

Entwicklung eines BLDC-Motorcontrollers

Studienarbeit II (T3_3200)

des Studienganges Elektrotechnik

an der Duale Hochschule Baden-Württemberg Karlsruhe

von

Pascal Lauer

Abgabedatum:	09.04.2026
Bearbeitungszeitraum:	12 Wochen
Matrikelnummer, Kurs:	5558179, TEL23B1
Dualer Partner:	ARKU Maschinenbau GmbH 76532 Baden-Baden
Betreuer des Dualen Partners:	B. Eng. Adrian Fleig
Gutachter der Dualen Hochschule:	Titel Vorname Nachname

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich meine Studienarbeit mit dem Thema: „Entwicklung eines BLDC-Motorcontrollers“ selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Baden-Baden, 26. Januar 2026

Ort, Datum

Unterschrift

Gender-Disclaimer

Die in der vorliegenden Arbeit verwendeten Personenbezeichnungen beziehen sich gleichermaßen auf weibliche, männliche und diverse Personen. Auf eine Doppelnennung und gegenderte Bezeichnung wird zugunsten einer besseren Lesbarkeit verzichtet.

KI-Disclaimer

Zur sprachlichen Überarbeitung einzelner Abschnitte wurde das Sprachmodell Gemini von Google verwendet. Die inhaltliche Verantwortung liegt vollständig beim Verfasser. Es wurden ausschließlich vorhandene, selbst verfasste Inhalte überarbeitet, nicht generiert.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Einführung	1
1.2	Motivation und Zielsetzung	1
1.3	Vorgehensweise	1
2	Grundlagen	2
2.1	2
2.2	2
2.3	2
3	Dimensionierung des Bootstrap-Kondensators C_{BOOT}	3

1 Einleitung

Hier beginnt dein Dokument.

1.1 Einführung

1.2 Motivation und Zielsetzung

1.3 Vorgehensweise

2 Grundlagen

Hier beginnt dein Dokument.

2.1

2.2

2.3

3 Dimensionierung des Bootstrap-Kondensators C_{BOOT}

Die Dimensionierung des Bootstrap-Kondensators (C_{BOOT}) ist ein kritischer Aspekt beim Design von High-Side-Treiberschaltungen. Der Kondensator dient als schwimmende Spannungsquelle (Floating Supply) für den High-Side-Teil des Gatetreibers und wird jeweils aufgeladen, wenn der Low-Side-Schalter leitend ist und das Referenzpotential auf Masse zieht. Entladen wird der Kondensator ausschließlich während der Einschaltphase des High-Side-MOSFETs.

Ein wesentliches Auslegungskriterium ist der maximal zulässige Spannungsabfall ΔV_{BOOT} über dem Kondensator während der Einschaltzeit (t_{on}). Fällt die Spannung am Kondensator zu stark ab, sinkt die effektive Gate-Source-Spannung V_{GS} des High-Side-Transistors. Dies kann dazu führen, dass der Transistor den Sättigungsbereich verlässt, was die Leitendverluste signifikant erhöht, oder dass die Unterspannungsabschaltung (UVLO) des Treibers aktiviert wird. Gemäß der Auslegungsvorschriften für Bootstrap-Schaltungen muss der Kondensator daher eine ausreichende Ladungsreserve Q_{Total} bereitstellen, um den Spannungsabfall innerhalb definierter Grenzen zu halten [?].

Die zur Dimensionierung notwendige Gesamtkapazität berechnet sich nach:

$$C_{\text{BOOT}} = \frac{Q_{\text{Total}}}{\Delta V_{\text{BOOT}}} \quad (3.1)$$

Die benötigte Gesamtladung Q_{Total} setzt sich dabei additiv aus der Gateladung des MOSFETs, der Ladung für den internen Level-Shifter sowie den Verlusten durch Leckströme zusammen.

Für den hier verwendeten MOSFET IPP034N08N5 ist im Datenblatt eine Gateladung von 87 nC bei einer Ansteuerung von 10 V spezifiziert. Da der Gatetreiber IR2104 jedoch mit $V_{\text{CC}} = 15 \text{ V}$ versorgt wird, muss die Gateladung für diesen Arbeitspunkt extrapoliert werden. Unter Einbeziehung der Eingangskapazität C_{iss} ergibt sich eine effektive Gateladung von:

$$Q_{\text{Gate}} \approx 5 \text{ V} \cdot C_{\text{iss}} + Q_{\text{Gate},10\text{V}} = 111 \text{ nC} \quad (3.2)$$

Zusätzlich zur statischen Gateladung müssen die zeitabhängigen Verluste durch Leckströme während der maximalen Einschaltdauer berücksichtigt werden. Für die Berechnung wird ein Worst-Case-Szenario mit einer Periodendauer $T = 50 \mu\text{s}$ (entsprechend $f_s = 20 \text{ kHz}$) als relevante Entladezeit t_{on} angenommen. Die relevanten Leckströme ergeben sich aus den Datenblättern des Treibers und der Peripherie:

- Treiber-Leckstrom: $I_{\text{LK}} = 50 \mu\text{A}$

- Ruhestrom der Bootstrap-Schaltung: $I_{\text{QBS}} = 55 \mu\text{A}$
- Gate-Source-Leckstrom: $I_{\text{GSS}} = 100 \text{ nA}$
- Leckstrom der Bootstrap-Diode: $I_{\text{LKDIODE}} = 10 \mu\text{A}$

Der Leckstrom des Kondensators selbst (I_{LKCAP}) wird vernachlässigt, da ein Keramik-kondensator mit vernachlässigbarer Selbstentladung zum Einsatz kommt. Die Summe der Leckströme beträgt somit $I_{\text{Leak}} \approx 115.1 \mu\text{A}$. Über die Einschaltdauer t_{on} resultiert daraus ein Ladungsverlust von:

$$Q_{\text{Leak}} = I_{\text{Leak}} \cdot t_{\text{on}} = 115.1 \mu\text{A} \cdot 50 \mu\text{s} \approx 5.8 \text{ nC} \quad (3.3)$$

Unter Berücksichtigung der für Hochvolt-Treiber typischen Ladung des Level-Shifters von $Q_{\text{LS}} = 3 \text{ nC}$ ergibt sich die Gesamtladung zu:

$$Q_{\text{Total}} = Q_{\text{Gate}} + Q_{\text{LS}} + Q_{\text{Leak}} = 111 \text{ nC} + 3 \text{ nC} + 5.8 \text{ nC} = 119.8 \text{ nC} \quad (3.4)$$

Um eine sichere Ansteuerung des High-Side-MOSFETs zu gewährleisten, wird ein maximaler Spannungsabfall (Ripple) von $\Delta V_{\text{BOOT}} = 1 \text{ V}$ definiert. Eingesetzt in Gleichung 3.1 folgt daraus der minimal notwendige Kapazitätswert:

$$C_{\text{BOOT,min}} = \frac{119.8 \text{ nC}}{1 \text{ V}} = 119.8 \text{ nF} \quad (3.5)$$

In der praktischen Anwendung wird empfohlen, den Kondensator so zu dimensionieren, dass er nicht zu groß gewählt wird, um die Ladezeit in kurzen Low-Side-Phasen nicht unnötig zu verlängern, aber ausreichend Reserve bietet. Ein Normwert von 150 nF oder 220 nF ist für diese Anwendung angemessen.