

# Block 00 — Leit-Schaltung und Kursüberblick

## Student Group

| First Name | Surname | Matrikel Nr. |
|------------|---------|--------------|
|            |         |              |
|            |         |              |
|            |         |              |

## Table of Contents

|                                                      |   |
|------------------------------------------------------|---|
| <b>Block 00 — Leit-Schaltung und Kursüberblick</b>   | 2 |
| <b>0.1 Die Leit-Schaltung</b>                        | 2 |
| <b>0.2 Funktionale Aufteilung der Leit-Schaltung</b> | 3 |
| <b>0.3 Vereinfachtes Modell</b>                      | 4 |
| <b>0.4 Lernpfad durch das Semester</b>               | 5 |
| <b>0.5 Überblick über die Lehrblöcke</b>             | 5 |
| <b>0.6 Ausblick</b>                                  | 6 |
| <b>0.6 Ausblick auf das Semester</b>                 | 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 Leistungstransistoren 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 Überblick über die Lehrblöcke

| Block | Thema                                   | Bezug zur Leit-Schaltung                                                 |
|-------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| 01    | Vom Schaltplansymbol zum realen Bauteil | Shunt, Bauformen, thermisches Verhalten, reale Schalter                  |
| 02    | Frequenzgang, Dezibel und Bode-Diagramm | grundlegendes Werkzeug für frequenzabhängige Schaltungen                 |
| 03    | Der reale Kondensator                   | Versorgungskondensatoren, parasitäre Eigenschaften, DC-Bias              |
| 04    | Passive Filter und Filterentwurf        | Filterung von Mess- und Störsignalen                                     |
| 05    | Operationsverstärker und aktive Filter  | Signalverstärkung und aktive Filterstrukturen                            |
| 06    | Komparator und Schmitt-Trigger          | Umwandlung eines analogen Messsignals in eine robuste Schaltentscheidung |
| 07    | Referenzspannung und Überstromschutz    | VREF, OCP und Abschaltung der Leistungsstufe                             |
| 08    | MOSFET als realer Schalter              |                                                                          |

m DS(on)}\$, Gate-Ladung und Schaltverluste |

|    |                                  |                                                              |
|----|----------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| 09 | Halbbrücke und induktive Last    | Strompfade, Freilauf und Motorinduktivität                   |
| 10 | High-Side-Ansteuerung            | Gate-Treiber, Floating Supply und Bootstrap                  |
| 11 | H-Brücke, PWM und Totzeit        | vollständige Vollbrücke, Drehrichtung, PWM und Shoot-through |
| 12 | Hilfsversorgung und Gesamtsystem | VDRV-Erzeugung und Zusammenführung der Teilsysteme           |

## 0.6 Ausblick

Die vollständige Leit-Schaltung muss zu diesem Zeitpunkt noch nicht im Detail verstanden werden.

In den folgenden Blöcken wird sie schrittweise erschlossen:

## 0.6 Ausblick auf das Semester

Die Leit-Schaltung wird im Verlauf des Semesters schrittweise erschlossen. Jeder Block greift dabei eine zentrale Fragestellung auf und verbindet sie mit einem konkreten Teil der Schaltung.

| Block | Thema                                          | Leitfrage / zentraler Gedanke                                               | Bezug zur Leit-Schaltung                                                                                                                                                               |
|-------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | <b>Vom Schaltplansymbol zum realen Bauteil</b> | Was unterscheidet Symbol, Modell und physisches Bauteil?                    | Shunt, Widerstände, Bauformen wie 0402/0603/1206/THT, Verlustleistung, Toleranz und Temperaturabhängigkeit; kurzer Blick auf Schalter, Gatter und ROM                                  |
| 2     | <b>RC-Schaltungen im Zeitbereich</b>           | Wie reagieren elektrische Schaltungen auf Änderungen?                       | Laden und Entladen von Kondensatoren, Zeitkonstante und RC-Verhalten im Messpfad                                                                                                       |
| 3     | <b>Frequenzgang, dB und Bode</b>               | Wie beschreiben wir frequenzabhängiges Verhalten kompakt?                   | RC-Tiefpass, PWM mit $30\sim\mathrm{kHz}$ sowie Amplituden- und Phasengang                                                                                                             |
| 4     | <b>Der reale Kondensator</b>                   | Warum verhält sich ein echter Kondensator nicht wie $\frac{1}{j\omega C}$ ? | Kondensatoren der Leit-Schaltung wie $100\sim\mathrm{\mu F}$ , $100\sim\mathrm{nF}$ und $10\sim\mathrm{nF}$ ; ESR, ESL, Selbstresonanz, DC-Bias, Elektrolytkondensator und Entkopplung |
| 5     | <b>Operationsverstärker und aktive Filter</b>  | Wie werden aus passiven Netzwerken aktive Signalverarbeitungsschaltungen?   | Reaktivierung des OPV, aktive Tief- und Hochpässe sowie reale OPV-Grenzen; bewusst auch Anwendungen außerhalb der Leit-Schaltung                                                       |
| 6     | <b>Komparator und Schmitt-Trigger</b>          | Wann wollen wir nicht verstärken, sondern entscheiden?                      | Umwandlung eines analogen Messsignals in ein digitales Ereignis                                                                                                                        |

| Block | Thema                                       | Leitfrage / zentraler Gedanke                                      | Bezug zur Leit-Schaltung                                                                                |
|-------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 7     | <b>Referenzspannung und Überstromschutz</b> | Wie wird aus einem Schwellwert eine robuste Schutzfunktion?        | Referenzspannung $V_{REF}$ , Überstromerkennung OCP und Rückwirkung auf die Freigabe der Leistungsstufe |
| 8     | <b>MOSFET als realer Schalter</b>           | Warum ist „Gate high = an“ nicht die ganze Wahrheit?               | Low-Side-MOSFET, $R_{DS(on)}$ , Gate-Ladung und Gate-Widerstand                                         |
| 9     | <b>Halbbrücke und induktive Last</b>        | Was passiert mit dem Strom, wenn der Schalter öffnet?              | Halbbrücke, Motor, Freilaufpfade und Body-Diode                                                         |
| 10    | <b>High-Side-Ansteuerung</b>                | Wie schaltet man einen N-Kanal-MOSFET oberhalb von $V_M$ ?         | Floating Supply, Bootstrap und Gate-Treiberstufe                                                        |
| 11    | <b>H-Brücke und PWM</b>                     | Wie entstehen Drehrichtung, Drehmoment, Bremsen und Shoot-through? | vollständige Vollbrücke, Schaltzustände, PWM, Totzeit und zugehörige Logik                              |
| 12    | <b>Hilfsversorgung und Gesamtsystem</b>     | Wie wird aus den Einzelblöcken eine funktionierende Elektronik?    | $V_{DRV}$ -Versorgung, DC/DC-Wandler, LC-Struktur, Integration und Gesamtanalyse                        |



Die Leit-Schaltung wird damit nicht in einem Schritt vollständig erklärt. Stattdessen wird sie Block für Block aus bereits bekannten und neu vertieften Konzepten zusammengesetzt. 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=1790521869](https://wiki.mexle.org/elektronische_schaltungstechnik/block00?rev=1790521869)

Last update: **2026/09/27 17:11**

