szintre az elemi cellákat
- Ebben az esetben mindig a legkevesebb töltéssel rendelkező cellához igazodunk
- Li-ion cellák esetén a „switching shunt resistor” módszert használjuk, vagyis egy kapcsolóhálózat az adott logikának megfelelően hozza működésbe a kisütési folyamatot. Ennek megfelelően két működési mód adódik:
 - Minden kapcsoló ugyanazon be/kikapcsoló jelre aktív
 - Az egyes kapcsolók egymástól függetlenül működnek. A cellafeszültség mérése után, amennyiben kiegyenlítetlenség van az adott cellához tartozó kapcsoló bekapcsol.

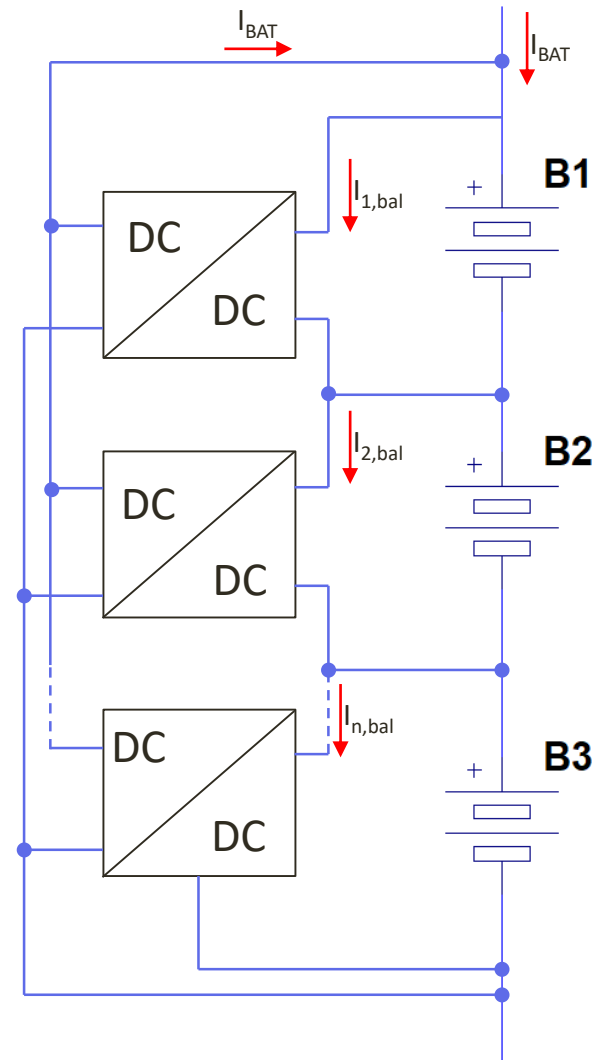


Aktív cellakiegyenlítés

- Aktív cellakiegyenlítés során az egyes elemi cellákban lévő plusz energiát nem egy ellenálláson keresztül disszipáljuk el, hanem áramoltatjuk az akkumulátor csomag egyes cellái között, kiegyenlítés céljából.
- Itt most a „converter base” vagyis a kapcsolóüzemű konverterek segítségével történő energiaáramoltatást tekintjük át.
- Ennek megfelelően a gyakrabban használt elrendezések:
 - CUK konverter
 - Buck/Boost konverter
 - Flyback konverter
 - Ramp konverter
 - Quasi-Resonant konverter
- Az aktív cellakiegyenlítés összetettebb, költségesebb.

Hogyan is működik?

- A többlettöltéssel rendelkező cellákból a töltéseket a kisebb töltöttséggel rendelkező cellákba mozgatjuk
- Ez két módon történhet:
 - Cellából-cellába
 - Cellából az akkumulátorcsomag egészébe
- A metodikát a cellaszám határozza meg:
 - Kisebb cellaszám esetén a cellából-cellába megoldás is megfelelő, mivel a cellák rövid úton elérhetők
 - Nagyobb cellaszám esetén ez nem célravezető: Ha több cellán keresztül jutunk el a kívánt celláig, növekednek a veszteségeink. Ekkor célszerű közvetlenül az akkumulátor csomagba, vagy csomagból tölteni.



Gyakorlati lehetőségek

Application	# cells in a series	TI monitoring and protection parts
Laptop/tablet	2-4	bq40z50-R1 , bq2947
Power tools and garden tools	3-10	bq76930 , bq76920 , bq76925
Ebike	7-16	bq76930 , bq76940 , bq76PL455A-Q1 , bq78350-R1
EV/HEV/PHEV	60-96	bq76PL455A-Q1 , bq76PL536A-Q1
Micro-hybrid	4-6	bq76PL536A-Q1
Mild-hybrid	12-16	bq76PL455A-Q1
eCall	1-2	bq76PL455A-Q1 , EMB1428Q , EMB1499Q
Telecom, UPS, ESS	10-16	bq76940 , bq76PL455A-Q1 , bq78350-R1

Ajánlott irodalom

- A Guide to Understanding Battery Specifications. MIT Electric Vehicle Team.
- *Characteristics of Rechargeable Batteries. Texas Instruments.*
- <https://chargedevs.com/features/teslas-batteries-past-present-and-future/>
- https://www.nissan-global.com/EN/TECHNOLOGY/OVERVIEW/li_ion_ev.html
- <https://pushevs.com/2018/01/29/2018-nissan-leaf-battery-real-specs/>