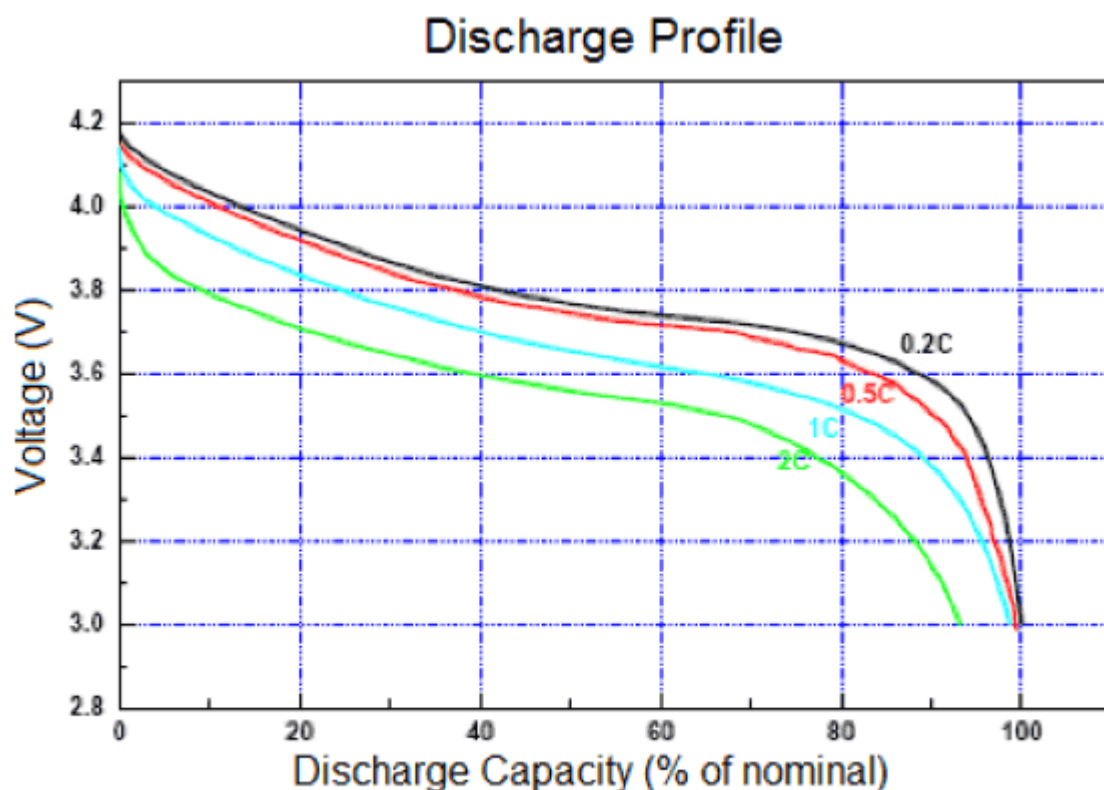


A tápfeszültség függés korrekciója

4 LiPol cella – névleges feszültség 14.8 V

A motor meghajtásához 4 sorba kötött lítium polimer (LiPol) akkumulátor cellából álló telepet használunk. 1 LiPol cella névleges feszültsége 3.7 V, 4 sorba kötött cellaé 14.8 V. Közvetlenül teljes feltöltés után egy cella feszültsége elérheti akár a 4.2 V-ot, azaz 4 cellára nézve a 16.8 V-ot. A maximális mérendő feszültséget ennél kis mértékben nagyobbra választjuk, legyen ez 17.0 V.

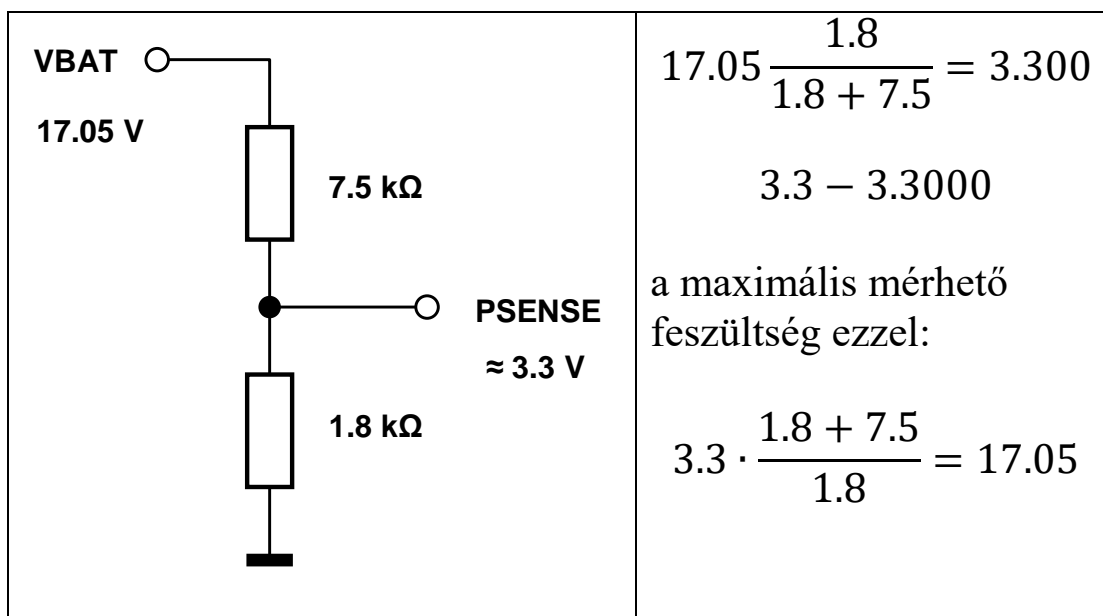
A LiPol akkumulátorok működési tartománya, vagyis az a tartomány, amelyen belül az akkumulátor képes nagyobb feszültségesés nélkül szolgáltatni a specifikált teljesítményt nehezen határozható meg. Függ a kisütő áram nagyságától és a hőmérséklettől. A következő ábrán a kisütő árammal paraméterezett görbe-sereg írja le a LiPol akkumulátorok 1 cellájának tipikus kisütési karakterisztikáját. Egy középutat választva válasszuk a normál működési tartomány alsó határát 3.4 V-ra. Ez 4 sorba kötött cella esetében 13.6 V.



Discharge: 3.0V cutoff at room temperature.

(forrás: <https://learn.adafruit.com/li-ion-and-lipoly-batteries/voltages>)

A tápfeszültség mérése: a tápfeszültséget ellenállás-osztóval az ADC mérési tartományába konvertáljuk. A maximális feszültséget 17.0 V-ban határozzuk meg a fentieknek megfelelően.



Sorosan kapcsolt 4 LiPol cella: nominális feszültség 14.5 V
teljes töltöttség melletti feszültség 16.8V

Feszültségosztó: 1.8kΩ – 7.5kΩ ellenállásokkal

State	Limit	Voltage	ADC value
Overcharged	>	$16.8 \cdot \frac{1.8}{1.8 + 7.5} \approx 3.2516$	$3.2516 \cdot \frac{4096}{3.3} \approx 4036$
Normally charged	<=	$16.8 \cdot \frac{1.8}{1.8 + 7.5} \approx 3.2516$	$3.2516 \cdot \frac{4096}{3.3} \approx 4036$
Nominal	=	$14.8 \cdot \frac{1.8}{1.8 + 7.5} \approx 2.8645$	$2.8645 \cdot \frac{4096}{3.3} \approx 3555$
Normally charged	>=	$13.6 \cdot \frac{1.8}{1.8 + 7.5} \approx 2.6323$	$2.6323 \cdot \frac{4096}{3.3} \approx 3267$
Discharged	<	$13.6 \cdot \frac{1.8}{1.8 + 7.5} \approx 2.6323$	$2.6323 \cdot \frac{4096}{3.3} \approx 3267$
Deep discharge	<	$12.0 \cdot \frac{1.8}{1.8 + 7.5} \approx 2.3226$	$2.3226 \cdot \frac{4096}{3.3} \approx 2883$

0	> 16.8 V	> 4036	Overcharged	
1	13.6 V – 16.8 V	3268 – 4036	Ok	
2	12.0 V < 13.6 V	2883 – 3267	Discharged	
3	< 12.0 V	< 2883	Deep discharged	

A tápfeszültség-korrekción

A tápfeszültség-korrekción a PWM frekvencia tápfeszültségtől függő megválasztásával történhet. Ha a tápfeszültség csökken, a PWM frekvencia vele arányosan nő, illetve a PWM periódusideje csökken. Ha a változás arányát megfelelően választjuk meg, adott kitöltési tényező értékhez tartozó átlagos feszültség állandó marad a tápfeszültség megváltozása esetén.

A PWM frekvenciát a TIMER egység Counter Period (AutoReload Register) beállításával határozhatjuk meg. A TIMER alap-órajele az előosztó (Prescaler) értéke alapján leosztásra kerül, ezzel előáll a számlálási periódus. Szimmetrikus PWM generálása esetén egy PWM periódus a végértékig való felfelé számlálás és ezt követően a 0-ig való lefelé számlálás eredményeként jön létre.

Jelölések

- f_{CLK} – a TIMER egység órajelének frekvenciája – az STM32F401 mikrovezérlő TIM5 timer periféria esetén ez 84 MHz.
- P – az előosztó (Prescaler) által előállított arány (az előosztóba írt érték + 1), maximális felbontás elérése érdekében 1.
- N_{TOP} – a számláló csúcserőke (CounterPeriod érték + 1).
- V_m – a motor kívánt kapocsfeszültsége.
- η_m – a V_m motorfeszültséghez tartozó tényleges kitöltési tényező.
- N_m – a kitöltési tényezőt meghatározó, V_m motorfeszültséghez tartozó PWM Pulse érték.
- V_{BAT} – az akkumulátor aktuális feszültsége.
- V_{BAT}^{ref} – az akkumulátor referencia feszültsége, ez lehet pl. a 4-cellás akkumulátor névleges feszültsége, 14.8 V.
- N_{TOP}^{ref} – a számláló csúcserőke referencia akkumulátor-feszültség mellett.
- η_m^{ref} – a V_m motorfeszültséghez tartozó referencia akkumulátor feszültségre vonatkoztatott kitöltési tényező.

Kompenzációs módszer

Egy adott motor V_m kapocsfeszültséghez tartozó PWM kitöltési tényezőt egy referencia akkumulátor-feszültséghez képest határozzuk meg az irányítási algoritmusokban. Ez azért szükséges, hogy az irányítási algoritmusokat függetlenítsük az éppen aktuális akkumulátor feszültségtől, azaz az akkumulátor töltöttségi fokától. A referencia akkumulátor feszültségre vonatkoztatott kitöltési tényezőt jelöljük η^{ref} -el:

$$\eta_m^{ref} = \frac{V_m}{V_{BAT}^{ref}}$$

Tetszőleges V_{BAT} mellett értelmezett kitöltési tényező ugyanakkor ettől eltérő lehet:

$$\eta_m = \frac{V_m}{V_{BAT}}$$

A kompenzálás lényege, hogy a generált PWM jel átlagaként létrejövő motorfeszültség mindkét esetben azonos legyen, azaz

$$V_m = \eta_m^{ref} V_{BAT}^{ref} \quad V_m = \eta_m V_{BAT}$$

Egy adott kimeneti feszültségértéket meghatározott N_m számláló OC regiszter értékkel (Pulse) fejezzük ki, ez kerül kiszámításra a szabályozó algoritmus által. Ez tetszőleges akkumulátor feszültségérték mellett azonos érték.

Kifejezve a kitöltési tényezőknek megfelelő feszültségeket az OC és TOP értékekkel:

$$V_m = \frac{N_m}{N_{TOP}^{ref}} V_{BAT}^{ref} \quad V_m = \frac{N_m}{N_{TOP}} V_{BAT}$$

V_m független lesz a V_{BAT} akkumulátor feszültségtől, ha a Counter Period értéket azzal arányosan választjuk meg. C konstanssal jelölve az arányossági tényezőt

$$N_{TOP} = C V_{BAT}$$

azaz

$$V_m = \frac{N_m}{N_{TOP}} V_{BAT} \rightarrow V_m = \frac{N_m}{C}$$

Ennek alapján

$$V_m = \frac{N_m}{N_{TOP}^{ref}} V_{BAT}^{ref} \rightarrow C = \frac{N_{TOP}^{ref}}{V_{BAT}^{ref}}$$

A motorfeszültség tehát C -t behelyettesítve

$$V_m = \frac{N_m}{N_{TOP}^{ref}} V_{BAT}^{ref}$$

Ez független az aktuális akkumulátor feszültségtől.

A számláló TOP értékének megválasztása tehát:

$$N_{TOP} = \frac{N_{TOP}^{ref}}{V_{BAT}^{ref}} V_{BAT}$$

A szabályozási tartomány maximuma legyen a 4-cellás LiPol akkumulátor maximális feltöltési feszültsége, azaz

$$V_{BAT}^{max} = 16.8 \text{ V}.$$

A minimális feszültséget többféle megfontolás alapján határozhatjuk meg:

- A 4-cellás LiPol akkumulátor minimális működési feszültsége a fenti megállapítások szerint 13.6 V.
- A 4-cellás LiPol akkumulátor mélykisülési határa 12 V.
- Az alkalmazott motorvezérlő –ST L6206 – minimális tápfeszültsége 8 V.
- Az alkalmazott motor maximális üzemi feszültsége 12.0 V.

Célszerű a szabályozási tartomány alsó határát úgy megválasztani, hogy minimális tápfeszültség mellett a beállítható maximális kitöltési tényező esetén se lépje túl a motor maximális üzemi feszültségét, tehát a célszerű választás a motor maximális üzemi feszültsége:

$$V_{BAT}^{min} = 12.0 \text{ V}.$$

A $[12.0 \text{ V}, 16.8 \text{ V}]$ tartomány túlmegy a gyakorlatban előálló feszültséghatárokon, viszont biztosítja, hogy a motor kivezérlési tartománya ne haladja meg a megengedettet, ugyanakkor lefedje az akkumulátorfeszültség normál működési tartományát.

N_m értéktartománya legyen a 12-bites adatterjedelemnek megfelelő:

$$N_m^{min} = 0 \quad N_m^{max} = 2048.$$

A 2048 Pulse értéknek bele kell férnie a legkisebb N_{TOP} érték által meghatározott intervallumba, azaz N_{TOP} minimális értékének 2048-nak kell lennie. Ez a 12.0 V-os minimális akkumulátor feszültséghez tartozik.

$$2048 = \frac{N_{TOP}^{ref}}{V_{BAT}^{ref}} \cdot 12.0.$$

Ebből

$$\frac{N_{TOP}^{ref}}{V_{BAT}^{ref}} = \frac{2048}{12.0}.$$

Válasszuk referencia feszültségnek a 4-cellás LiPol akkumulátor névleges feszültségét:

$$V_{BAT}^{ref} = 14.8 \text{ V}.$$

Az ehhez tartozó N_{TOP} érték:

$$N_{TOP}^{ref} = \frac{14.8}{12.0} 2048 = 2525.8666,$$

amely egésze kerekítéssel

$$N_{TOP}^{ref} = 2526.$$

Az aktuális akkumulátor-feszültségnek megfelelő N_{TOP} érték számítása konkrét számértékekkel:

$$N_{TOP} = \frac{2048}{12.0} V_{BAT}$$

Ez nyilvánvalóan csak közelítéssel számítható ki, mivel a valóságban egész számra kerekítve tudjuk csak alkalmazni.

Az N_{TOP} értéket célszerű az ADC által mért numerikus értékekből számítani, jelöljük ezeket N_{BAT} -tal, és jelöljük r -rel a feszültségosztó arányát:

$$N_{BAT} = \frac{r V_{BAT}}{3.3} 4096 \quad V_{BAT} = \frac{3.3}{r \cdot 4096} N_{BAT}.$$

Behelyettesítve N_{TOP} kifejezésébe:

$$N_{TOP} = \frac{3.3}{r \cdot 24.0} N_{BAT} ,$$

$$N_{TOP} = \frac{3.3(1.8 + 7.5)}{1.8 \cdot 24.0} N_{BAT} ,$$

$$N_{TOP} = \frac{3.3 \cdot 9.3}{1.8 \cdot 24.0} N_{BAT} ,$$

$$N_{TOP} = \frac{30.69}{43.2} N_{BAT} \approx 0.7104 N_{BAT} .$$

A kiszámított N_{TOP} értékekkel a PWM frekvenciák szimmetrikus PWM jelet feltételezve a következők lesznek:

V_{BAT}	N_{TOP}	$f_{PWM}[\text{kHz}]$
12.0V	2048	20.52
14.8 V	3555	16.63
16.8 V	4035	14.65

Ezek a frekvenciák az alkalmazott motorvezérlő által megvalósítható PWM jelet eredményeznek.

A kerekítésből eredő hiba a szabályozási tartományban 0.1% alatt marad, l. a 'Psense4c.xlsx' táblázatot. Ugyancsak ebből a táblázatból olvasható ki, hogy a választott paraméterek mellett – maximális kivezérlés, azaz 2048 N_{TOP} érték esetén – a motor maximális kapocsfeszültsége 12.0 V.