

## Aufgabe 1

In dieser Aufgabe wird der bürstenlose Gleichstrommotor (BLDC) mit der Spannung  $U_{AP}$  und dem Strom  $I_{AP}$  betrieben. Der BLDC ist starr über eine Welle mit dem Gleichstrommotor (GM) verbunden. Der GM dient hierbei als Last für den BLDC. Der GM fungiert als Generator und wird durch den Antrieb des BLDC in Bewegung versetzt und erzeugt somit eine Spannung  $U_{AL}$ , welche dann einen Strom  $I_{AL}$  verursacht. Wir wollen diesen Strom  $I_{AL}$  messen. Zu beachten ist, dass  $U_{AL}$  nur Werte im Bereich [0V bis 24V] annehmen kann.

Vom Hersteller sind für die Belastungsmaschine folgende Daten gegeben:

$$R_{AL} = 0,4\Omega \quad (1.1)$$

$$C_E \Psi_{PML} = 0,4Vs \quad (1.2)$$

a) *Skizzieren Sie die Leerlaufspannung der Belastungsmaschine in Abhängigkeit von der Drehzahl  $N_P$  des bürstenlosen Gleichstrommotors im Bereich  $0-3000 \text{ min}^{-1}$ .*

Zur Ermittlung der Kennlinie ziehen wir folgende Formel heran:

$$U_i = C_E \Psi N \quad (1.3)$$

Wir ermitteln anhand der Umdrehungen pro min die Anzahl der Umdrehungen pro s:  
 $3000 \text{ min}^{-1} = 50 \text{ s}^{-1}$

Wir setzen nun die beiden Drehzahlen in die Formel 1.3 ein. Einmal berechnen wir den Wert, wenn der Motor stillsteht (0 Umdrehungen pro Sekunde macht), sowie ein weiteres Mal, wenn der Motor 50 Umdrehungen pro Sekunde macht, (also der maximal geforderten Drehzahl). Da wir in den Berechnungen der beiden Werte nur  $N$  ändern ist die Änderung des Ergebnisses proportional, also direkt abhängig von der eingesetzten Drehzahl. Dies bedeutet es handelt sich bei dem in Abbildung 1.1 zu skizzierenden Graphen um eine Gerade.

$$U_i[N = 0] = 0,4Vs * 0 = 0$$

$$U_i[N = 50 \text{ s}^{-1}] = 0,4Vs * 50 \text{ s}^{-1} = 20V$$

b) *Für die Belastung des BLDC wird an die Ankerklemmen des konventionellen Gleichstrommotors anstelle einer Spannungsquelle ein veränderlicher Widerstand  $R_L$  angeschlossen. Welchen Wert muss dieser Widerstand haben, um bei einer Drehzahl von  $N_P = 2000 \text{ min}^{-1}$  des BLDC ein Lastmoment von  $M_L = 0,25 \text{ Nm}$  zu erzeugen?*

Zur Ermittlung des Wertes des Widerstands ziehen wir folgende Formel zur Bestimmung des Lastmomentes heran

$$M_L = C_M \Psi_{PML} I_A \quad (1.4)$$

Da der BLDC starr gekoppelt ist mit dem GM gilt: Lastmoment ( $M_L$ ) = Inneres Motormoment ( $M_{Mi}$ ).

Aufgrund dieser Erkenntnis gilt:

$$M_{Mi} = M_L = C_M \Psi_{PML} I_A = C_M \Psi_{PML} * \frac{U_i}{R_{AL} + R_L} = \frac{C_E}{2\pi} * \Psi_{PML} * \frac{U_i}{R_{AL} + R_L} \quad (1.5)$$

Wir erinnern uns an die vom Hersteller gegebenen Daten der Belastungsmaschine:

$$R_{AL} = 0,4\Omega$$

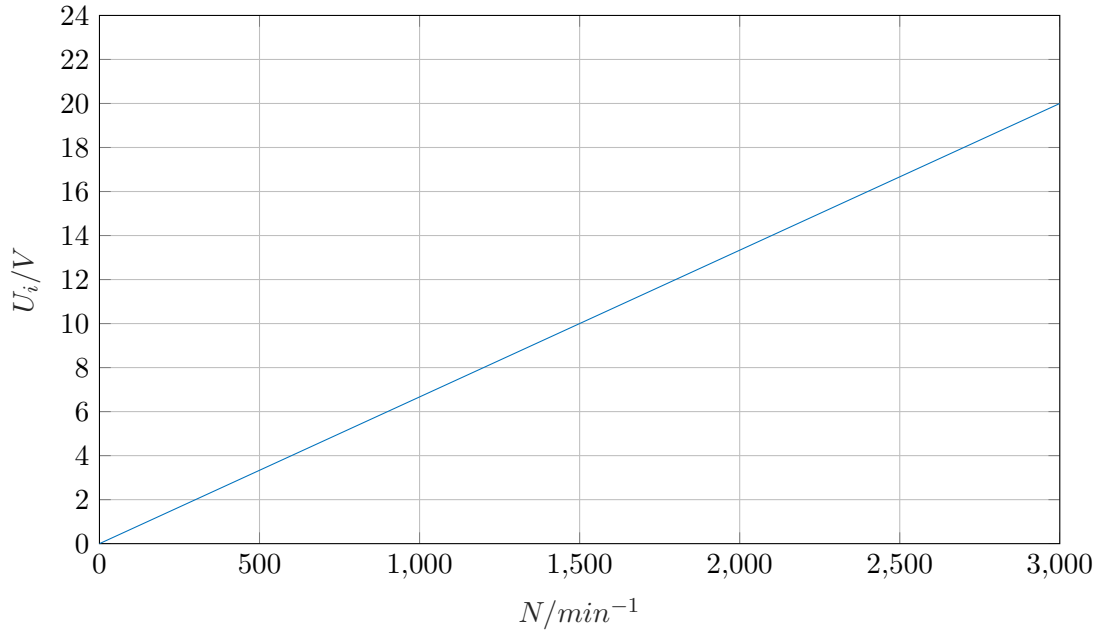


Abbildung 1.1: Leerlaufspannung der Belastungsmaschine

$$C_E \Psi_{PML} = 0,4Vs$$

Formel 1.5 wird nach  $R_L$  umgestellt, so ergibt sich folgender Zusammenhang:

$$R_L = \frac{C_E \Psi_{PML} U_i}{2\pi M_L} - R_{AL} \quad (1.6)$$

Damit wir  $R_L$  bestimmen können, müssen wir zuerst  $U_i$  ermitteln, was wir im Folgenden getan haben.

$$U_i[N = 33,3s^{-1}] = 0,4Vs * 33,3s^{-1} = 13,3V$$

$$R_L = \frac{0,4Vs * 13,3V}{2\pi * 0,25Nm} - 0,4\Omega$$

Zum Schluss dieser Berechnung haben wir eine Einheitenprüfung durchgeführt, die erhaltene Einheit soweit plausibel.

c) *Bestimmen Sie den Zusammenhang  $N_P(M_L)$  für einen fest vorgegebenen Lastwiderstand  $R_L$ .*

Die Gleichung 1.3 aus Aufgabenteil a) wird im Folgenden mit einbezogen. Wir ersetzen  $U_i$  durch diese Formel. Daraus ergibt sich für  $R_L$  nun folgender Zusammenhang:

$$R_L = \frac{C_E \Psi_{PML} C_E \Psi_{PML} N_P}{2\pi M_L} - R_{AL} \quad (1.7)$$

Nach entsprechender Umstellung der Formel ergibt sich für  $N_P$ :

$$N_P(M_L) = \frac{2\pi(R_{AL} + R_L)M_L}{C_E^2 \Psi_{PML}^2} \quad (1.8)$$

## Aufgabe 2

In dieser Aufgabe sind die Signale der Hallsensoren, sowie die idealisierten Stromverläufe des BLDC im Linkslauf gegeben.

a) *Skizzieren Sie die entsprechenden Signale der Hallsensoren und die idealisierten Stromverläufe bei Rechtslauf.*

In den Abbildungen 2.1 und 2.2 kann man die Hallsensorsignale erkennen, sowie die dazugehörigen Stromverläufe der jeweiligen Wicklungen U, V und W. Sie sind hier im Rechtslauf dargestellt. Wenn man die Motorwelle von vorne betrachtet, dann sieht man, dass sie sich im Rechtslauf befindet (dies bedeutet, er dreht sich im Uhrzeigersinn). Wenn sich der Motor im linkslauf befindet, so dreht dieser sich gegen den Uhrzeigersinn.

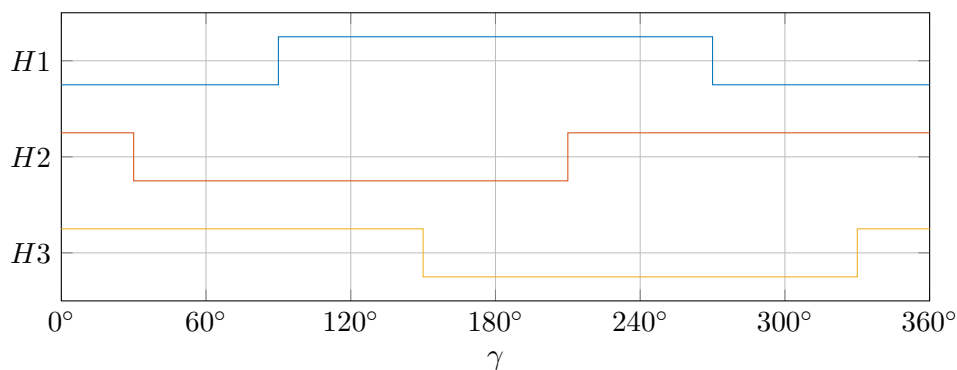


Abbildung 2.1: Signale der Hallsensoren im Rechtslauf

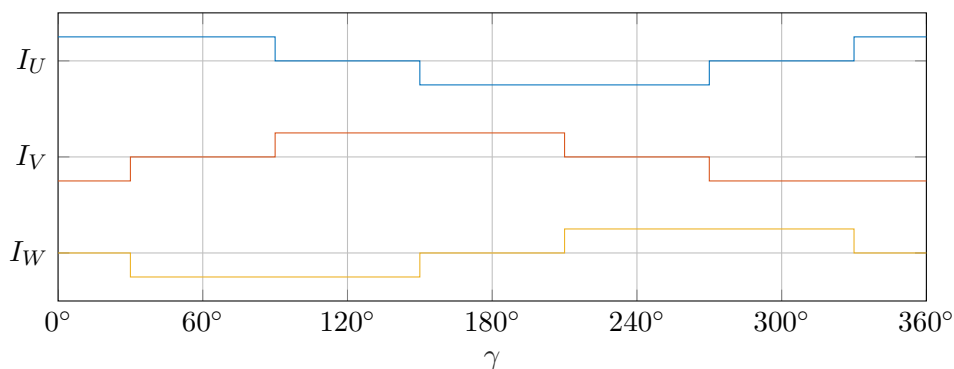


Abbildung 2.2: Stromverläufe im Rechtslauf

b) In diesem Aufgabenteil sollen nun zu den rechtsläufigen Stromverläufen aus Aufgabenteil a) die entsprechenden binären Ansteuersignale der sechs Transistoren in einem Diagramm dargestellt werden. Ist der Transistor leitend, so entspricht dies einem positiven Ansteuersignal mit dem Wert 1. Wenn der Transistor sperrt, so entspricht dies dem binären Wert 0. Abbildung 2.3 zeigt die Ansteuerung der sechs Transistoren für den Stromverlauf.

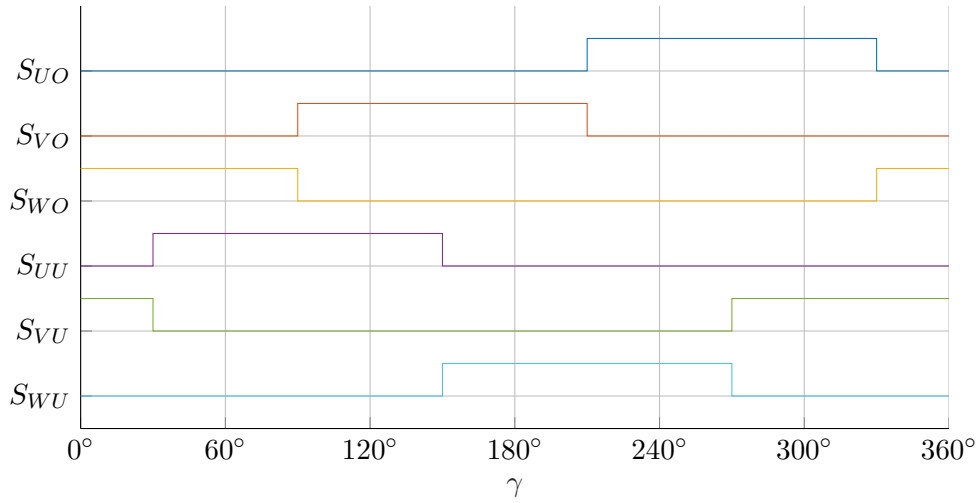


Abbildung 2.3: Ansteuersignale im Rechtslauf

c) Für den Linkslauf des BLDCs sollen jetzt die Ansteuersignale geändert werden. Damit der Motor in den Linkslauf wechselt, müssen jeweils die Steuersignale zweier Transistoren eines Strangs miteinander getauscht werden:  $S_{VO} + S_{UU}$ ,  $S_{VO} + S_{VU}$  und  $S_{WO} + S_{WU}$ . Dieser Tausch ist in Abbildung 2.4 nachzuvollziehen.

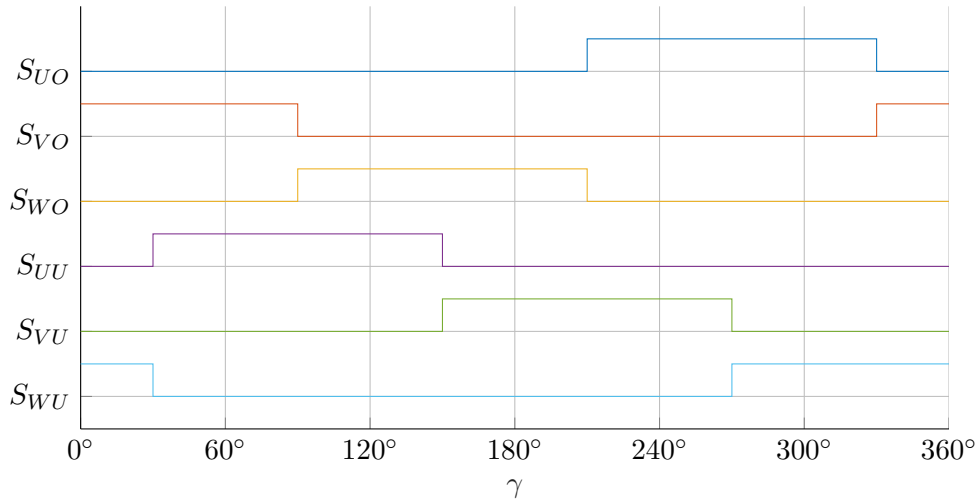


Abbildung 2.4: Ansteuersignale im Linkslauf

d) Für den unseren BLDC sind folgende Parameter gegeben:

$$R_{AP} = 0,8\Omega \text{ und } L_{AP} = 1,1mH$$

Es soll nun für den Spannungsverlauf  $U_U$  der Verlauf des Ankerstroms im Strang  $U$  skizziert werden, siehe Abbildung d. Für die Berechnung nehmen wir an, dass die innere Spannung gleich Null ist. Für die Berechnung der Zeitkonstante benutzen wir diese Formel:

$$\tau = \frac{L_{AP}}{R_{AP}} = \frac{1,1mH}{0,8\Omega} = 1,375ms \quad (2.1)$$

Den maximalen Strangstrom berechnen wir wie folgt:

$$I_{max} = \frac{U_U}{R_{LAP}} = \frac{12V}{0,8\Omega} = 15A \quad (2.2)$$

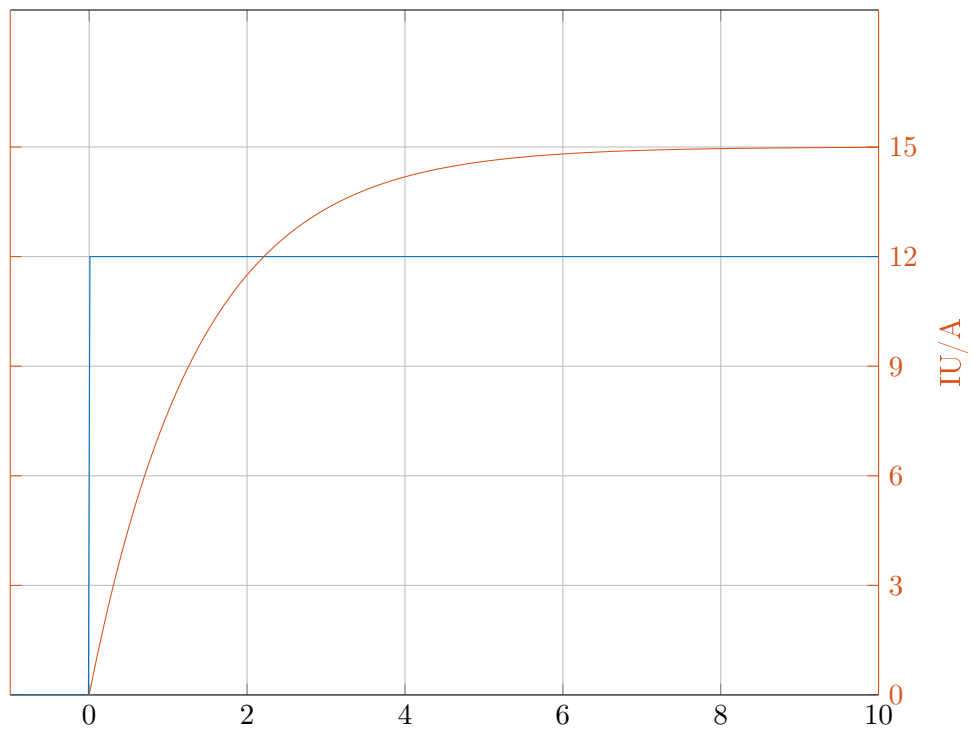


Abbildung 2.5: Sprungantwort des Stromes  $I_U$  im Strang  $U$

### Aufgabe 3

In der bisherigen Darstellung gingen wir von einem bürstenlosen Gleichstrommotor mit der Polpaarzahl  $Z_P = 1$  aus. Häufig werden jedoch Motoren mit höheren Polpaarzahlen verwendet. In dieser Aufgabe betrachten wir nun den Fall einer höheren Polpaarzahl, d.h.  $Z_P > 1$ .

a) Es soll nun als erstes der Verlauf der digitalen Hallsensorsignale mit einer Polpaarzahl  $Z_P = 2$  in einem Diagramm für eine volle Umdrehung des Rotors dargestellt werden. Die Abbildung a zeigt ein Impulsdiagramm, welches nun die Hallsensorsignale für einen BLDC mit der Polpaarzahl  $Z_P = 2$  dargestellt, ebenfalls bei einer vollen Umdrehung des Rotors im Rechtslauf.

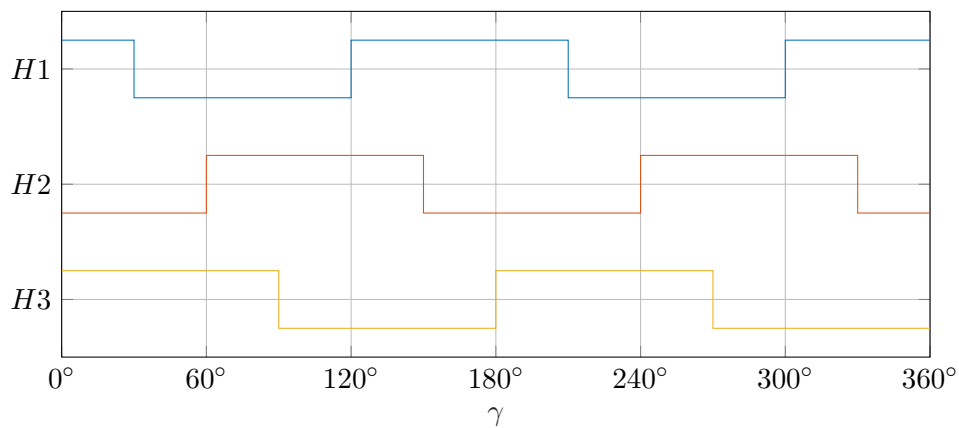


Abbildung 3.1: Signale der Hallsensoren bei  $Z_P = 2$

b) Gesucht ist nun ein Verfahren, mit dem man die Polpaarzahl eines BLDC bestimmen kann. Um die Polpaarzahl zu erhalten, können wir auch die positiven Flanken des Signals eines Hallsensors während einer Umdrehung des Rotors zählen.

## Aufgabe 4

Ab hier folgt der praktische Laborversuch.

a) Bestimmen Sie für diesen Motor mit Hilfe Ihrer Überlegungen aus der Aufgabe 3 die Polpaarzahl  $Z_P$ . Wie wir in Abbildung (NUMMER) erkennen können, befinden sich 2 fallende Flanken in einer Rotorumdrehung. Daraus können wir Schlussfolgern, dass die gesuchte Polpaarzahl des BLDC  $Z_P = 2$  beträgt.

b) *Aufgabe ist es eine Ansteuerung für den Motor zu entwerfen, welche aus den gemessenen Hall-sensorsignalen die Ansteuersignale für die Halbbrücken der Leistungselektronik liefert. Stellen Sie unter Verwendung Ihrer Überlegungen aus Aufgabe 2, eben jenen Zusammenhang in einer Tabelle dar.*

In Tabelle 4.1 sind die Ansteuersignale der Transistoren dargestellt. Wichtig hierbei zu wissen ist, dass sowohl im Zustand „000“, als auch im Zustand „111“, jegliche Transistoren gesperrt sind. Dadurch haben wir sichergestellt, dass dies jeweils sichere Zustände sind. Besonders zu beachten ist auch, dass keine zwei Transistoren eines Strangs gleichzeitig geschaltet werden, da sonst ein Kurzschluss stattfindet.

H1	H2	H3	$S_{UO}$	$S_{UU}$	$S_{VO}$	$S_{VU}$	$S_{WO}$	$S_{WU}$
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	1	0	0	1
0	1	0	1	0	0	1	0	0
0	1	1	1	0	0	0	0	1
1	0	0	0	1	0	0	1	0
1	0	1	0	1	1	0	0	0
1	1	0	0	0	0	1	1	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0

Tabelle 4.1: Wahrheitstabelle zur Ansteuerung der Transistoren

c) Die Ansteuerung des BLDC für den Rechtslauf soll im Folgenden implementiert werden. Dafür haben wir die Schalttable erstellt, dem Programm die neuen Werte übergeben und dieses anschließend auf die Steuerung geladen.

**Aufgabe 5**



## Abbildungsverzeichnis

1.1	Leerlaufspannung der Belastungsmaschine . . . . .	2
2.1	Signale der Hallsensoren im Rechtslauf . . . . .	3
2.2	Stromverläufe im Rechtslauf . . . . .	3
2.3	Ansteuersignale im Rechtslauf . . . . .	4
2.4	Ansteuersignale im Linkslauf . . . . .	4
2.5	Sprungantwort des Stromes $I_U$ im Strang $U$ . . . . .	5
3.1	Signale der Hallsensoren bei $Z_P = 2$ . . . . .	6