

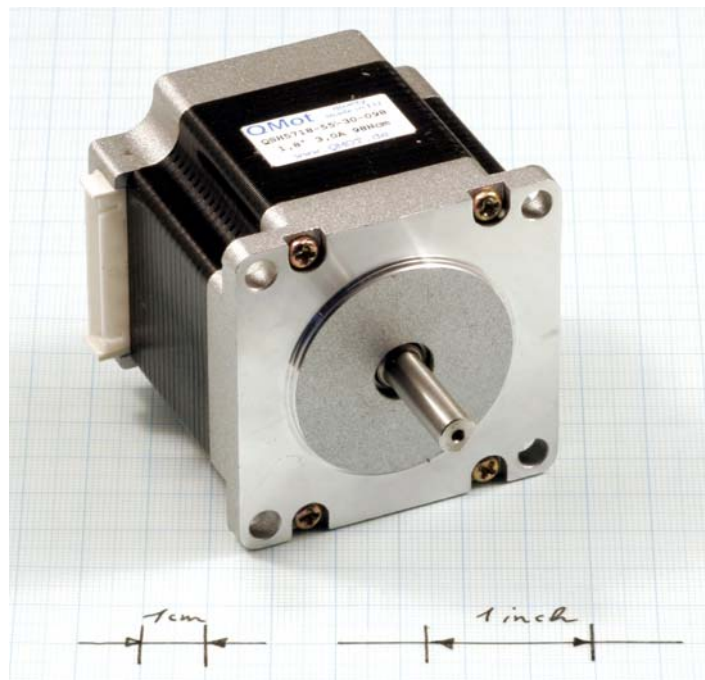
## Schrittmotortreiber – Grundlagen zur Anpassung an die Motorspezifika

Die TMC236 / TMC239 und TMC246 / TMC249 Familie mikroschrittfähiger Schrittmotortreiber deckt einen weiten Anwendungsbereich von Schrittmotoren in kommerziellen und industriellen Anwendungsfeldern ab. Dieser Artikel soll aufzeigen, wie die Schrittmotortreiber optimal für die Applikation konfiguriert werden kann.

### Bestimmung der Design-Parameter

#### 1. Wahl des Motors

Schrittmotoren werden mit Konstantstrom betrieben, um eine hohe Dynamik und eine hohe Drehzahl erzielen zu können. Nur in wenigen Anwendungen mit sehr geringen Anforderungen kann ein Betrieb an konstanter Spannung ausreichend sein. Wichtigster Schlüsselparameter des Motors ist sein **Spulenstrom**. Dieser wird vom Motorhersteller spezifiziert und ist als Effektivwert an beiden Spulen erforderlich, um das volle Drehmoment zu erreichen. Im Standby, oder in Bewegungsphasen wo weniger Drehmoment erforderlich ist, kann der Motor auch mit verringertem Strom betrieben werden. Dies verringert die Verlustleistung deutlich, da sie proportional dem Quadrat des Stromes ist (vergleiche Abschnitt zur Stromversorgung). Das Drehmoment eines Schrittmotors ist immer von der Geschwindigkeit abhängig. Die resultierende Drehmomentkurve hängt dabei noch von der Versorgungsspannung des Treiberbausteins ab. Mit höherer **Versorgungsspannung** kann generell eine höhere maximale Drehzahl erzielt werden. Die dargestellte Kurve für einen Nema 23 / 57mm Qmot-Schrittmotor mit 200 Vollschritten pro Umdrehung verdeutlicht dies für zwei Treiber-Versorgungsspannungen. Besteht in einer Anwendung keine Möglichkeit, die Versorgungsspannung anzupassen, so muss ein Motor mit höherem Spulenstrom gewählt werden, wenn die erforderliche Drehzahl mit der gegebenen Versorgungsspannung nicht erreichbar ist.



Qmot Nema 23 / 57mm Schrittmotor

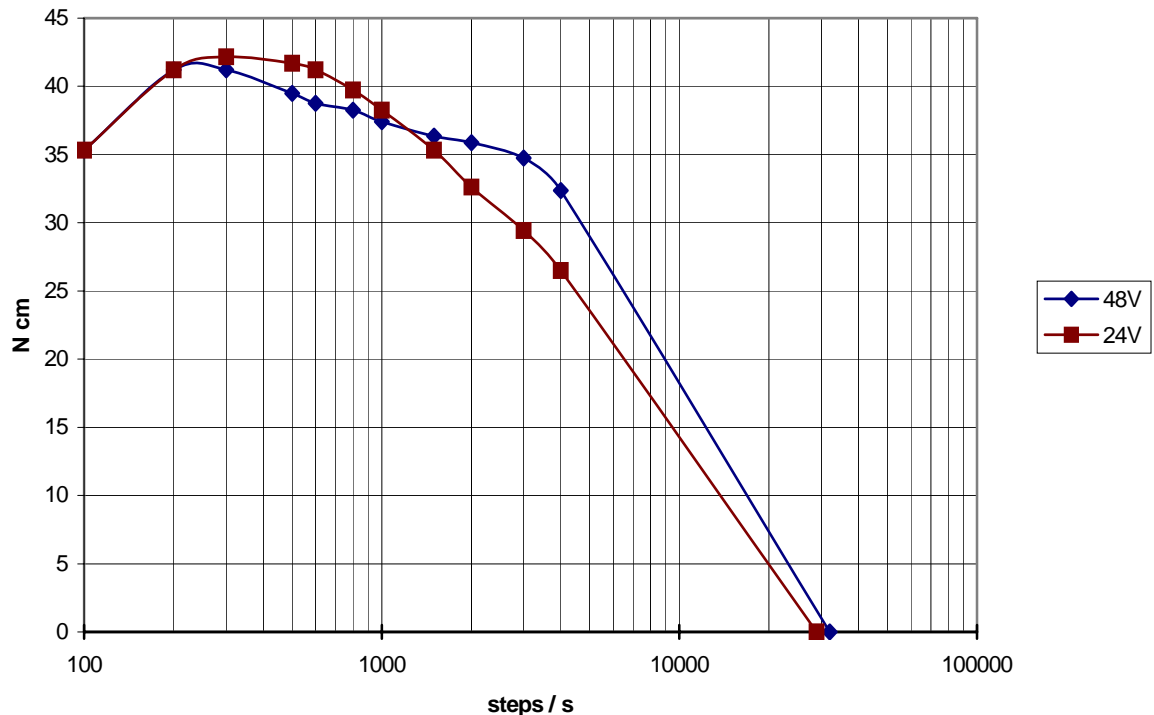
For more information about TRINAMIC, please contact:

TRINAMIC Motion Control GmbH & Co. KG  
Sternstraße 67 • 20357 Hamburg  
Phone: +49 40 51 48 06-0  
Fax: +49 40 51 48 06-60  
Internet: <http://www.trinamic.com>  
E-Mail: [info@trinamic.com](mailto:info@trinamic.com)

© TRINAMIC Motion Control GmbH & Co. KG 2006

TRINAMIC assumes no responsibility for any errors which may appear in this document, reserves the right to change devices, software or specification detailed herein of any time without notice and does not make any commitment to update the information contained herein. TRINAMIC products are not authorised for use as critical components in life support devices or systems.

QSH5718-41-30-047



## 2. Dimensionierung der Stromversorgung

Ist der notwendige Motor selektiert, können wir die Spannungsversorgung für den Motortreiber geeignet dimensionieren.

### a) Spannung

Absolutes Minimum für die Versorgungsspannung ist derjenige Wert, den der Motor benötigt, um den vollen Strom in jeder (Mikro)schritt- Stellung bereitzustellen. In der Praxis können Motortreiber jedoch nur gut arbeiten, wenn die Versorgungsspannung das Doppelte bis Vierfache dieses Wertes beträgt. Das 20-fache dieser Spannung sollte andererseits auch nicht überschritten werden, da sonst die Chopperverluste im Eisen des Motors eine signifikante Höhe erreichen.

$$U_{\min} = (2..4) \cdot R_{\text{mot}} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{mot}}$$

In der Praxis wird man für netzbetriebene Geräte eine Versorgungsspannung im Bereich von 12V bis 48V wählen, da Netzteile für diese Spannungen gut erhältlich sind oder aber im Gerät schon vorhanden sind. Weiterhin wird mit 48V der Schutzkleinspannungsbereich noch nicht überschritten wird und damit vereinfacht sich eine ggf. notwendige Zulassung. Dabei lassen sich mit 24V die meisten Schrittmotoren schon sehr gut betreiben, sofern nicht eine besonders hohe Drehzahl gefordert ist.

For more information about TRINAMIC, please contact:

TRINAMIC Motion Control GmbH & Co. KG  
 Sternstraße 67 • 20357 Hamburg  
 Phone: +49 40 51 48 06-0  
 Fax: +49 40 51 48 06-60  
 Internet: <http://www.trinamic.com>  
 E-Mail: [info@trinamic.com](mailto:info@trinamic.com)

© TRINAMIC Motion Control GmbH & Co. KG 2006

TRINAMIC assumes no responsibility for any errors which may appear in this document, reserves the right to change devices, software or specification detailed herein of any time without notice and does not make any commitment to update the information contained herein. TRINAMIC products are not authorised for use as critical components in life support devices or systems.

**b) Leistungsfähigkeit der Stromversorgung**

Die aufgezeigten Schrittmotortreiber haben allesamt einen sehr guten Wirkungsgrad, da sie modernste Low-RDSon MOSFETs verwenden. Die Stromaufnahme der Schaltung resultiert daher in erster Linie aus der Verlustleistung des Motors. Der Wirkungsgrad der Treiber ist typisch 80%-95% bei Verwendung der dargestellten Treiber-ICs. Sofern der Motor nicht extrem schnell gedreht wird, muss die Stromversorgung daher in erster Linie die thermische Leistung des Schrittmotors erbringen. Erst bei sehr hohen Drehzahlen fällt die mechanisch abgegebene Leistung signifikant ins Gewicht und kann bis zu einer Verdoppelung der Stromaufnahme führen. Sind mehrere Motoren im System, ist zu beachten wie viele Motoren maximal zugleich bei welcher Leistung betrieben werden.

Leistungsaufnahme P des Motors im Betrieb (bei niedriger Drehzahl)

Spulenstrom:  $I_C$ , Innenwiderstand des Motors pro Spule: R

$$P_M = 2 \cdot R \cdot I_C^2$$

Dauerleistung des Netzteils:  $\geq 1,2 \cdot P_M$

Spitzenstrom des Netzteils (Kann über Kondensatoren bereitgestellt werden – wird nur über eine Chopperperiode gezogen, d.h. wenige 10µs)

$$2 \cdot I_{COIL}$$

Ein Pufferkondensator von 1000µF kann dabei den bei einem Spannungsabfall von  $dU = 0.2V$  einen Motorstrom von 2A 50µs lang abpuffern.

$$dU = \frac{I \cdot t}{C}$$

Ein solcher Pufferkondensator sollte im Hinblick auf geringen Versorgungsspannungs-Ripple und damit möglichst geringe elektromagnetische Ausstrahlung über die Versorgungsspannungsleitungen ausgelegt werden.

Bei der Wahl eines Schaltnetzteils oder eines Netzteils mit elektronischer Kurzschlussstrombegrenzung ist zu berücksichtigen, dass solche Netzteile oft deutlich überdimensioniert werden müssen, da sie trotz geringer mittlerer Stromaufnahme der Schaltung bei der gehoppten Stromentnahme dazu tendieren, in die Strombegrenzung zu gehen. Viele Primärschaltnetzteile verkraften zudem keine großen Kapazitäten am Ausgang, da sie sonst schon während des Einschaltvorganges in die Strombegrenzung gehen.

For more information about TRINAMIC, please contact:

TRINAMIC Motion Control GmbH & Co. KG  
Sternstraße 67 • 20357 Hamburg  
Phone: +49 40 51 48 06-0  
Fax: +49 40 51 48 06-60  
Internet: <http://www.trinamic.com>  
E-Mail: [info@trinamic.com](mailto:info@trinamic.com)

© TRINAMIC Motion Control GmbH & Co. KG 2006

TRINAMIC assumes no responsibility for any errors which may appear in this document, reserves the right to change devices, software or specification detailed herein of any time without notice and does not make any commitment to update the information contained herein. TRINAMIC products are not authorised for use as critical components in life support devices or systems.

### 3. Wahl des Schrittmotor Treiber ICs

Nachdem nun die Schlüsselparameter Spulenstrom und notwendige Treiberversorgungsspannung bestimmt wurden, kann der Schrittmortreiber selbst selektiert werden. Die Trinamic-Treiber sind wahlweise mit integrierten oder mit externen Leistungstransistoren verfügbar. Die Treiber mit integrierten Transistoren (TMC236 und TMC246) passen sehr gut zu den kleineren, meist verwendeten Motoren bis zu einer Größe von 42mm. Sie können Spulenströme bis zu 1,1A treiben (Effektivwert bei Mikroschrittbetrieb, bzw. 1,5A Spitzenstrom). Die Versionen mit externen Transistoren (TMC239 und TMC249) decken dabei das obere Spektrum der Spulenströme bzw. höhere Versorgungsspannungen ab. Die TMC246 und TMC249 verfügen über eine elektronische Anschlagdetektion, die einen Endschalter in vielen Anwendungen ersetzen kann.

Typ	Motor- versorgungs- spannung	Strombereich (Effektivwert – wie auf Motor angegeben)	Sensorlose Anschlag- detektion	Schutz/ Diagnose	Gehäuse
TMC 236 A PA TMC 246 A PA	7V – 34V: Abb. 1 (4.5 – 7V über Zusatzbeschaltung)	0 – 1,1A (bis 2A bei Kurz- zeitbetrieb möglich)	bei TMC 246	J	PQFP-44 10*10mm
TMC 239 A SA TMC 249 A SA	7V – 34V: Abb. 2 34V – 58V: Abb. 3	0 – 4A	bei TMC 249	J	SO28
TMC 239 A LA TMC 249 A LA	- " -	- " -	- " -	- " -	QFN leadless 7*7mm <sup>2</sup>

Tabelle 1: Auswahl des Bausteins und der Schaltung



For more information about TRINAMIC, please contact:

TRINAMIC Motion Control GmbH & Co. KG  
 Sternstraße 67 • 20357 Hamburg  
 Phone: +49 40 51 48 06-0  
 Fax: +49 40 51 48 06-60  
 Internet: <http://www.trinamic.com>  
 E-Mail: [info@trinamic.com](mailto:info@trinamic.com)

© TRINAMIC Motion Control GmbH & Co. KG 2006

TRINAMIC assumes no responsibility for any errors which may appear in this document, reserves the right to change devices, software or specification detailed herein of any time without notice and does not make any commitment to update the information contained herein. TRINAMIC products are not authorised for use as critical components in life support devices or systems.

#### 4. Bestimmung der notwendigen Zusatzbeschaltung

##### a) *Einstellung des Zielstromes*

Ein Sensewiderstand dient dem Motortreiber zur Messung des Motorstromes und ist daher entscheidend für die Anpassung der Schaltung auf den Motor. Die vorgestellten Treiber arbeiten mit einer Messspannung von typisch 0,34V. Das bedeutet, dass der Sensewiderstand so dimensioniert sein muss, dass bei 0,34V der gewünschte Maximalstrom erreicht wird, also im Falle des Mikroschrittbetriebes mit Sinuswellen der Nennmotorstrom  $\cdot \sqrt{2}$ .

$$R_S = \frac{V_{TRIP}}{I_{max}} \quad \text{typisch:} \quad R_S = \frac{0,34V}{I_{max}}$$

$R_S$ : Sensewiderstand für Brücke A und B

$V_{TRIP}$ : Schwellenspannung der Stromkomparatoren, wird über SPI-Telegramm skaliert

$I_{max}$ : Maximal erreichbarer Spulenstrom

##### b) *Einstellung der Oszillatorfrequenz*

Schrittmotoren können aufgrund von Magnetorestriktion und nicht beliebig fester Wicklung der Spulen durchaus auch höhere Frequenzen in hörbaren Schall umwandeln. Eine Chopperfrequenz außerhalb des hörbaren Bereiches ist daher empfehlenswert, d.h. sie sollte oberhalb von ca. 18kHz liegen. Da sich oft auch Frequenzanteile mit einem Bruchteil der Chopperfrequenz ergeben, empfiehlt sich die Wahl eines noch höheren Wertes von beispielsweise 36Khz (680pF - siehe Schaltbilder). Niedrigere Frequenzen verringern die Schaltverluste der Transistoren, höhere Frequenzen reduzieren hörbare Frequenzanteile.

##### c) *Einstellung der Flankensteilheit*

Das Thema EMV und CE-Abnahme ist für viele Entwickler von Geräten zu einem kritischen Punkt geworden: Sehr vorsichtiges Design mit Entstörfiltern an allen Anschlüssen eines Gerätes nach draußen und Verwendung eines massiven Metallgehäuses führt zu hohen Kosten. Zu unvorsichtiges Design dagegen kann ein komplettes Re-Design nach sich ziehen. Die Störenfriede sind oft nur schwer auszumachen.

Der gehopperte Betrieb eines Schrittmotors ist ein EMV-kritischer Punkt: Im Hinblick auf eine geringe Verlustleistung der Schaltung sind steile Flanken optimal – im Hinblick auf EMV sollten die Flanken jedoch abgeflacht sein, um das Frequenzspektrum auf den leicht beherrschbaren und unkritischen niederfrequenten Bereich zu beschränken.

Die Wahl der Schaltflankensteilheit ist besonders kritisch wenn der Schrittmotor selbst außerhalb des abgeschirmten Bereiches der Schaltung sitzt. Das Abflachen von Flanken kann erreicht werden über LC-Filter an den Motorleitungen und darauf abgestimmte RC Dämpfungselemente (siehe Beispiel in Abb. 2). Die TMC-Schrittmotortreiberfamilie bietet jedoch noch eine elegante, kostengünstige Methode: Die Einstellung der Flankensteilheit.

Jetzt ist noch ein Kompromiss zwischen Flankensteilheit und Verlustleistung zu finden. Sinnvolle Werte liegen im Bereich 100ns bis 500ns. Hier eine Faustformel zu Berechnung der Verlustleistung des Treibers aufgrund dynamischer Verluste (theoretisch Null bei unendlicher Flankensteilheit) und statischer Verluste (gegeben durch den Innenwiderstand der Brückentransistoren). Diese ist auf der Trinamic-Website auch als Excel verfügbar.

For more information about TRINAMIC, please contact:

TRINAMIC Motion Control GmbH & Co. KG  
 Sternstraße 67 • 20357 Hamburg  
 Phone: +49 40 51 48 06-0  
 Fax: +49 40 51 48 06-60  
 Internet: <http://www.trinamic.com>  
 E-Mail: [info@trinamic.com](mailto:info@trinamic.com)

© TRINAMIC Motion Control GmbH & Co. KG 2006

TRINAMIC assumes no responsibility for any errors which may appear in this document, reserves the right to change devices, software or specification detailed herein of any time without notice and does not make any commitment to update the information contained herein. TRINAMIC products are not authorised for use as critical components in life support devices or systems.

Die folgenden Gleichung helfen bei der Nahrungsweisen Bestimmung der Verluste in den Schalttransistoren aufgrund statischer Verluste (Innenwiderstand) und dynamischer Verluste (Schaltflanken). Als eine gute Näherung für das Tastverhältnis können dabei 33% gewählt werden. Die Anzahl der eingeschalteten Motorspulen ist ebenfalls erfasst: In der Vollschrittstellung zwei bei Nennstrom des Motors, in der Halbschrittstellung eine beim 1,41-fachen Nennstrom.

$$P_G = P_{STAT} + P_{DYN}$$

$$P_{STAT} = N_{COIL} \cdot I_{COIL}^2 \cdot ((2 - t_{DUTY}) \cdot R_{ON,SINK} + t_{DUTY} \cdot R_{ON,SOURCE})$$

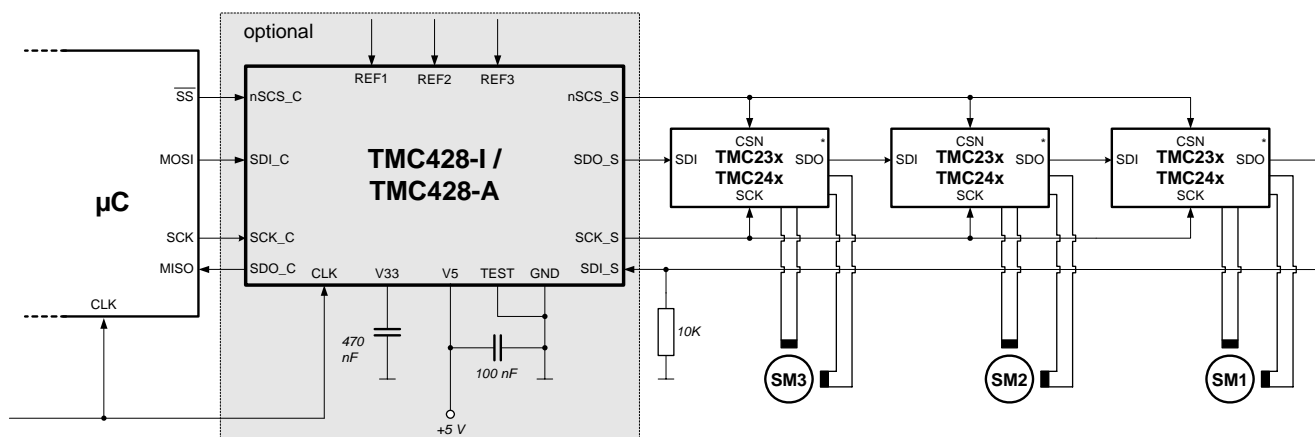
$$P_{DYN} = I_{COIL} \cdot \frac{V_S}{2} \cdot f_c \cdot t_{SLP} \cdot 2 \cdot N_{COIL}$$

$P_G$ : Verlustleistung,  $P_{STAT}$ : Statische Verlustleistung,  $P_{DYN}$ : Dynamische Verlustleistung  
 $N_{COIL}$ : Anzahl der Spulen  
 $I_{COIL}$ : Spulenstrom  
 $t_{DUTY}$ : Tastverhältnis der Brücke  
 $R_{ON,SINK}$ : Innenwiderstand der N-Kanal-Transistoren bei  $U_G=6V$   
 $R_{ON,SOURCE}$ : Innenwiderstand der P-Kanal-Transistoren bei  $U_G=6V$   
 $V_S$ : Versorgungsspannung  
 $f_c$ : Chopperfrequenz  
 $t_{SLP}$ : Flankendauer

## 5. Applikationsschaltungen

### Überblick: Anwendungsumgebung der Schrittmotortreiber

Zur Generierung der für eine Schrittmotor benötigten Geschwindigkeitsrampen und der Erzeugung der benötigten Schrittsequenzen kann ein für diese Aufgabe speziell entwickelter IC wie der TMC 428 verwendet werden. Dieser kleine im SSOP16 untergebrachte Baustein unterstützt bis zu drei Motoren. Alternativ kann die Erzeugung einfacher Fahrtrampen durch einen Mikrocontroller direkt geschehen. In beiden Fällen kann die Kommunikation via SPI stattfinden. Eine analoge Ansteuerung der Treiber-ICs über DACs ist ebenfalls möglich.



For more information about TRINAMIC, please contact:

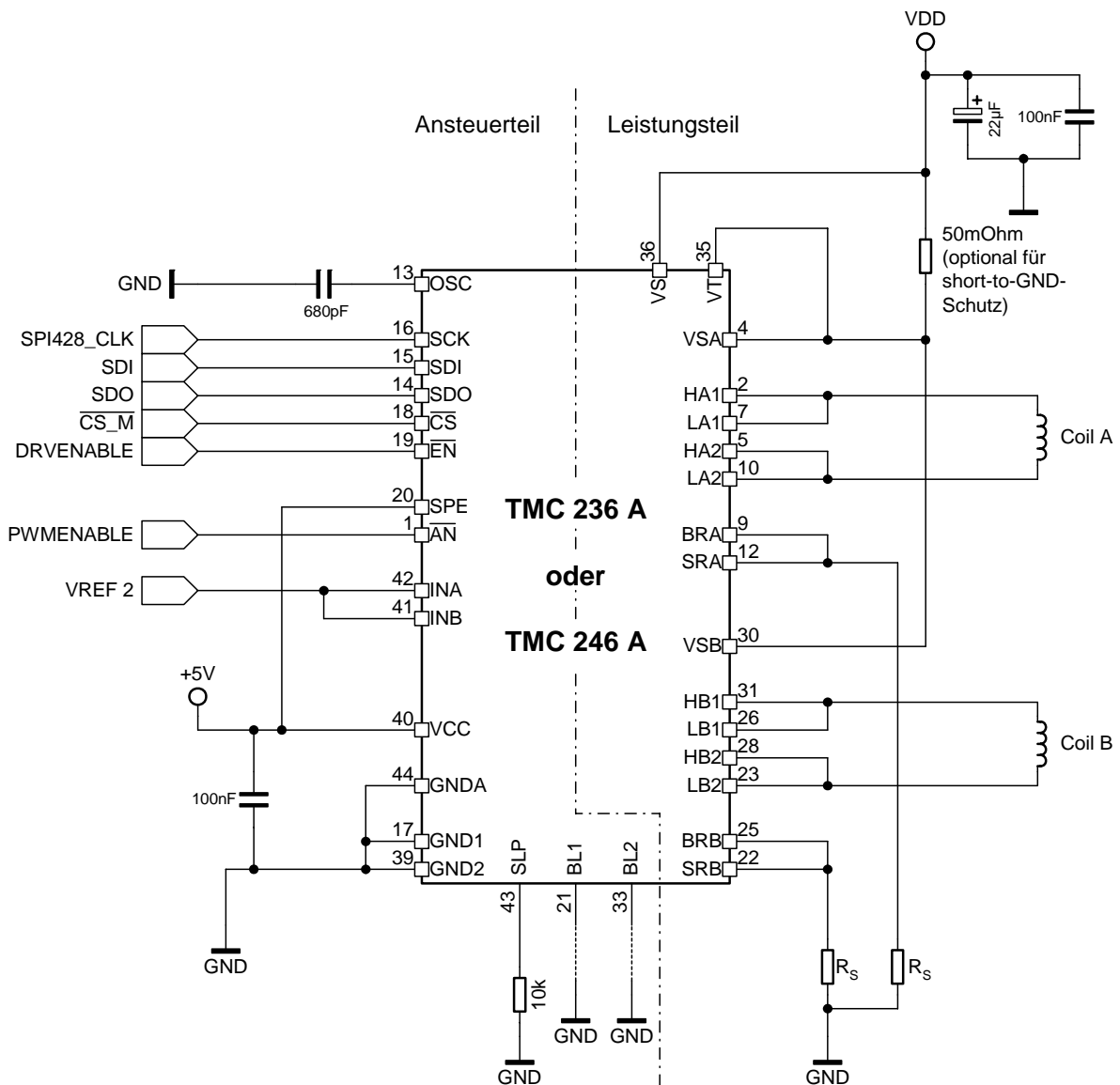
TRINAMIC Motion Control GmbH & Co. KG  
 Sternstraße 67 • 20357 Hamburg  
 Phone: +49 40 51 48 06-0  
 Fax: +49 40 51 48 06-60  
 Internet: <http://www.trinamic.com>  
 E-Mail: [info@trinamic.com](mailto:info@trinamic.com)

© TRINAMIC Motion Control GmbH & Co. KG 2006

TRINAMIC assumes no responsibility for any errors which may appear in this document, reserves the right to change devices, software or specification detailed herein of any time without notice and does not make any commitment to update the information contained herein. TRINAMIC products are not authorised for use as critical components in life support devices or systems.

Detailschaltungen: Beschaltung der Treiber-ICs

Abb 1: TMC 236/246 Standardbeschaltung



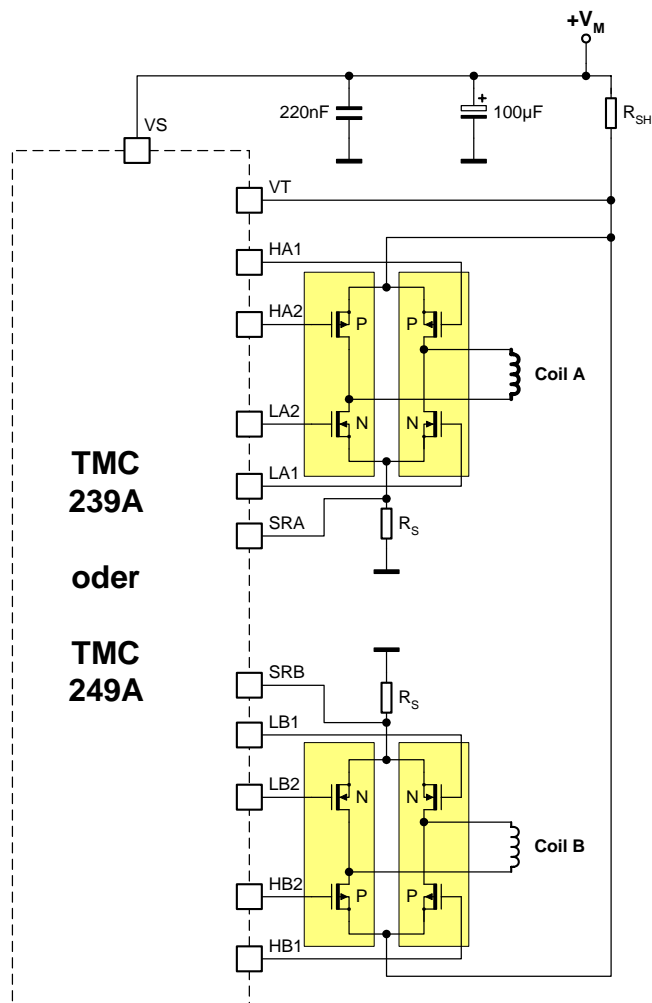
Der Motor ist hier nur mit seinen Spulen als Coil A / Coil B dargestellt.

For more information about TRINAMIC, please contact:

TRINAMIC Motion Control GmbH & Co. KG  
Sternstraße 67 • 20357 Hamburg  
Phone: +49 40 51 48 06-0  
Fax: +49 40 51 48 06-60  
Internet: <http://www.trinamic.com>  
E-Mail: [info@trinamic.com](mailto:info@trinamic.com)

© TRINAMIC Motion Control GmbH & Co. KG 2006

TRINAMIC assumes no responsibility for any errors which may appear in this document, reserves the right to change devices, software or specification detailed herein of any time without notice and does not make any commitment to update the information contained herein. TRINAMIC products are not authorised for use as critical components in life support devices or systems.

**Abb. 2: TMC 239/249 mit Standardbeschaltung des Leistungsteils (siehe Applikationsnotiz)**

**Wahl der Schalttransistoren (Beispiele für N&P-Kanal Doppeltransistoren):**

Bezeichnung	Max. Motorstrom	Max. Spannung	Bauform
FDS8333	2A RMS	28,5V	SO8
SI4539	2A RMS	28,5V	SO8
SI4559	2A RMS	34V	SO8
SI7501 (*)	2,8A RMS	28,5V	Power-SO3mm*3mm
Jeweils 2*FDS8333 parallel	4A RMS	28,5V	SO8

(\*) Achtung: Wegen hoher Gate-Drain-Ladung beim P-Kanal-Transistor sind 1A Schottky Schutzdioden erforderlich von Gate → Source

For more information about TRINAMIC, please contact:

 TRINAMIC Motion Control GmbH & Co. KG  
 Sternstraße 67 • 20357 Hamburg  
 Phone: +49 40 51 48 06-0  
 Fax: +49 40 51 48 06-60  
 Internet: <http://www.trinamic.com>  
 E-Mail: [info@trinamic.com](mailto:info@trinamic.com)

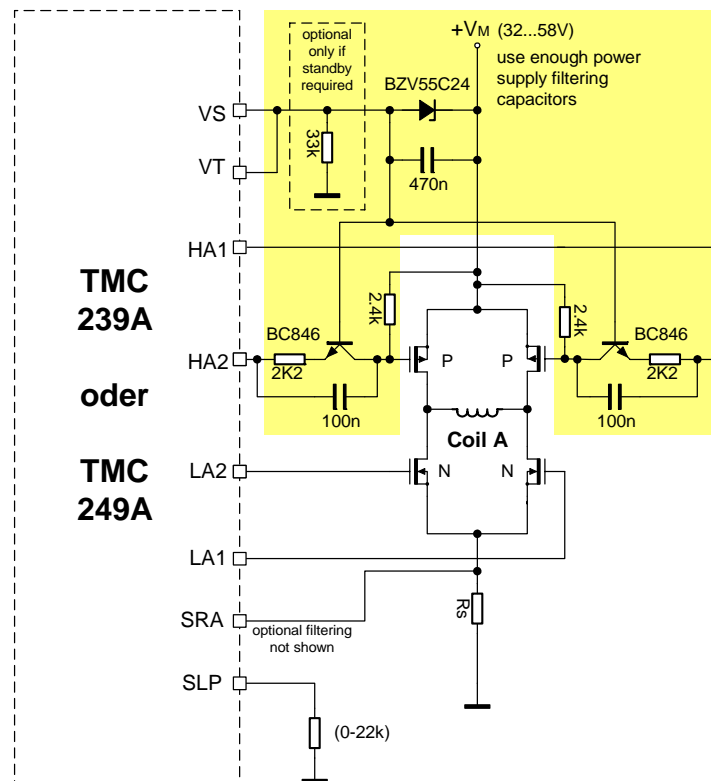
© TRINAMIC Motion Control GmbH &amp; Co. KG 2006

TRINAMIC assumes no responsibility for any errors which may appear in this document, reserves the right to change devices, software or specification detailed herein of any time without notice and does not make any commitment to update the information contained herein. TRINAMIC products are not authorised for use as critical components in life support devices or systems.



**Abb. 3: TMC 239/249 mit Zusatzbeschaltung für höhere Spannung**

Die Darstellung wurde auf eine Transistorvollbrücke (eine Motorspule) beschränkt.


**Transistortypen (60V) (Beispiel für N&P-Kanal Doppeltransistoren):**

Bezeichnung	Max. Motorstrom	Max. Spannung	Bauform
SI 4559	bis 2A RMS	58V	SO8
SI 7530 (*)	bis 3A RMS	58V	PowerSO8

(\*) Achtung: Wegen hoher Gate-Drain-Ladung sind 1A Schottky Schutzdioden erforderlich von Gate → Source der Transistoren

For more information about TRINAMIC, please contact:

 TRINAMIC Motion Control GmbH & Co. KG  
 Sternstraße 67 • 20357 Hamburg  
 Phone: +49 40 51 48 06-0  
 Fax: +49 40 51 48 06-60  
 Internet: <http://www.trinamic.com>  
 E-Mail: [info@trinamic.com](mailto:info@trinamic.com)

© TRINAMIC Motion Control GmbH &amp; Co. KG 2006

TRINAMIC assumes no responsibility for any errors which may appear in this document, reserves the right to change devices, software or specification detailed herein of any time without notice and does not make any commitment to update the information contained herein. TRINAMIC products are not authorised for use as critical components in life support devices or systems.