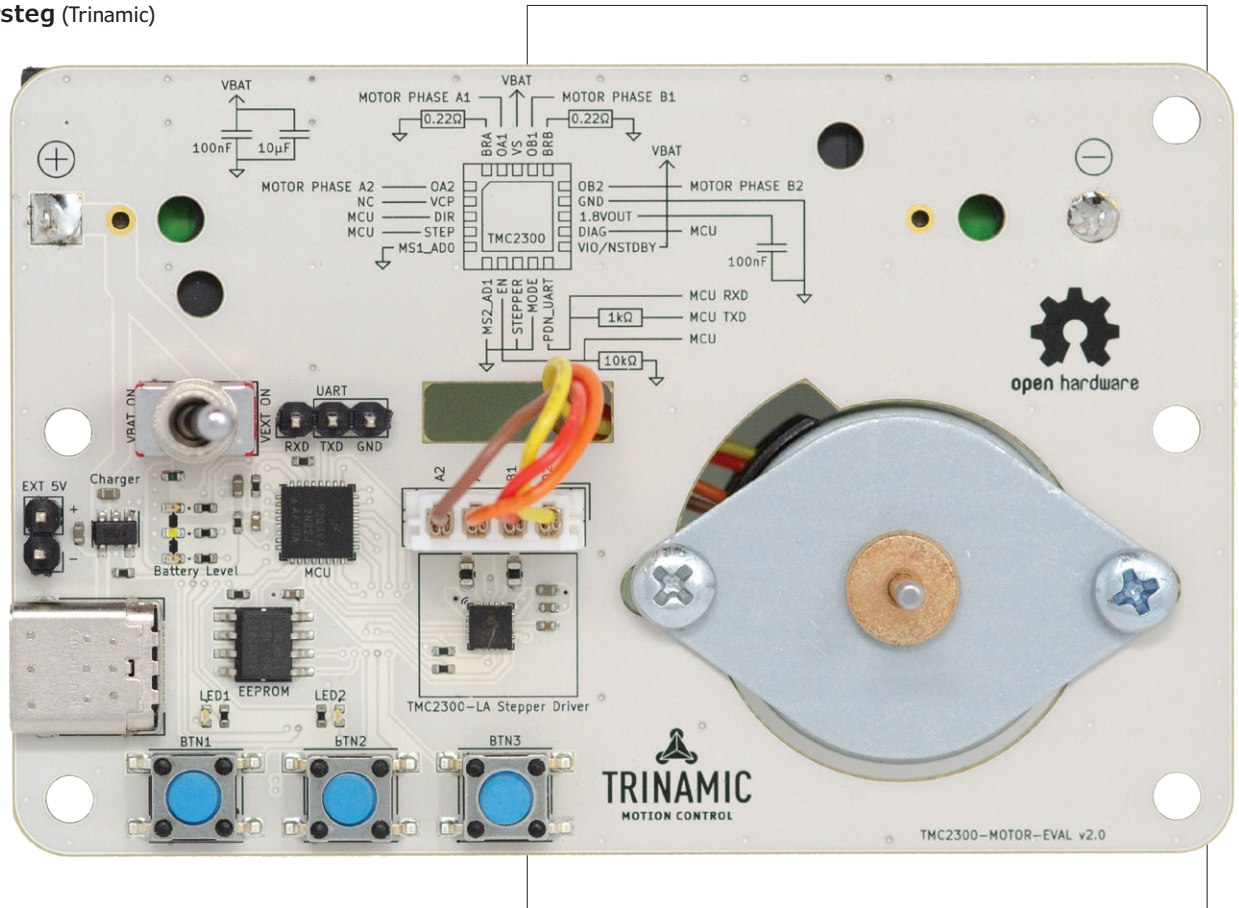


Laagspannings-motorsturing

overwegingen bij de ontwikkeling van stappenmotor-applicaties

Bernhard Dwersteg (Trinamic)



Figuur 1. Open-source TMC2300-MOTOR-EVAL-board voor de evaluatie van de TMC2300 stappenmotordriver voor batterijgevoede toepassingen.

Ondanks het feit dat de energievoorziening bij accuvoeding beperkt is, vertrouwen steeds meer draagbare apparaten en IoT-toepassingen op actuatoren. En hoewel een grotere batterij een aantal voordelen heeft, zijn kleinere favoriet bij fabrikanten van apparaten vanwege kosten, betrouwbaarheid, grootte en gewicht, veiligheid en andere redenen. Of het nu gaat om domotica, beveiliging, medische apparatuur of handheld POS-apparaten, batterijen met een spanningsbereik van 2,4...4,3 V hebben de toekomst.

Deze accu's hebben echter bepaalde kenmerken die niet alleen voor de motoren zelf, maar ook voor de ontwerpen en technologieën op het gebied van motorbesturing en motion control nieuwe uitdagingen met zich meebrengen. Tot die kenmerken horen een beperkt piekvermogen en ook beperkingen bij langdurige energieconsumptie, wat zelfs bij toepassingen met een geringe duty-cycle een probleem vormt. Dit stelt de vraag voor motor- en bewegingsbesturing: hoe stuur je een stappenmotor efficiënt aan vanuit een laagspanningsbron?

Aansturen van een stappenmotor op batterijen

Aangezien toepassingen op batterijen normaal gesproken een compacte oplossing vereisen, zijn standaard hybride steppers zoals de NEMA 17-typen te groot. Zelfs als NEMA 17 de beste prijs/prestatieverhouding biedt omdat dit type zeer veel wordt gebruikt, bijvoorbeeld in 3D-printers. Kleinere hybride stappenmotoren zoals NEMA 11 en NEMA 8 of nog kleiner zijn duurder. Daarom hebben goedkope stappenmotoren met permanente magneet vaak de voorkeur voor mobiele oplossingen; deze zijn

goed verkrijgbaar in verschillende maten met fabrikantsspecifieke montageschema's. Standaardtypen worden vaak geleverd met een motorspoelwikkeling voor 5 V of 12 V. Beide spanningen zijn noch bedoeld, noch geschikt voor gebruik met batterijvoeding. In plaats daarvan zijn ze bedoeld voor lichtnetgevoede constante-spanning-motorsturingen met een vrij beperkte motorsnelheid, omdat er geen speelruimte is voor tegen-EMK, die met name bij hogere snelheden wordt opgebouwd.

Selectie van de juiste motor

Om te begrijpen welke stappenmotoren geschikt zijn voor batterijgevoede ontwerpen, moet rekening worden gehouden met de eisen die aan de voedingsspanning van een stappenmotor worden gesteld. Het motorkoppel is recht evenredig met de spoelstroom vermenigvuldigd met het aantal wikkelingen, omdat elke ampère stroom in een bepaalde mate bijdraagt aan het magnetisch veld en dus aan het motorkoppel. Het opgegeven motorkoppel wordt bereikt met de effectieve I_{COIL} -stroom in beide motorspoelen om de vereiste magnetische veldsterkte op te bouwen. Een lagere stroom zal in principe een proportioneel lager koppel genereren, bijvoorbeeld 70% van het koppel bij 70% stroom. Zelfs een reductie tot 70% bespaart veel energie omdat de dissipatie evenredig is met het kwadraat van de stroom. Zo kan een motor met meer reserves een beter rendement bieden. Hiermee kan de benodigde voedingsspanning U_{BAT} voor motorstilstand worden berekend, rekening houdend met de weerstand van de vermogenstrap van de driver plus een paar honderd mV verlies in de sense-weerstand (170 mΩ per brug-MOSFET voor de TMC2300 laagspannings-stappenmotordriver en 0,3 V piek bij de sense-weerstand):

$$U_{BAT} = (R_{COIL} + 2 * 0,17 \Omega) * I_{COIL} * \sqrt{2} + 0,3 V$$

I_{COIL} is de effectieve motorstroom die bij stilstand het gewenste koppel geeft. Bij lage snelheid met verwaarloosbare tegen-EMK is er niet veel verschil. Bij hogere snelheden (meer dan een paar elektrische omwentelingen per seconde) moet bovendien rekening worden gehouden met de specifieke tegen-EMK-constante C_{BEMF} van de motor (zie uitleg verderop). Hiermee wordt de laagst haalbare voedingspanning voor een bepaalde motor en een maximale snelheid [RPM] berekend op:

$$U_{BAT} = 0,3 V + ((R_{COIL} + 2 * 0,17 \Omega) * I_{COIL} + \frac{HoldingTorque[Nm]}{2 * I_{COILNOM}} * \frac{2 \pi * Velocity[RPM]}{60}) * \sqrt{2}$$

Deze formule gebruikt het quotiënt van het houdkoppel en de toegewezen spoelstroom (afkomstig van de specificaties van de motor) om de EMK-constante van de motor te berekenen. Bij de meeste motorleveranciers moet de spoelwikkeling worden aangepast voor batterijvoeding. Dit maakt het mogelijk om de lagere motorspanning bij batterijvoeding te compenseren met een grotere motorstroom. Een motor met een korte, dikke wikkeldraad kan bijvoorbeeld bij een lagere spanning werken dan dezelfde motor met een lange, dunne wikkeldraad, maar heeft wel een grotere stroom nodig voor hetzelfde koppel. De vermogensdissipatie in de spoel en het motorrendement blijven voor beide motorwikkelingen identiek, zie tabel 1.

Parameternaam	Parameterwaarde
Nominale (effectieve) spoelstroom	$I_{COILNOM}$ [A]
Nominale spoelweerstand	R_{COIL} [Ω]
Nominale spoelspanning	$U_N = R_{COIL} * I_{COILNOM}$ [V] (soms gespecificeerd in plaats van $I_{COILNOM}$)
Houdkoppel bij $I_{COILNOM}$	Houdkoppel [Nm]

Tabel 1. Belangrijkste relevante parameters van een stappenmotor.

Gemeten grootheid	Standaard spoel	Gemodificeerde spoel	Eenheid
R_{COIL}	5,2	1,5	Ω
I_{COIL}	400	760	mA
$P_{COIL} = 2 * R * I^2$	1,66	1,62	W
Benodigde spanning (bij beweging)	5,0	3,2	V
Stroomopname	487	850	mA
Vermogen	2,24	2,76	W
Vershil	-	+23	%

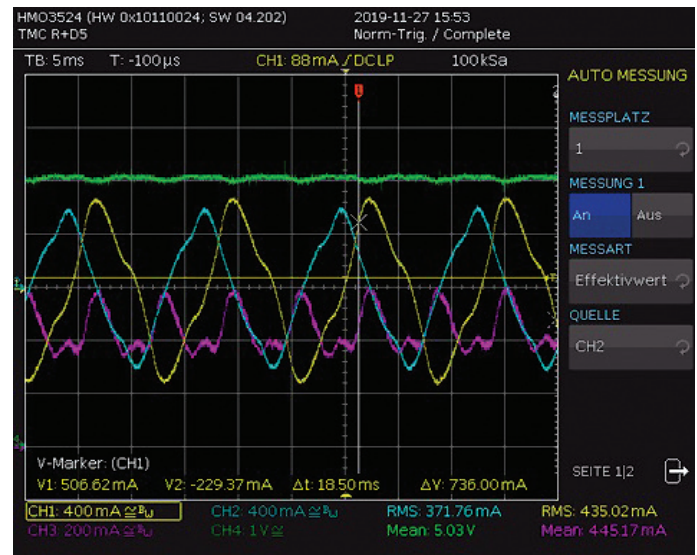
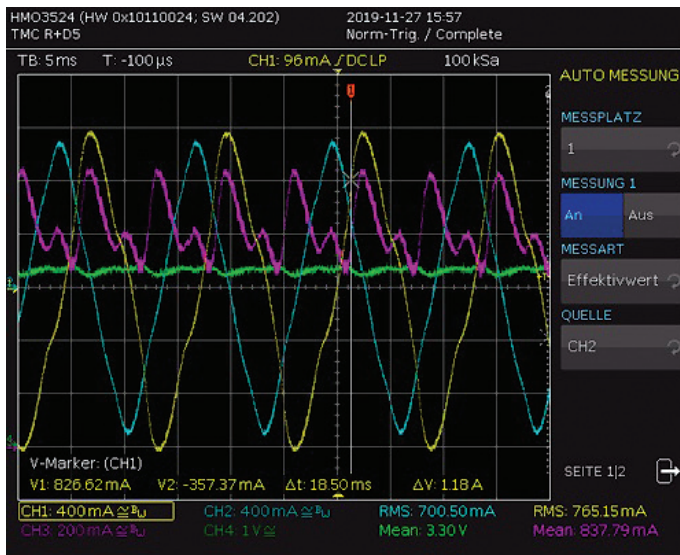
Tabel 2. Meetresultaten van stappenmotor met standaard spoel vs. gemodificeerde spoel.

Testopstelling: lineaire actuator voor slimme thermostatische radiatorventiel

Om het belang van speciale laagspanningsmotor driver-IC's aan te tonen, wordt een testopstelling gemaakt met behulp van een lineaire actuator voor een radiatorventiel. De originele stappenmotor die in deze opstelling wordt gebruikt heeft een 5Ω-spoelweerstand, vergeleken met een aangepaste stappenmotor met een 1,5Ω-spoelweerstand (tabel 2).

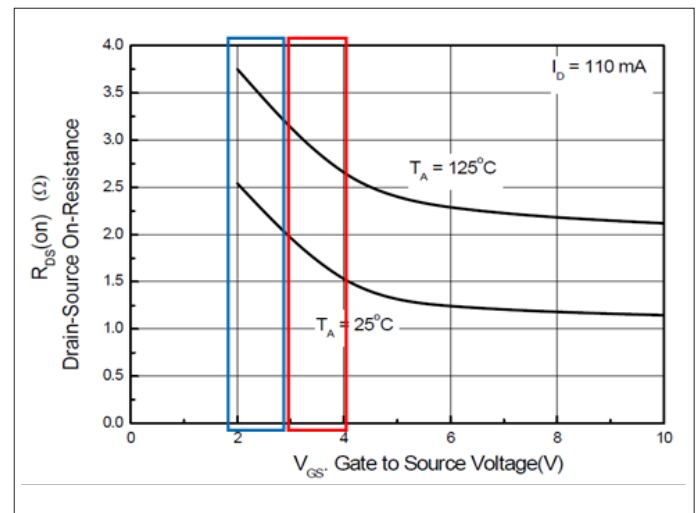
Beide motoren worden aangestuurd door de TMC2300 laagspanningsdriver, die de gemodificeerde motor aanstuurt met 3,3 V en de standaard motor met 5 V, en onder de aanname dat de vermogensdissipatie van de motor identiek is door dezelfde mate van kopervulling in de spoelen. De motor wordt bij 320 Hz full-step (voorbij de resonantie) aangestuurd. De oscillogrammen van figuur 2 tonen de verschillende 'hoogte' van de voedingsstroom en de motorspoelstroom (grotere stroom voor de motor met geringere weerstand) en de voedingsspanning.

Op basis van de metingen kunnen we concluderen dat bij gebruik van hetzelfde driver-IC de motor met een lagere voedingsspanning hetzelfde koppel kan leveren. Door de grotere spoelstroom is de dissipatie in de drivertrap groter en is de vermogensopname groter. Wanneer aan de andere kant echter een enkele Li-Ion cel wordt gebruikt voor voeding, kan een step-up converter (die ook een beperkt rendement van misschien 90...95% heeft) worden uitgespaard.



Figuur 2. Oscillogram met de spoelstroom van een 1,5Ω-motor (gemodificeerde wikkeling) bij 3,3 V (links) versus 5,0Ω-motor bij 5 V (rechts). Voedingsstroom (paars) en voedingsspanning (groen).

Verder laat dit voorbeeld zien dat de weerstand van de vermogenstrap in een driver-IC voor een laagspanningsmotor van belang is voor het rendement. Een grotere weerstand verspillt niet alleen vermogen in de eindtrap, maar vermindert ook de spanningsreserve om de actuator aan te sturen, zodat deze moet worden ontworpen voor een nog lagere spanning en dus een nog grotere stroom. Conventionele driver-IC's, zelfs voor laagspanning, hebben een probleem met laagspanning. Dit wordt getoond aan de hand van een standaard MOSFET als voorbeeld; die is vergelijkbaar met MOSFET's die in IC's zijn geïntegreerd: de uiteindelijke aan-weerstand (RDSon) van de FET wordt bereikt bij een gatespanning van 4...6 V (**figuur 3**). Het gebied onder 4 V vertoont een drastisch hogere weerstand. Om een lage RDSon te krijgen, heeft het batterijgevoede driver-IC een interne step-up converter nodig, op zijn minst om de power-MOSFET's aan te sturen. **Figuur 4** toont de RDSon als functie van de voedingsspanning voor een IC dat speciaal is ontworpen voor laagspanningsapplicaties, waarbij een spanningsvermenigvuldiger is geïntegreerd voor de aansturing van de vermogenstrap in plaats van een standaard transistor. De vorm van de curves is vergeleken, niet de werkelijke waarde.

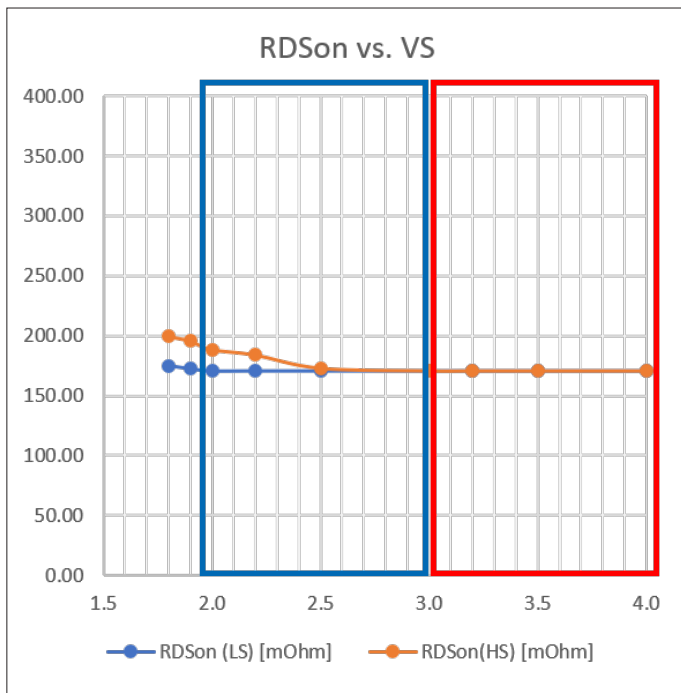


Figuur 3. De werking van een MOSFET (BSS138) bij laagspanning vertoont een vergelijkbaar gedrag als een vermogenstrap van een standaard motordriver-IC.

Het werkingsgebied met 2 AA-cellen is blauw omcirkeld en toont dat de RDSon van de MOSFET een factor 2 verschilt met die van een conventioneel driver-IC, terwijl de voedingsspanning van 3...4 V van een enkele Li-Ion cel nog steeds aanzienlijke voordelen voor het geoptimaliseerde IC laat zien.

Zoals de testopstelling laat zien optimaliseren speciale laagspanningsmotordriver-IC's zoals de TMC2300 het systeemontwerp, zodat de batterijen tot de laatste druppel kunnen worden gebruikt – of het nu gaat om domotica, laboratorium-automatisering of medische apparatuur voor gebruik in het veld. Met een lage totale vermogensopname stelt de oplossing engineers in staat om ofwel de grootte van de benodigde energieopslag te verminderen, ofwel de levensduur en het service-interval te verlengen voor een betere gebruikers-

ervaring. Het is echter belangrijk om het hele systeem te optimaliseren voor het beste resultaat, wat betekent dat de voedingsbron en de motor – en hun inherente kenmerken – ook zorgvuldig moeten worden overwogen om innovatie te stimuleren en digitale informatie om te zetten in perfecte fysieke beweging voor batterijgevoede apparaten. ◀



Figuur 4. Werking bij laagspanning van een speciaal laagspannings driver-IC voor stappenmotoren, dat gebruik maakt van interne schakelingen om de geleiding van de MOSFET te verbeteren.



De auteur

Bernhard Dwersteg is een van de oprichters van Trinamic Motion Control en heeft zich meer dan 20 jaar geleden bij hun team gevoegd als het brein achter de stappenmotor-drivers van Trinamic. Door voortdurend de grenzen van de stroomregeling te verleggen, is hij een van de drijvende factoren waarom stappenmotoren zijn wat ze vandaag de dag zijn. Bernhard is afgestudeerd in informatietechnologie aan de Universiteit van Hamburg.

► Achieve more with KROHNE

KROHNE
measure the facts

KROHNE is an innovative process instrumentation and measurement solutions company operating in more than 40 countries. Through continuous research and development and a consistent customer orientation, we are one of the leaders in our industry. KROHNE Netherlands is located in Dordrecht.

Hardware Design Engineer

The hardware design engineer works within the R&D department and cooperates in the development of electronics for electromagnetic- and ultrasonic flow meters. You are part of an enthusiastic team, but you can also work well alone.

Main responsibilities:

- Design and test of electronic circuits for instrumentation
- Co-operation and collaboration in a multidisciplinary team to achieve optimal solutions

Required qualifications:

- Bachelor technical education in electronics
- Experience in development of industrial electronics
- Knowledge and understanding of analog and digital circuits

Certification Specialist.

The Certification Specialist works within the R&D department and takes care of international certification processes in various areas, such as explosion safety, food certifications etc. Maintains contacts with international certification bodies, participates in multidisciplinary development projects and monitors the technical feasibility of the design related to legislation and regulations.

Main responsibilities:

- Requesting and supervising technical certifications for our products (flowmeters)
- Management and control of schedules regarding certification activities

Required qualifications:

- Bachelor technical education (knowledge of electronics is a necessity)
- Minimum 5 years of experience in technical certification processes
- Experience with technical regulations regarding explosion safety is a requirement

If interested, please send your CV, salary requirements and availability to: Liesbeth de Geus via telephonenumber: +31 78 -6306321 or via e-mail: l.dgeus@krohne.com


www.krohne.com