

## Auswertung von Stromsignalen bei BLDC-Antrieben

### Korrelation von Hall- und Stromsignalen

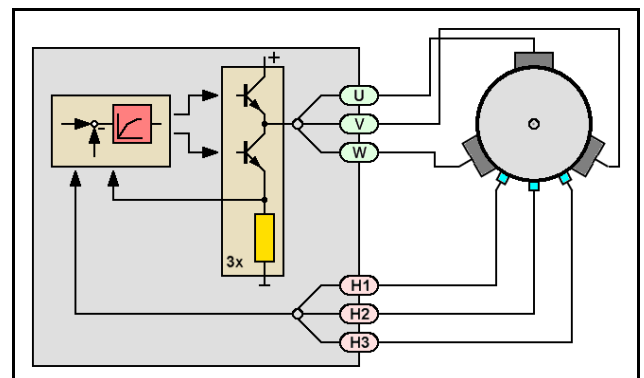
#### Übersicht:

Bei der Inbetriebnahme von BLDC-Antrieben wurde ein Gerät zur gemeinsamen Auswertung der Hall- und Stromsignale eingesetzt. Dadurch wurde es möglich, den korrekten Anschluss zu kontrollieren und direkt den Einfluss der Strom-Regelung auf das Stromsignal auf dem Oszilloskop zu analysieren.

Die Vorteile von BLDC-Antrieben (brushless direct current: bürstenlose Gleichstrommotore) sind der Grund, sie gerade bei hochdynamischen Stellantrieben einzusetzen. Allerdings ist der Schritt vom Bürstenmotor oder Schrittmotor hin zum Hall-gesteuerten bürstenlosen Servomotor verbunden mit einer gestiegenen Komplexität, die sich schon in der reinen Verkabelung wieder spiegelt. Während ein Bürstenmotor gerade einmal 2 Anschlusskabel hat, hat ein BLDC-Motor 3 Motorphasen-Kabel sowie 3 Hall-Sensor-Signal-Kabel und 2 Versorgungs-

Kabel für die Hall-Sensoren, also insgesamt 8 Kabel. Aber auch bei den Signalen steigt die Komplexität: Während man beim Bürstenmotor nur einen einzigen Strom im Motor fließen hat, sind es beim bürstenlosen Motor bis zu drei Ströme, die gleichzeitig fließen. Daneben gibt es auch noch die drei Hall-Sensor-Signale, die zur Kommutierung ausgewertet werden. Somit stehen dem einem Strom-Signal des Bürsten-Motors jetzt 6 Signale gegenüber, die gleichzeitig beobachtet werden müssen.

Die Ansteuerungs-Elektronik besteht im wesentlichen aus einem Regelungsteil (Strom, Geschwindigkeit, Position) und einem Leistungsteil (wird dreimal identisch gebraucht). Der Regelungsteil wertet die Hall-Signale und die Phasenstrom-Signale aus (hier als Shunt angedeutet). Das Leistungsteil steuert dann die drei Motorphasen an. Es ist eine verbreitete Strategie, immer einen der drei Motoranschlüsse spannungsfrei zu halten. Diese „Block-Kommutierung“ stellt die einfachste Methode zum Betrieb eines BLDC-Motors dar. Der wirksame oder „äquivalente“ Motorstrom wird dann durch die eine oder die andere Motorphase geschleust



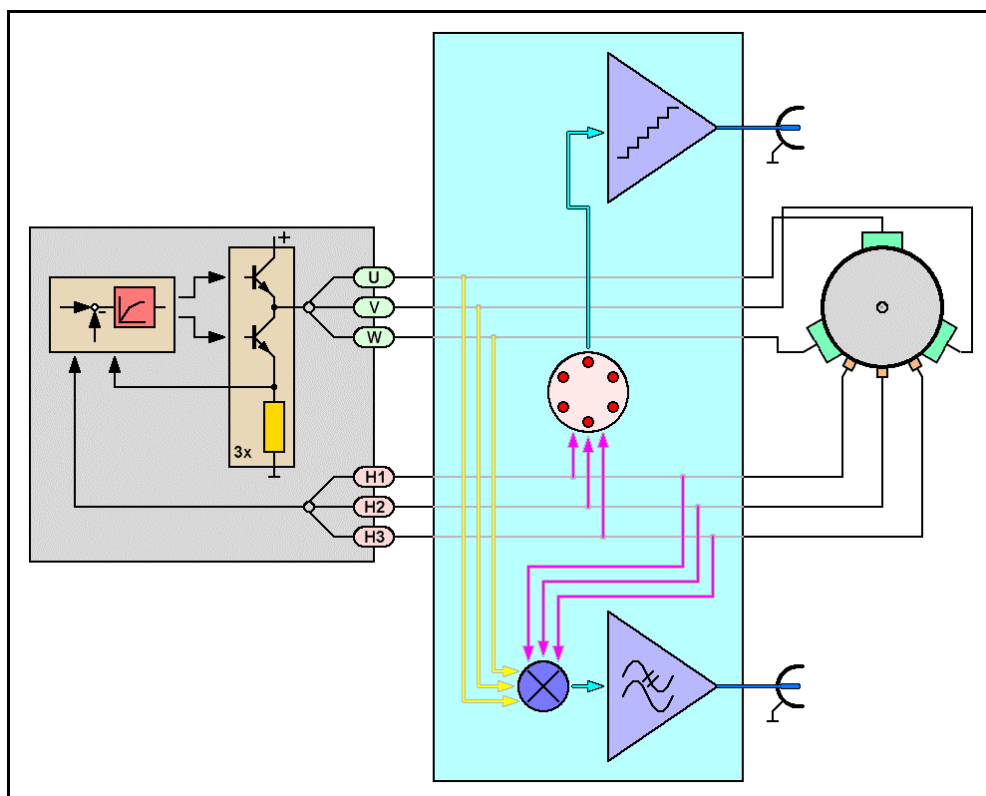
(je nach Rotorstellung, die durch die Hall-Sensoren erfasst wird). Dadurch reicht die Betrachtung einer einzigen Motorphase nicht aus, um den Motorstrom zu bewerten.

ROSNER-TDL

Bei der Inbetriebnahme eines BLDC-Antriebs ist es hilfreich, wenn die Motoransteuerung ein synthetisches Strom-Signal liefern kann, ohne dass man alle Motorphasen analysieren muss. Die meisten Hardware-Lösungen bieten allerdings nichts entsprechendes an, sodass man eigentlich nur

mit einer Stromzange entweder den Gesamtstrom erfassen kann (dann bleiben aber die Feinheiten der Stromregelung auf der Strecke) oder aber eine einzelne Stromphase abzugreifen. Beides ist nicht komplett ausreichend.

Für diese wichtige Phase der Inbetriebnahme, aber auch für tiefere Untersuchungen (z.B. zur Modellbildung) haben wir ein Gerät entwickelt, das sowohl die Motorphasen-Ströme als auch die Hall-Signale auswertet und den äquivalenten Strom als analoges Signal liefert.

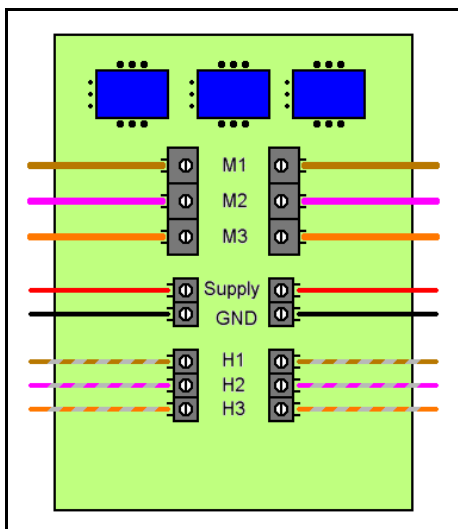
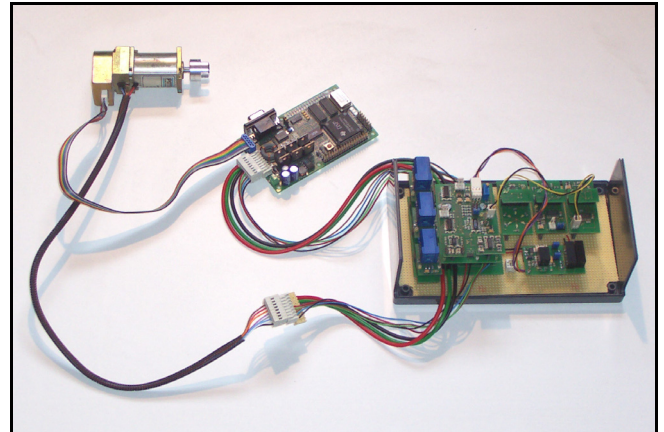


Weiterhin wird ein Rotorlagen-Signal erzeugt, aus dem man die korrekte Kommutierung überprüfen kann. Dazu wird den 6 Schritten der Block-Kommutierung einmal als LED-Uhr und einmal als analoges Stufensignal aufbereitet, wodurch zwei sehr intuitive Hilfsmittel bereitstehen.

Das Gerät wird einfach in das Anschlusskabel des Motors eingefügt (z.B. durch ein Adapterkabel).

## ROSNER-TDL

Wie das Foto zeigt, wird das Gerät einfach in das Motorkabel eingeschleift. Dabei wird die Funktion der Ansteuerung oder des Motors nicht beeinträchtigt.

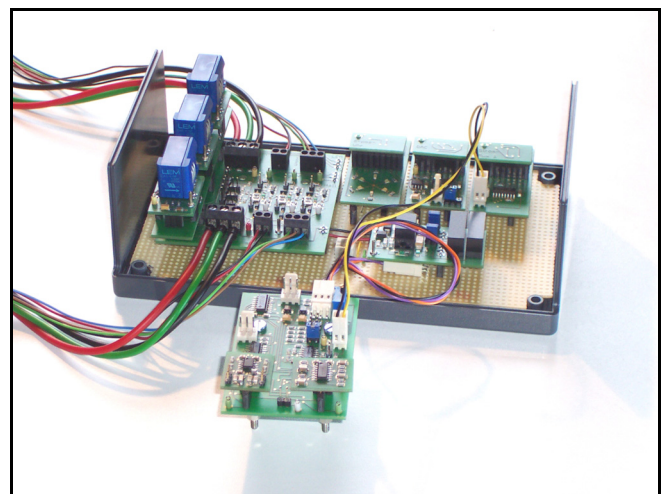


Die Hall-Versorgung wird im Gerät einfach durchgeleitet, aber nicht zur Versorgung des Geräts herangezogen. Die Verkabelung ist aber einfacher durchzuführen, wenn man alle Kabelenden links und recht auflegt, so dass die Kabelfarben direkt verglichen werden können.

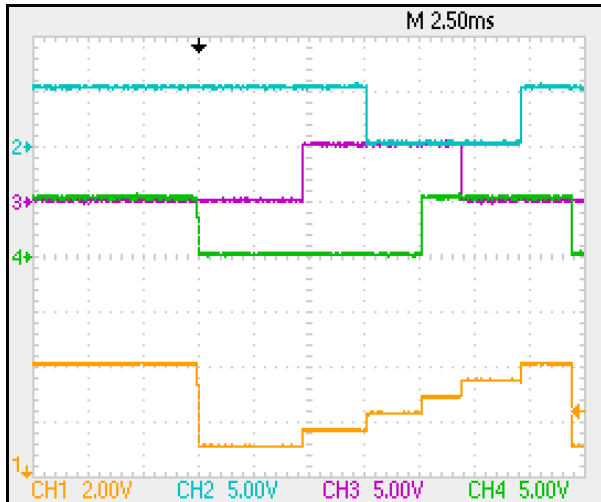
Die Eigenversorgung des Geräts erfolgt durch Akkus.

Das Gerät ist modular aufgebaut, da je nach Stellantrieb andere Leistungsdaten oder Hall-Schemata vorkommen können. Die gezeigte Version ist für Motorströme von ca. 10 A geeignet.

Die Signalverarbeitungs-Platine mit steckbaren Filtern wird über den Anschlussklemmen für die Motorphasen und die Hall-Sensoren angeordnet.

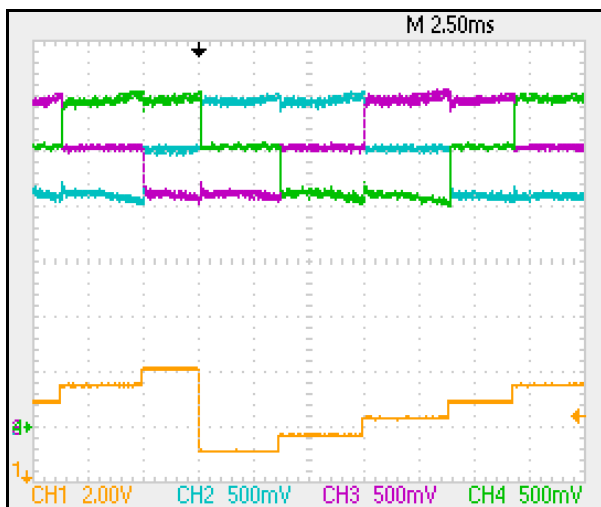


ROSNER-TDL



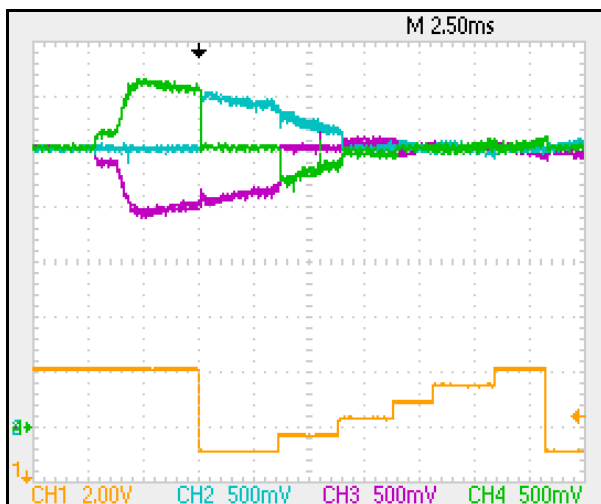
Die oberen drei Signale sind die Hall-Signale beim Loslaufen des Motors aus dem Stand. Diese drei digitalen Signale werden im Gerät zu einem kompakten analogen Signal zusammengefasst, das im unteren Teil des Bild zu sehen ist (1). Die sechs Schritte der Block-Kommutierung führen zu einem stufenförmigen Signal, aus dem man auch die Drehrichtung ableiten kann.

Durch die Kondensation zu nur einem einzigen analogen Signal spart man Messkanäle und gewinnt an Übersicht.



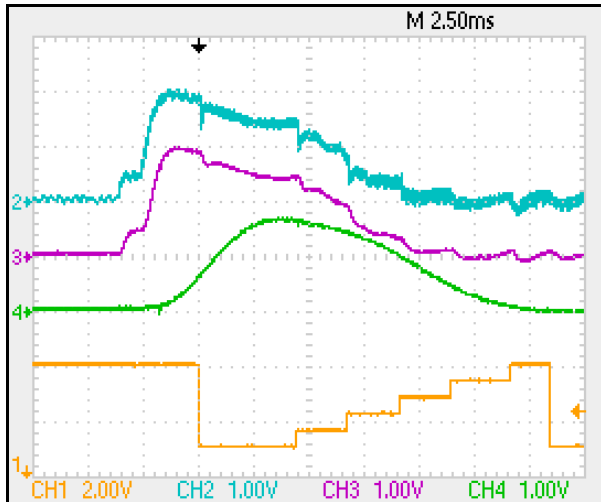
Wenn man dem Motor eine gleichmäßige Momentenbelastung vorgibt, dann entstehen Ströme wie im nebenstehenden Bild. Man erkennt, dass immer ein Signal Null ist.

Durch Vergleich mit dem Stufensignal der Block-Kommutierung sieht man, dass zu jeder Stufe eine andere Strom-Kombination vorliegt.



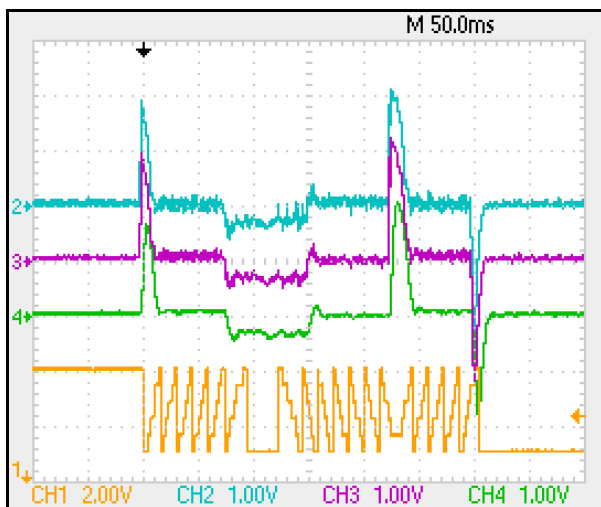
Ähnlich ist die Lage beim Betrachten der drei Motorphasen-Signale beim Loslaufen des Motors aus dem Stand. Auch hier wechseln bei jedem Kommutierungs-Schritt die Strom-Kombinationen.

## ROSNER-TDL



Das obere Signal (2) ist jetzt der äquivalente Motorstrom. Es ist oft hilfreich, die Stromsignale mit einem Tiefpass-Filter zu bearbeiten. Dadurch können z.B. Reste der PWM beseitigt werden, die sonst die Übersicht stören. Ganz nach Aufgabenstellung sind aber unterschiedliche Filter-Charakteristiken erwünscht.

Die beiden mittleren Signale sind das gefilterte Strom-Signal, gefiltert mit (3): Bessel 1 kHz, 2. Ordnung und (4): Bessel 100 Hz, 4. Ordnung.



Daher hat das Gerät steckbare Filter. Auch kann direkt zwischen zwei Filtern hin- und hergeschaltet werden, wodurch sich die Beurteilung der Signale erheblich vereinfacht.

Bei längerer Messung sieht man den kompletten Schwenk-Zyklus, erkennbar an den steigenden und fallenden Stufen

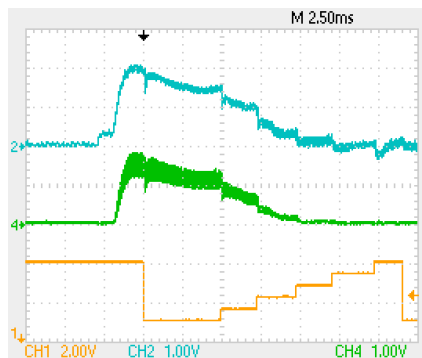
In diesem Zeitmaßstab führt das langsamere Filter zu etwas klareren Signalen.

Durch die Kondensation der Hall-Signale und der drei Strom-Signale zu jeweils einem einzigen Signal kann man sehr übersichtlich die Auswirkung von Regleränderungen bei BLDC-Antrieben untersuchen, ähnlich einfach wie mit Bürsten-Motoren.

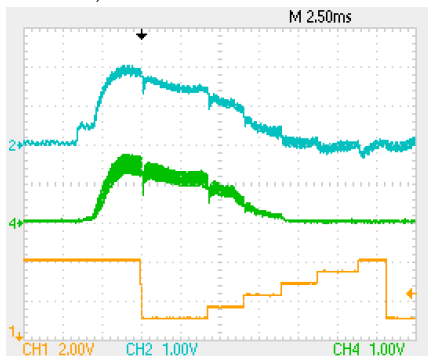
ROSNER-TDL

Die folgenden 5 Bilder zeigen die Auswirkung bei Änderung der Stromregler-Parameter (PI-Regler), wobei die Regler-Parameter um einen nennenswerten Betrag vom Nominalwert verändert werden. In vertikaler Richtung wird der Proportional-Faktor variiert, während in horizontaler Richtung der Integral-Faktor variiert wird.

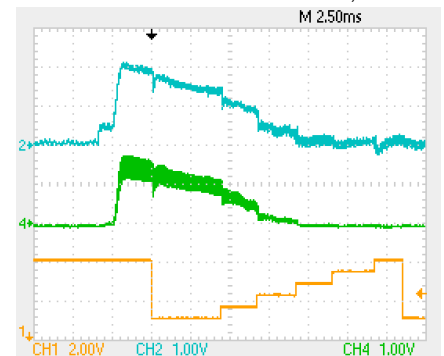
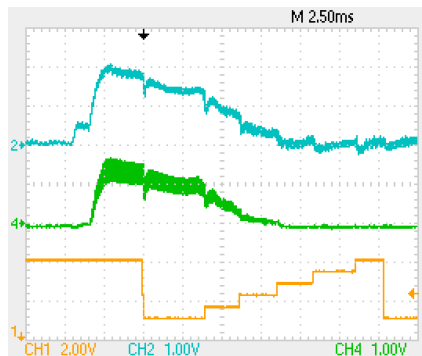
$$K_p = K_{p,0} * 1.5$$



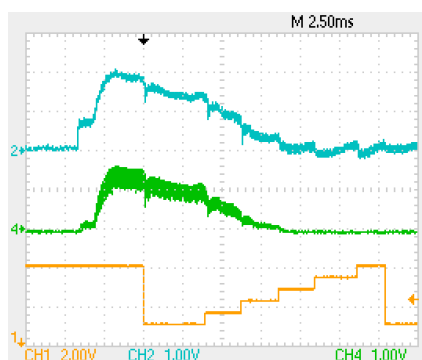
$$K_i = K_{i,0} / 1.5$$



$$K_i = K_{i,0} * 1.5$$



$$K_p = K_{p,0} / 1.5$$



**Norbert Rosner  
Stellantriebe**

Telefon: +49 (0) 58 27 / 97 09 81  
Telefax: +49 (0) 58 27 / 97 09 82

Neue Straße 3  
D-29 345 Unterlüß

E-Mail: [rosner@rosner-tdl.de](mailto:rosner@rosner-tdl.de)  
Internet: [www.ROSNER-TDL.de](http://www.ROSNER-TDL.de)