

Block 00 — Leit-Schaltung und Kursüberblick

Student Group

First Name	Surname	Matrikel Nr.

Table of Contents

Block 00 — Leit-Schaltung und Kursüberblick	2
0.1 Die Leit-Schaltung	2
0.2 Funktionale Aufteilung der Leit-Schaltung	3
0.3 Vereinfachtes Modell	4
0.4 Lernpfad durch das Semester	5
0.5 Ausblick auf das Semester	5
0.5.1 Reale passive Bauteile und frequenzabhängiges Verhalten	5
0.5.2 Analoge Signalverarbeitung und Schutz	6
0.5.3 Leistungselektronik und Gesamtsystem	6

Block 00 — Leit-Schaltung und Kursüberblick

0.1 Die Leit-Schaltung

In diesem Semester wird die unten dargestellte Schaltung als durchgehendes Beispiel verwendet. Sie steuert einen Gleichstrommotor über eine MOSFET-Vollbrücke, erfasst den Motorstrom über einen Shunt und kann bei Überstrom selbstständig abschalten.

Auf den ersten Blick wirkt die Schaltung relativ komplex. Tatsächlich bestehen die meisten ihrer Teilfunktionen jedoch aus Bauelementen und Konzepten, die bereits in vorherigen Veranstaltungen behandelt wurden.

1. Die grundlegenden Schaltungen mit **Widerständen** und **Leitern** wurden bereits in EEE1 eingeführt. Insbesondere Ohmsches Gesetz, spezifischer Widerstand und die lineare Temperaturabhängigkeit werden in diesem Kurs vorausgesetzt. (hier im wiki in englisch unter [EEE1: Resistance and Conductance](#)).
2. **Operationsverstärker**, **Rückkopplung** und einfache **Verstärkerschaltungen** wurden ebenfalls bereits behandelt. Komparator und Schmitt-Trigger werden später in diesem Kurs in einer konkreten Schutzschaltung detaillierter dargestellt (siehe [EEE1: Comparator and Schmitt Trigger](#)).
3. Halbleiterbauelemente wie **Diode**, **Bipolartransistor** und **MOSFET** wurden in EEE2 eingeführt. In diesem Kurs wird daher nicht erneut hergeleitet, wie ein MOSFET physikalisch funktioniert. Stattdessen interessiert uns, wie sich ein realer MOSFET in einer konkreten Leistungsschaltung verhält und wie er angesteuert werden muss (Einführung in die Halbleiterelemente in [EEE2: Electrical Engineering and Electronics 2](#), Block 11 -14).
4. Auch die digitale Logik auf der linken Seite der Schaltung ist im Grundstudium angestrichen worden. Boolesche Algebra und Wahrheitstabellen wurden bereits in der Digitaltechnik bzw. Informatik behandelt (hier im wiki unter [Boolean Algebra and Logic Gates](#))

Damit stellt sich zunächst eine berechtigte Frage:



Wenn die einzelnen Bauteile und Grundprinzipien bereits bekannt sind - warum beschäftigen wir uns in Elektronischer Schaltungstechnik noch einmal damit?

Die bisherigen Veranstaltungen haben hauptsächlich die **Modelle und Grundfunktionen einzelner Bauelemente** vermittelt. In einer realen Schaltung müssen diese Bauteile jedoch gemeinsam funktionieren.

- Ein **Widerstand** besitzt beispielsweise nicht nur einen Widerstandswert. Er besitzt neben einem Temperaturkoeffizienten auch eine Toleranz, eine maximale Verlustleistung, eine Baugröße und einen thermischen Widerstand.
- Ein **Kondensator** besitzt nicht nur eine Kapazität. Abhängig von Bauart, Spannung und Frequenz ändern sich seine Eigenschaften teilweise erheblich.
- Ein **MOSFET** ist nicht einfach nur „ein Schalter“. Im jedem Zustand besitzt er einen endlichen

Widerstand; sein Gate muss geladen und entladen werden und seine zulässigen Spannungen und Ströme sind begrenzt.

- Ein **Operationsverstärker** besitzt keine unendliche Verstärkung bei jeder Frequenz. Seine Eingangs- und Ausgangsspannungen sind begrenzt und hängen von der Versorgungsspannung ab.
- Selbst eine digitale logische Funktion wird letztlich durch reale elektronische Schalter mit endlichen Schaltzeiten umgesetzt.

Der Schwerpunkt dieses Kurses liegt daher nicht mehr auf der Frage

„Wie funktioniert dieses Bauteil grundsätzlich?“



sondern auf den Fragen

- „Wie verhält sich dieses Bauteil in einer realen Schaltung?“
- „Welche Angaben im Datenblatt sind dafür relevant?“
- „Welche Grenzen des idealen Modells werden wichtig?“
- „Wie beeinflussen sich mehrere Bauteile gegenseitig?“

0.2 Funktionale Aufteilung der Leit-Schaltung

Die vollständige Schaltung kann in mehrere funktionale Bereiche zerlegt werden:

- **Nutzereingabe und Hauptschalter:**
Aktivierung des Motortreibers und Vorgabe des PWM-Signals.
- **Gate-Treiber-Logik:**
Erzeugung der Steuersignale für die vier Leistungstristoren und Vermeidung gleichzeitiger Einschaltzustände.
- **Gate-Treiber:**
Anpassung der Logiksignale an die Anforderungen der MOSFET-Gates.
- **MOSFET-Vollbrücke:**
Steuerung von Stromrichtung und Motorleistung.
- **Spannungsversorgung:**
Versorgung des Leistungsteils und Erzeugung einer zusätzlichen Treiberspannung.
- **Strommessung:**
Erfassung des Motorstroms über einen niederohmigen Shunt.
- **Überstromdetektion:**
Verstärkung des Shuntsignals, Vergleich mit einer Referenzspannung und Abschaltung bei zu großem Strom.

Diese Blöcke werden im Laufe des Semesters schrittweise geöffnet und analysiert.

Nicht jede Teilfunktion kann bereits am Anfang vollständig verstanden werden. So wird beispielsweise der Bootstrap-Kondensator erst sinnvoll, nachdem die High-Side-Ansteuerung eines N-Kanal-MOSFETs untersucht wurde. Ebenso lässt sich die LC-Struktur der Hilfsversorgung erst später vollständig einordnen.

Die Schaltung wird daher schrittweise im Semester wie ein „**Adventskalender**“ behandelt: In jedem Block wird ein weiterer Teil geöffnet und mit bereits bekannten Konzepten verknüpft.

0.3 Vereinfachtes Modell

Für den Einstieg wird die reale Schaltung stark vereinfacht.

Die Vollbrücke wird zunächst durch ideale Schalter aufgebaut und Steuersignale werden durch einen abstrakten Logikblock erzeugt.

Damit bleiben drei wesentliche Funktionen sichtbar:

- **Steuern:**
Die Logik entscheidet, welche Schalter geöffnet oder geschlossen sind.
- **Leistung übertragen:**
Die Vollbrücke bestimmt Stromrichtung und Spannung am Motor.
- **Messen und schützen:** \\Der Shunt misst den Strom und die Schutzschaltung kann die Brücke abschalten.

Diese vereinfachte Darstellung ist kein alternatives Schaltungsdesign, sondern ein **Modell der vollständigen Schaltung**.

Im Verlauf des Semesters werden die idealisierten Blöcke schrittweise durch reale Schaltungen ersetzt:

- aus dem idealen Schalter wird später MOSFET + Gate-Widerstand + Gate-Treiber,
- aus der Strommessung wird später RSENSE + Operationsverstärker + Filter + Komparator.

Auch in der vereinfachten Schaltung werden Bezeichnungen verwendet, die in vielen elektronischen Schaltungen wiederkehren:

Abkürzung	Begriff	Erklärung
CLK	Clock	Signal des Taktgebers. Im Beispiel wird damit die PWM mit einer Frequenz von $30\sim\mathrm{kHz}$ erzeugt.
EN	Enable	Freigabesignal der Schaltung. Nur bei aktivem EN darf der Motortreiber den Motor ansteuern.
HS	High Side	Bezeichnet einen Schalter auf der Seite der positiven Versorgungsspannung einer Halbbrücke. HS1 und HS2 sind die beiden High-Side-Schalter der Vollbrücke.
LS	Low Side	Bezeichnet einen Schalter auf der Seite des Bezugspotentials bzw. der Masse. LS1 und LS2 sind die beiden Low-Side-Schalter der Vollbrücke.
VM	Motor Voltage / Motor Supply Voltage	Versorgungsspannung des Leistungsteils bzw. der Vollbrücke. Im Beispiel beträgt sie $20\sim\mathrm{V}$.
RSENSE	Sense Resistor / Shunt	Niederohmiger Messwiderstand zur Erfassung des Motorstroms.
OCP	Over-Current Protection	Überstromschutz. Das Signal zeigt an, dass der festgelegte maximale Motorstrom überschritten wurde und dient zur Abschaltung der Leistungsstufe.

Abkürzung	Begriff	Erklärung
ROM	Read Only Memory	Nichtflüchtiger Festwertspeicher. Im vereinfachten Modell bildet er die Eingangssignale auf die Schaltzustände der Vollbrücke ab.

0.4 Lernpfad durch das Semester

Die Leit-Schaltung wird nicht in einem Schritt vollständig analysiert. Stattdessen werden ihre Teilfunktionen in einer Reihenfolge betrachtet, bei der jeweils möglichst viele notwendige Grundlagen bereits bekannt sind.

Die Leitidee ist:



Bekanntes Modell → reale Abweichung → Datenblatt → konkrete Schaltungsfunktion

Einige Beispiele:

- Der reale Widerstand wird zunächst am Shunt untersucht.
- Frequenzgang, Dezibel und Bode-Diagramm werden anschließend als Werkzeuge eingeführt.
- Mit diesen Werkzeugen kann danach das reale Verhalten von Kondensatoren und Filtern besser verstanden werden.
- Operationsverstärker und Komparatoren werden nicht erneut grundsätzlich eingeführt, sondern in konkreten Signalverarbeitungs- und Schutzschaltungen verwendet.
- Der MOSFET wird zunächst als realer Low-Side-Schalter betrachtet; danach folgen Halbbrücke, High-Side-Ansteuerung und schließlich die vollständige H-Brücke.
- Die Hilfsversorgung wird erst betrachtet, wenn Schalter, Diode, Induktivität und Kondensator im notwendigen Kontext bekannt sind.

Damit wächst die vollständige Leit-Schaltung im Laufe des Semesters aus bereits verstandenen Teilfunktionen zusammen.

0.5 Ausblick auf das Semester

Die Leit-Schaltung wird im Verlauf des Semesters schrittweise erschlossen. Dabei gliedert sich der Kurs in drei größere Themenbereiche.

0.5.1 Reale passive Bauteile und frequenzabhängiges Verhalten

Im ersten Teil geht es um den Übergang vom idealen Bauteilmodell zum realen Bauteil. Gleichzeitig werden die Werkzeuge eingeführt, mit denen frequenzabhängiges Verhalten später beschrieben werden kann.

Block	Thema	Leitfrage / zentraler Gedanke	Bezug zur Leit-Schaltung
01	Vom Schaltplansymbol zum realen Bauteil	Was unterscheidet Symbol, Modell und physisches Bauteil?	Shunt, Widerstände, Bauformen wie 0402/0603/1206/THT, Verlustleistung, Toleranz, Temperaturabhängigkeit und Kelvin-Anschluss; kurzer Blick auf reale Schalter und Logik

Block	Thema	Leitfrage / zentraler Gedanke	Bezug zur Leit-Schaltung
02	Frequenzgang, dB und Bode	Wie beschreiben wir frequenzabhängiges Verhalten kompakt?	Übertragungsverhalten, Amplitude und Phase, dB-Darstellung und Bode-Diagramm als Werkzeug für die folgenden Blöcke
03	Der reale Kondensator	Warum verhält sich ein echter Kondensator nicht wie $\frac{1}{j\omega C}$?	Kondensatoren der Leit-Schaltung, ESR, ESL, Selbstresonanz, DC-Bias, Elektrolytkondensatoren und Entkopplung
04	Passive Filter und Filterentwurf	Wie lässt sich ein gewünschtes Frequenzverhalten gezielt einstellen?	RC-Tiefpass, Filterung des Strommesssignals, Grenzfrequenz, Belastung und praktische Dimensionierung

Am Ende dieses Abschnitts sollen reale passive Bauteile nicht mehr nur über ihren Nennwert beschrieben werden. Stattdessen werden Bauform, thermisches Verhalten und Frequenzabhängigkeit gemeinsam betrachtet.

0.5.2 Analoge Signalverarbeitung und Schutz

Im zweiten Teil wird aus kleinen analogen Messsignalen eine auswertbare und robuste Schutzinformation. Dabei werden bekannte OPV-Grundlagen aus den vorherigen Veranstaltungen aufgegriffen und in konkreten Schaltungen eingesetzt.

Block	Thema	Leitfrage / zentraler Gedanke	Bezug zur Leit-Schaltung
05	Operationsverstärker und aktive Filter	Wie werden aus passiven Netzwerken aktive Signalverarbeitungsschaltungen?	Reaktivierung bekannter OPV-Grundsaltungen, reale OPV-Grenzen und aktive Filter; bewusst auch Beispiele außerhalb der Leit-Schaltung
06	Komparator und Schmitt-Trigger	Wann wollen wir nicht verstärken, sondern entscheiden?	Umwandlung eines analogen Signals in ein digitales Ereignis; Schaltschwelle und Hysterese
07	Referenzspannung und Überstromschutz	Wie wird aus einem Messwert eine robuste Schutzfunktion?	Verstärktes Shuntsignal, V_{REF} , OCP und Rückwirkung auf die Freigabe der Leistungsstufe

Nach diesem Abschnitt ist der Mess- und Schutzpfad der Leit-Schaltung weitgehend erschlossen: Der Motorstrom wird erfasst, aufbereitet, mit einer Referenz verglichen und kann eine Abschaltung auslösen.

0.5.3 Leistungselektronik und Gesamtsystem

Im dritten Teil wird der zunächst ideale Leistungsschalter schrittweise durch eine reale MOSFET-Leistungsstufe ersetzt. Aus einem einzelnen Schalter entsteht zunächst eine Halbbrücke und schließlich die vollständige H-Brücke.

Block	Thema	Leitfrage / zentraler Gedanke	Bezug zur Leit-Schaltung
08	MOSFET als realer Schalter	Warum ist „Gate high = an“ nicht die ganze Wahrheit?	Low-Side-MOSFET, $R_{DS(on)}$, Gate-Ladung, Gate-Widerstand sowie Leit- und Schaltverluste
09	Halbbrücke und induktive Last	Was passiert mit dem Strom, wenn der Schalter öffnet?	Halbbrücke, Motorinduktivität, Strompfade, Freilauf und Body-Diode
10	High-Side-Ansteuerung	Wie schaltet man einen N-Kanal-MOSFET oberhalb von V_M ?	Floating Supply, Bootstrap und Gate-Treiberstufe
11	H-Brücke, PWM und Totzeit	Wie entstehen Drehrichtung, Drehmoment und sichere Schaltzustände?	vollständige Vollbrücke, PWM, Bremszustände, Shoot-through, Totzeit und Logik
12	Hilfsversorgung und Gesamtsystem	Wie wird aus den Einzelblöcken eine funktionierende Elektronik?	V_{DRV} -Erzeugung, DC/DC-Wandler, LC-Struktur sowie Integration und Gesamtanalyse

Die Leit-Schaltung wird damit nicht in einem Schritt vollständig erklärt.

Der Kurs folgt vielmehr dem Weg



reales Bauteil → Signalverarbeitung → Leistungselektronik → Gesamtsystem.

Am Ende des Semesters soll die anfangs komplex wirkende Schaltung als Zusammenspiel nachvollziehbarer funktionaler Blöcke verstanden werden.

From:

<https://wiki.mexle.org/> - **MEXLE Wiki**

Permanent link:

https://wiki.mexle.org/elektronische_schaltungstechnik/block00?rev=1790522728

Last update: **2026/09/27 17:25**

