

# Bachelor-/Masterthesis

Implementierung eines baryzentrischen Raumzeigermodulators für Wechselrichter



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

Hendrik Gockel, M.Sc., S3 | 21 | 206, hendrik.gockel@lea.tu-darmstadt.de

## 1 Kurzbeschreibung

Raumzeigermodulationen sind Modulationsverfahren zur Erzeugung eines 'Drehstrom'-Systems am Ausgang eines Inverters, welches z.B. für den Betrieb von Elektromotoren notwendig ist. Die Berechnung der Schaltzeiten des Inverters basieren klassischerweise auf der Lösung trigonometrischer Gleichungen, die in Echtzeit auf einem Microcontroller ausgewertet werden müssen. Durch Nutzung von baryzentrischen Koordinaten kann auf diese rechenintensive Operation verzichtet werden. In dieser Abschlussarbeit soll ein solcher baryzentrischer Raumzeigermodulator auf einem Microcontroller implementiert und insbesondere die Laufzeit mit gängigen Methoden verglichen werden. Für eine Bachelorarbeit ist dies für einen Zwei-Level-Wechselrichter (2L-WR) umzusetzen, während für eine Masterarbeit ein 3L-WR mit ausgewählten parasitären Effekten zu untersuchen ist.

**Vorraussetzungen:** Grundkenntnisse in Leistungselektronik, Matlab, Simulink und hardwarenaher Programmierung (C) wünschenswert

## 2 Motivation

Wechselrichter sind leistungselektronische Schaltungen, mit denen man eine Gleichspannung  $U_{DC}$  in eine in der Regel sinusförmige Wechselspannung wandeln kann. Das Grundprinzip dieser Schaltung ist es elektronische Schalter (z.B. MOSFETs) so schnell zwischen verschiedenen diskreten Spannungsniveaus hin und her zu schalten, dass im zeitlichen Mittel die geforderte Sollspannung (also die sinusförmige Wechselspannung) am Ausgang  $u_a$  des Wechselrichters erzielt wird. Eine einfache Methode ist die Sinus-Dreieck Pulsbreitenmodulation, wie sie in Abbildung 1 dargestellt ist.

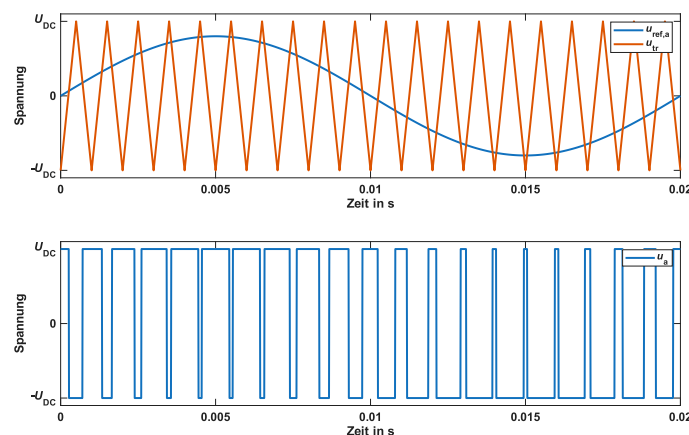


Abbildung 1: Sinus-Dreieck Pulsbreitenmodulation einer Phase eines 2L-WR

Hierbei wird das Sinussignal  $u_{\text{ref},a}$  mit einem hochfrequenten Dreieckssignal  $u_{\text{tr}}$  verglichen. Ist das Sinussignal größer als das Dreieckssignal, so wird der Inverterausgang auf  $+U_{\text{DC}}$  geschaltet. Ist das Sinussignal kleiner als das Dreieckssignal, wird der Inverterausgang auf  $-U_{\text{DC}}$  geschaltet.

In vielen Anwendungen stellt ein Wechselrichter ein symmetrisches dreiphasiges Spannungssystem (ugs. 'Drehstrom') zur Verfügung, z.B. wenn ein Elektromotor betrieben werden soll. Dies kann, analog zum vorigen Abschnitt, mit drei phasenverschobenen Sinus-Dreieck-Modulationen erfolgen. Alternativ dazu gibt es die Möglichkeit das Drei-Phasen-System in einen äquivalenten Spannungsraumzeiger umzurechnen (siehe 'Clark-Transformation') und direkt als solchen zu modulieren, was man Raumzeigermodulation (engl. Space Vector Modulation, 'SVM') nennt. SVM-Methoden haben den Vorteil, dass sie den Spannungsbereich besser ausnutzen und gleichzeitig das dreiphasige System kompakt und anschaulich darstellen. Außerdem ist es üblich, dass Motorregelungen ebenfalls in Raumzeigern berechnet werden, wodurch ein einfacheres Implementieren der Regelung gemeinsam mit der Modulation möglich ist. Ein Nachteil von SVM ist es, dass die Schaltzeiten der MOSFETs nun nicht mehr über einen einfachen Vergleich zweier Werte (also z.B.  $u_{\text{ref},a}$  und  $u_{\text{tr}}$ , s.o.) berechnet werden, sondern es ist die Auswertung von trigonometrischen Funktionen üblich. Diese Auswertungen müssen in Echtzeit auf z.B. einem Microcontroller ausgeführt werden und sind rechenintensiv.

Eine Alternative bietet die Berechnung der Schaltzeiten über baryzentrische Koordinaten. Dabei werden Punkte innerhalb eines Dreiecks durch die Linearkombination der Eckkoordinaten ausgedrückt, wie beispielhaft in Abbildung 2 dargestellt.

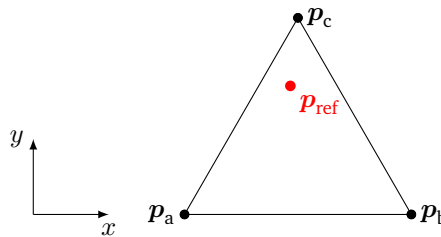


Abbildung 2:  $p_{\text{ref}} = \tau_a \cdot p_a + \tau_b \cdot p_b + \tau_c \cdot p_c$

Da die Darstellung eines Raumzeigers in baryzentrische Koordinaten nur auf linearen Gleichungen basiert, ist eine schnellere Berechnungszeit zu erwarten, was einen Vorteil hinsichtlich der Echtzeitfähigkeit, der Rechenleistung des Microcontrollers, und damit der Kosten bringen kann.

Ziel in dieser Abschlussarbeit ist es einen baryzentrischen Raumzeigermodulator für einen 2L-WR auf einem Microcontroller zu implementieren, diesen Modulator mithilfe eines Echtzeitsimulators (PLECS RT-Box) auf Korrektheit zu überprüfen und Rechenzeit und Oberschwingungsverzerrung (THD) mit konventionellen Modulationsverfahren zu vergleichen (Bachelorarbeit).

Für eine Masterarbeit ist dieses baryzentrische Verfahren analog für ein 3L-WR zu implementieren und mit anderen Methoden zu vergleichen. Zusätzlich ist die Balancierung des Zwischenkreises durchzuführen, sowie die verbleibende Spannungsverzerrung durch den schwankenden Mittelpunkt auszugleichen. Die genauen Arbeitspakete sind in folgendem Abschnitt aufgeführt. Dabei sind Arbeitspakete für die Masterthesis mit einem Stern (\*) markiert.

---

## 3 Arbeitspakete

---

1. Literaturrecherche
  - a) Modulationsverfahren
    - i. Theorie und Hintergründe (Vorteile, Nachteile, etc.)
    - ii. Implementierung
  - b) Baryzentrische Koordinaten
  - c) Hardwarenahe Programmierung
  - d) Dynamik und Regelung des Zwischenkreismittelpunktes (\*)
  - e) Balancingmethoden (\*)
2. Entwicklung des Modulators in PLECS, Simulink, Matlab und/oder C
  - a) Baryzentrisches 2L Verfahren
  - b) Auswahl alternativer Verfahren
  - c) Baryzentrisches 3L Verfahren (\*)
  - d) Mittelpunkt Balancing (\*)
  - e) Reduzierung der Spannungsverzerrung verursacht durch Mittelpunktsschwankungen im Modulationsverfahren (\*)
3. Entwicklung einer Testmethodik/-umgebung mittels der RT-Box
  - a) Laufzeitanalyse
  - b) THD-Berechnung
  - c) etc.
4. Durchführen der Tests
5. Analyse der Ergebnisse
6. Schreiben der Thesis
  - a) Beschreiben und Zeigen der Ergebnisse
  - b) Beschreiben der Methodik und der getroffenen Bedingungen/Annahmen
  - c) Diskussion der Ergebnisse und Vergleich zur Literatur
  - d) Zusammenfassung der Arbeit
  - e) Ausblick auf offen gebliebene und/oder weiterführende Fragestellungen