Karlsruher Institut für Technologie

Elektrotechnisches Institut | Institut für Elektroenergiesysteme und Hochspannungstechnik

Energietechnisches Praktikum

Drehzahlvariables Antriebssystem (DA)

Elektrotechnisches Institut

Stand: 17.10.2016

Inhaltsverzeichnis

1. Versuchsanleitung **1**

1.1. Einleitung . . . 1
1.2. Das Leistungsteil . . . 2
1.3. Umrichter . . . 3
1.3.1. Umrichterdaten . . . 5
1.4. Drehzahlregelungs- und Steuerungsverfahren . . . 7
1.4.1. Spannungs-Frequenz-Kennlinien-Verfahren . . . 7
1.4.2. Feldorientierte Regelung . . . 8
1.5. Motordaten . . . 11
1.6. Schaltschrankaufbau . . . 12
1.6.1. Messwerterfassung . . . 14
1.7. Inbetriebnahme . . . 15
1.7.1. Movitools – Bedienung über den PC . . . 15
1.7.2. Bediengerät am Umrichter . . . 17
1.7.3. Das Bedienfeld in der Elektroniketage . . . 18
1.7.4. Beispiel einer Inbetriebnahme und Einstellung der Parameter . . . 19
1.7.5. Vorgehen für Positionieraufgaben . . . 22

2. Versuchsdurchführung **24**

2.1. Inbetriebnahme der Anlage . . . 24
2.2. Inbetriebnahme des Antriebs mit U/f-Kennlinien-Steuerung: . . . 25
2.2.1. Messungen am Antrieb ohne Drehzahlgeber . . . 26
2.2.2. Belasten des Antriebs mit Motor 2 . . . 27
2.3. Inbetriebnahme mit U/f-Kennlinie und Drehzahlregelung: . . . 28
2.3.1. Messungen am Antrieb mit Drehzahlgeber . . . 29
2.3.2. Messungen mit Drehmomentenspiel . . . 29
2.4. Programmierung des Antriebs für Positionieraufgaben: . . . 30
2.5. Verschiedene Systemgrößen darstellen . . . 33
2.5.1. Oszillographieren des Spannungsraumzeigers . . . 33
2.5.2. Oszillographieren des Stromraumzeigers . . . 33
2.5.3. Untersuchung des Feldschwächbereichs von Motor 2 . . . 34
2.6. Strangspannungen und Außenleiterspannungen oszillographieren . . . 34
2.6.1. Veränderung der Drehzahlrampen . . . 35
2.7. Bremsleistung bestimmen . . . 35

A. Prüfungsvorbereitung **37**

B. Abbildungsverzeichnis **38**

1. Versuchsanleitung

1.1. Einleitung

Neben dem klassischen drehzahlvariablen Antrieb mit einer Gleichstrommaschine (GM) kam ab Anfang der 60er Jahre begünstigt durch die Entwicklung von Thyristoren und danach durch die Entwicklung abschaltbarer Halbleiterbauelemente wie IGBT die umrichtergespeiste Asynchronmaschine als Antrieb mit veränderlicher Drehzahl auf. Ihr wesentlicher Vorteil besteht darin, dass sie im Gegensatz zur GM keinen Kommutator benötigt, wodurch sie u.a. robuster, kompakter und wartungsärmer ist. Dadurch fand die Drehstromasynchronmaschine (ASM) mehr und mehr Verwendung für drehzahlvariable Anwendungen innerhalb der Antriebstechnik.

Deshalb soll in diesem Versuch ein modernes in der Industrie verwendetes Antriebssystem vorgestellt werden. Der Praktikumsteilnehmer soll in diesem Versuch die Möglichkeiten und die Bedienung des Antriebssystems kennenlernen.

1.2. Das Leistungsteil

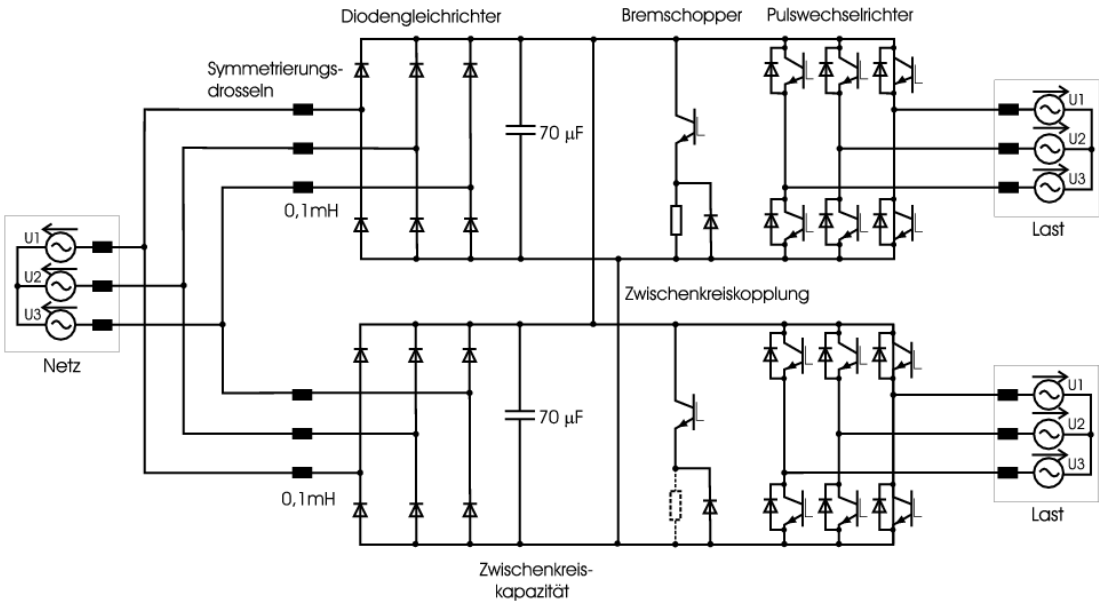

Abbildung 1.1.: Leistungselektronisches Schaltbild des Antriebssystems

Der Versuchsaufbau besteht, wie in Bild 1.2 angedeutet und in Bild 1.1 ausführlich aufgezeigt wird, aus einem Asynchronmaschinensatz, der von Industrie-Umrichtern gespeist wird. Bei den im Aufbau verwendeten Umrichtern handelt es sich um Gleichspannungszwischenkreisumrichter *(U-Umrichter)*, die im Wesentlichen aus einer ungesteuerten 6-Puls-Brückenschaltung, einem Zwischenkreiskondensator und einem selbstgeführten Pulswechselrichter mit IGBTs (Insulated-Gate Bipolar Transistor) bestehen. Aufgrund der nicht rückspeisefähigen Diodenbrücke ist ein Bremschopper integriert, welcher den Betrieb der Maschinen in allen vier Quadranten der Drehzahl-Drehmoment-Ebene ermöglicht. Die Gleichspannungszwischenkreise der beiden Umrichter sind gekoppelt, so dass im normalen Betriebsfall, bei dem eine Maschine als Motor und die andere als Generator (Belastungsmaschine) betrieben wird, die rückgespeiste generatorische Energie über den Zwischenkreis dem Motor wieder zur Verfügung steht. Auf diese Weise müssen vom Netz nur die Verluste der Umrichter und des Maschinensatzes gedeckt werden.

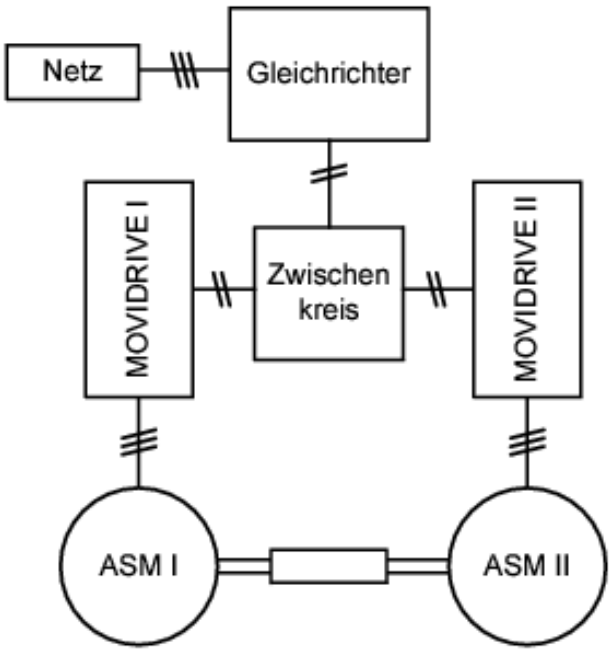

Abbildung 1.2.: Blockschaltbild mit den Komponenten des Antriebssystems

1.3. Umrichter

In der modernen Leistungselektronik werden abschaltbare Halbleiterbauelemente (z.B. IGBT) eingesetzt, die über ihre Steuerelektrode (z.B. über das Gate bei IGBT) abgeschaltet werden können und somit keiner zusätzlichen Löscheinrichtung wie bei Schaltungen mit Thyristoren bedürfen. Die Kommutierungszeitpunkte selbstgeführter Schaltungen können unter Beachtung der zulässigen Beanspruchung der Bauelemente frei gewählt werden. Selbstgeführte Stromrichter in Drehstrombrückenschaltung ermöglichen die Erzeugung dreiphasiger Wechselspannungen oder Wechselströme mit einstellbarer Amplitude und Frequenz.

Abbildung 1.3 zeigt das Schaltbild einer selbstgeführten Drehstrombrückenschaltung mit IGBT und antiparallelen Dioden (Pulswechselrichter) mit dem Ersatzschaltbild einer Asychronmaschine als Last. Die Last kann in Stern- oder Dreieckschaltung an die Ausgangsklemmen geschaltet werden. Der Sternpunkt der Last wird nicht mit dem Mittelpunkt der Gleichspannung verbunden, da der Laststrom dann weniger Oberschwingungen enthält. Das Vorzeichen des jeweiligen Laststroms entscheidet, ob der Laststrom durch den eingeschalteten Transistor, z.B. T4 bei positivem Vorzeichen von i_a , oder durch die antiparallele Diode, z.B. D4 bei negativem Vorzeichen von i_a, fließt. Die einfachste Steuer-

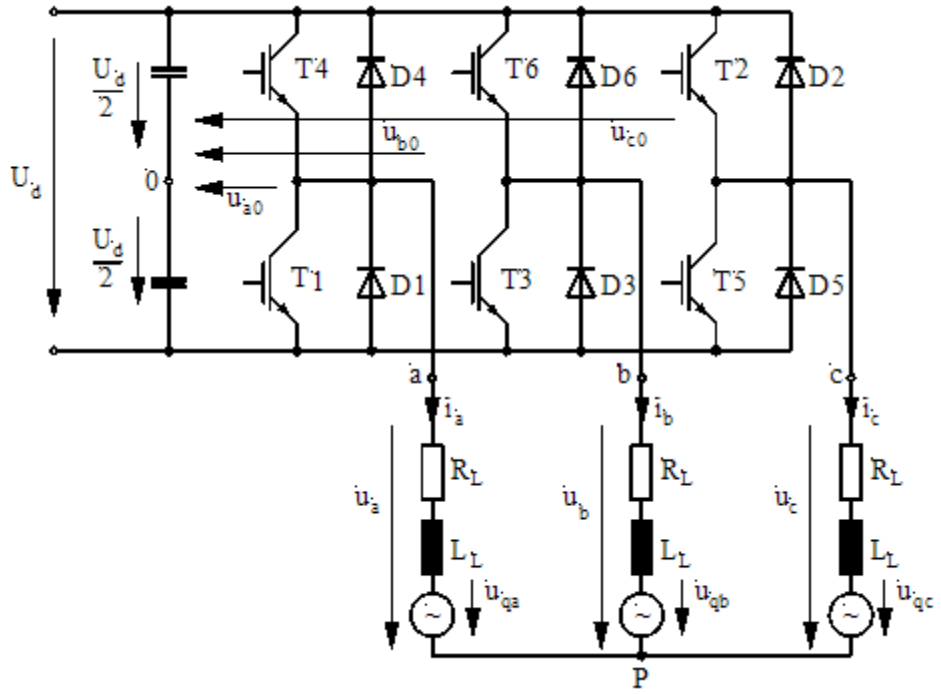

Abbildung 1.3.: Selbstgeführte Drehstrombrückenschaltung

methode für diese Schaltung ist die Grundfrequenztaktung, auch Blocksteuerung genannt. Jedes Zweigpaar wird für eine halbe Periode der Ausgangswechselspannung auf $+\frac{U_\mathrm{d}}{2}$ und für eine halbe Periode auf $-\frac{U_\mathrm{d}}{2}$ geschaltet, wobei die blockförmigen Spannungen der drei Zweigpaare um eine drittel Periode gegeneinander verschoben sind, um ein symmetrisches Drehspannungssystem zu erhalten. Die Sternspannungen (u_a, u_b, u_c) unterscheiden sich von den Spannungen zum Mittelpunkt des Zwischenkreises (u_a0, u_b0, u_c0) um den Gleichtaktanteil u_p0, den man aus

$$u_\mathrm{p0} = \frac{1}{3}(u_\mathrm{a0} + u_\mathrm{b0} + u_\mathrm{c0})$$

erhält. Bild 1.4 zeigt die Zeitverläufe der verketteten Spannungen, der Sternspannungen, der Spannungen zum Mittelpunkt des Zwischenkreises (Zweigpaarspannungen) und des Gleichtaktanteils bei Blocktaktung zur allgemeinen Darstellung der Ausgangsspannungen einer selbstgeführten Drehstrombrückenschaltung. Bei Blocktaktung kann nur die Frequenz des erzeugten Drehspannungssystems frei eingestellt werden, die Amplitude der Ausgangsspannung ist direkt von der Zwischenkreisspannung abhängig. Um eine Maschine drehzahlvariabel betreiben zu können, ist jedoch auch eine Variation der Ausgangsspan-

nungsamplitude nötig. Daher werden hier andere Steuerverfahren wie Raumzeigermodulation oder Sinus-Dreieck-Modulation benötigt, die alle $2^3 = 8$ möglichen Schaltzustände einer selbstgeführten Drehstrombrücke verwenden.

1.3.1. Umrichterdaten

Im Aufbau werden MOVIDRIVE Antriebsumrichter (MDV60A 0220-5O3-4) der Firma SEW Eurodrive eingesetzt. SEW empfiehlt für den MOVIDRIVE eine Motorleistung von 22 kW bei dynamisch anspruchsvoller Last; 30 kW können bei konstanter Belastung ohne Überlast dauerhaft vom Umrichter bereitgestellt werden. Die Umrichter werden vom 400 Volt Drehstromnetz gespeist. Dabei treten im Nennbetrieb Netzströme von 41,4 Ampere und Ausgangsströme von 46 Ampere auf. Für einen Zeitraum von mindestens 60 Sekunden ist eine Überlastung mit bis zu 150% des Nennstroms möglich.

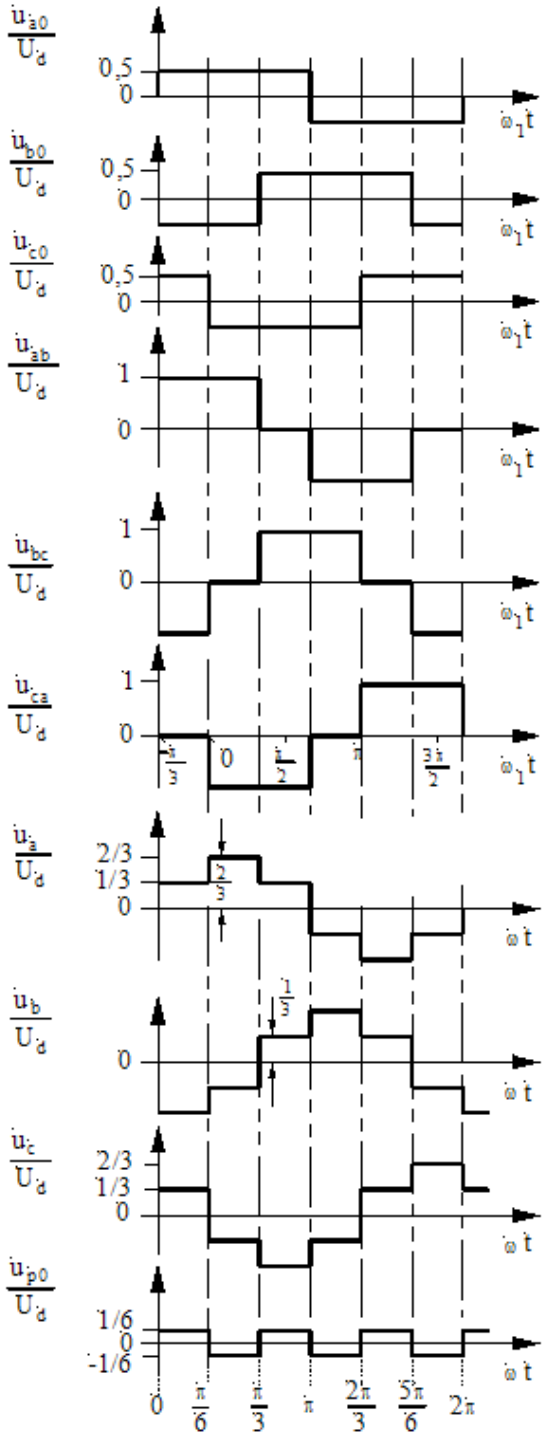

Abbildung 1.4.: Zeitlicher Verlauf der Zweigpaarspannungen und der Außenleiterspannungen bei Blocksteuerung einer sebstgeführten Drehstrom-Brückenschaltung, sowie die Sternspannungen an der Last bei nicht angeschlossenem Sternpunkt

1.4. Drehzahlregelungs- und Steuerungsverfahren

Es gibt zwei grundsätzlich verschiedene Verfahren zum drehzahlvariablen Betrieb von Asynchronmaschinen, die in diesem Praktikumsversuch angewendet werden. Bei der Inbetriebnahme des Umrichters können diese Verfahren in verschiedenen Varianten eingestellt werden.
Alle Verfahren bauen auf der Modellbildung der Asynchronmaschine auf, die zum Ersatzschaltbild gemäß Abb. 1.5 führen.

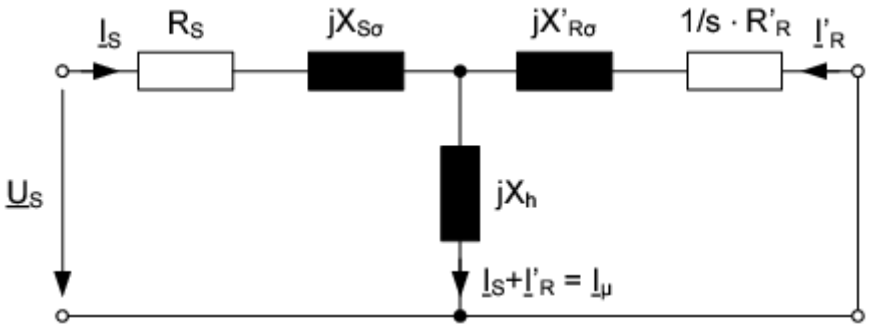

Abbildung 1.5.: Ersatzschaltbild einer Asynchronmaschine

1.4.1. Spannungs-Frequenz-Kennlinien-Verfahren

Ein einfaches Verfahren zur Drehzahlsteuerung besteht darin, die Speisefrequenz mit einer einstellbaren dreiphasigen Spannungsquelle vorzugeben, um die Drehmomentenkennlinie auf der Drehzahlachse zu verschieben. Der stabile Schnittpunkt mit der Kennlinie der Arbeitsmaschine kann so auf jeden beliebigen Drehzahlwert eingestellt werden. Kann der Statorwiderstand vernachlässigt werden ($R_S = 0$) und wird die Amplitude der Speisespannung drehzahlproportional geführt, bleiben die aus dem Ersatzschaltbild (Bild 1.5) hergeleiteten schlupffrequenzabhängigen Verläufe des Drehmoments, der Ströme und Leistungen unverändert erhalten (Bild 1.6).

Bei niedrigen Frequenzen im Bereich einiger Hertz muss der überproportional hervortretende Spannungsabfall am Ständerwiderstand durch eine zusätzliche Korrektur der Spannungsamplitude berücksichtigt werden (Bild 1.7). Diese Steuermethode wird aufgrund ihrer Einfachheit breit eingesetzt. Nur dort wo besondere Anforderungen an eine dynamisch hochwertige Drehzahlverstellung oder Drehmomentenvorgabe, wie z.B. bei Positionierantrieben, gestellt werden, wird die aufwendigere feldorientierte Regelung eingesetzt.

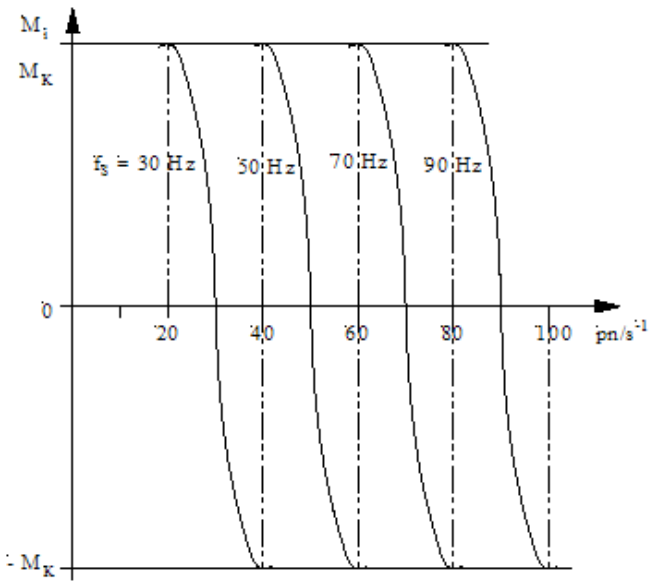

Abbildung 1.6.: Momentenkennlinien der Drehstromasynchronmaschine für verschiedene Statorfrequenzen und -spannungen mit $U_S \sim \omega_S$ (Annahme: $R_S = 0$, $f_{RK} = 10Hz$)

weitere Angaben Bei der im Versuch verwendeten U/f - Kennliniensteuerung (auch Voltage Flux Control-Regelung (VFC) genannt) wird im Prinzip kein Drehzahlgeber benötigt. Es handelt es sich um ein modifiziertes Spannungs-Frequenz-Kennlinienverfahren, für jede Betriebsfrequenz wird also eine fest voreingestellte Spannung eingestellt. Die Pulsfrequenz der Pulsweitenmodulation (PWM) kann hier zwischen 4, 8, 12 oder 16 kHz gewählt werden. Bei diesem Verfahren können bis zu 150% des Nenndrehmoments erzeugt werden.

1.4.2. Feldorientierte Regelung

Die dynamische Qualität der Drehmomenten- und Drehzahlsteuerung kann weiter gesteigert werden, wenn von der Spannungs-Frequenz-Steuerung zu einer Momentanwertsteuerung der Ständerströme in Betrag und Phasenwinkel übergegangen wird.

Bei der feldorientierten Regelung werden die Ströme in den Ständerwicklungen relativ zur Richtung des magnetischen Feldes eingeprägt. Das magnetische Feld werde dabei durch den Strom einer Wicklung erzeugt, deren Achse mit der Richtung des Flusses übereinstimmt ("Magnetisierungsstrom"). Für Drehzahl Null ist das leicht einzusehen, gilt aber auch für jede beliebige Drehzahl. Solange der Läufer mit dem Feld synchron dreht,

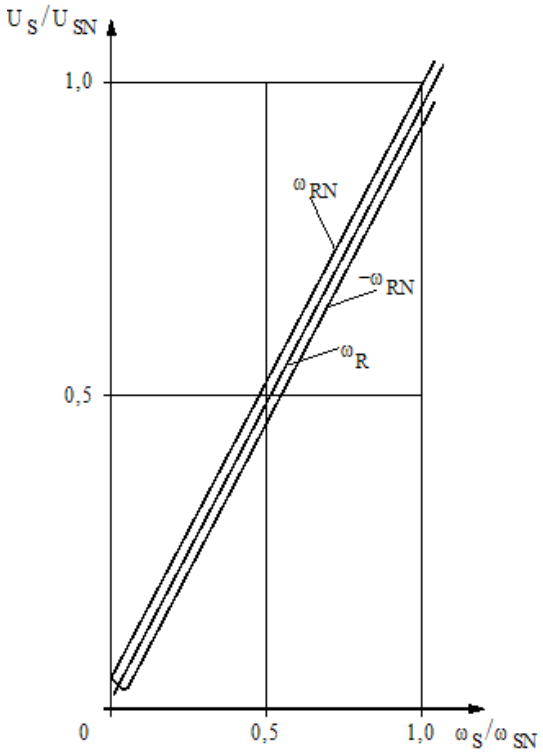

Abbildung 1.7.: Statorspannung in Abhängigkeit von der Stator- und der Rotorfrequenz bei einer mit $I_\mu = I_{\mu N}$ betriebenen Drehstromasynchronmaschine

werden in den Läuferstäben oder -wicklungen keine Spannungen induziert und es fließen keine Ströme. Ein elektrisch erzeugtes inneres Drehmoment entsteht dadurch, dass in der Läuferwicklung, deren Spulenachse senkrecht zum Feld steht, ein Strom fließt, der dem Drehmoment proportional ist. Dieser Strom wird bei der feldorientierten Regelung dadurch hervorgerufen, dass (unter Vernachlässigung der Streuinduktivitäten und unter Annahme eines Übersetzungsverhältnisses zwischen Ständer- und Läuferwicklung gleich 1) ein entgegengesetzt gleich großer, dem gewünschten Drehmoment proportionaler Ständerstrom eingeprägt wird.

Dementsprechend besteht die Bestromung der Ständerwicklungen aus zwei Anteilen:

- Magnetisierungsstrom i_d (meist konstant gleich dem Leerlaufstrom bei Nennspannung und Nennfrequenz)
- drehmomentbildender Strom i_q, proportional zum gewünschten Drehmoment

Beide Anteile können entsprechend Bild 1.8 vektoriell zum resultierenden Ständerstrom $\underline{i}_\mathrm{S}$

überlagert werden.

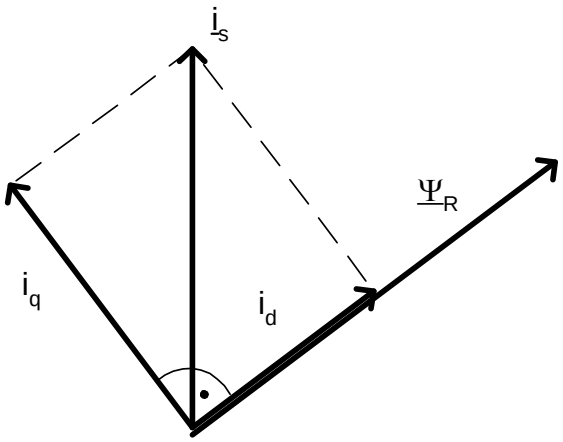

Abbildung 1.8.: Raumzeiger von Rotorfluss Ψ_R und Ständerstrom einer Asynchronmaschine

Zur phasenrichtigen Einprägung der Ständerströme muss die Lage des Flusses gemessen oder berechnet werden. Man wertet dazu Teilmodelle der Asynchronmaschine aus, entweder das sogenannte Spannungsmodell oder das sogenannte Strommodell oder eine Kombination aus beiden.
Das Spannungsmodell benutzt Messwerte der Strangspannungen und Strangströme, um den Fluss aus der Integration der induzierten Spannung zu ermitteln. Dieses Modell funktioniert ab etwa 5 Prozent der Nenndrehzahl recht parameterunempfindlich, versagt aber bei Statorfrequenz Null.
Das Strommodell benutzt Messwerte der Strangströme und der Drehzahl bzw. der Läuferstellung, um die Flusslage zu bestimmen. Die Genauigkeit dieses Modells hängt stark davon ab, wie exakt der Läuferwiderstand und die Läuferinduktivität im Modell eingestellt werden. Es funktioniert auch im Bereich der Statorfrequenz Null.
Aufgrund der Orientierung der Ständerströme an der Lage des magnetischen Feldes heissen Regelungen dieser Art "feldorientierte Regelung".

weitere Angaben Das im Versuch „Vektorregelung“ genannte Verfahren ist ein feldorientiertes Regelverfahren, das auf dem Strommodell in Raumzeigergrößen basiert. Für die Vektorregelung (auch CFC, Current Flux Control genannt) ist ein Drehzahlgeber notwendig. Die PWM-Frequenz ist hier fix auf 8 kHz eingestellt. Hier können (auch im Stillstand)

bis zu 160% des Nennmoments eingeprägt werden. Wesentliche Vorteile dieses Regelverfahrens sind:

- Höchste Präzission und Rundlaufeigenschaften bis zum Stillstand
- Servoeigenschaften und Drehmomentenregelung für ASM
- Erweiterung des Stellbereichs der Drehzahl
- Geringere lastabhängige Abweichung der Drehzahl (bessere statische Regelgenauigkeit)
- Kürzere Ausregelzeit (höhere Regeldynamik)

1.5. Motordaten

ASM 1: Maschine 1 ist ein vierpoliger Asynchron-Normmotor (SEW DV160L4), der in Dreieckschaltung betrieben wird. Er liefert im Nennbetrieb ein Drehmoment von 98 Nm bei einer Nenndrehzahl von 1460 U/min. Die Bemessungsspannung beträgt 400 V, der Nennstrom 29,5 A.

SEW DV160L4/TF/EV1A			△/Y
Nennleistung	P_N	kW	15
Nennstrom	I_N	A	29,5/17
Nennspannung	U_N	V	400/690
Nenndrehzahl	n_N	1/min	1460
Nennfrequenz	f_N	Hz	50
Leistungsfaktor	cos	-	0,82
Nennmoment	M_N	Nm	98,1
Motorträgheitsmoment	J_0	kgm^2	0,0925

ASM 2: Der in Sternschaltung betriebene vierpolige Asynchron-Servomotor (SEW CV160M4) erreicht im Nennbetrieb ($U_N = 290\,V, f_N = 50\,Hz, M_N = 73\,Nm$) seine Nenndrehzahl von 1440 U/min. Der Asynchron-Servomotor zeichnet sich durch seine höhere Eckdrehzahl aus (f_{Eck}=87 Hz), bei der er mit dem $\sqrt{3}$–fachen der Bemessungsspannung, also 500 Volt beaufschlagt werden kann. Dadurch kann die Maschine über einen größeren Frequenzbereich mit konstantem Moment betrieben werden (Grunddrehzahlbereich).

Erst ab 83 Hz fängt der Feldschwächbereich an, in dem das Drehmoment reziprok mit der Frequenz fällt. Als weitere Vorteile des Umrichtermotors nennt SEW die hohe Leistungsausbeute und die hohe Überlastfähigkeit (kurzzeitig dreifaches Nennmoment möglich).

SEW CV160M4/TF/V/EV1S			Y	△	Y
Nennstrom	I_N	A	30,5	50	30,5
Nennspannung	U_N	V	290	290	500
Nenndrehzahl	n_N	1/min	1440	2555	2555
Nennfrequenz	f_N	Hz	50	87	87
Eckfrequenz	f_{eck}	Hz	87		
Nennmoment	M_N	Nm	73,0	67,0	67,0
Max. Moment	M_{max}	Nm	219		
Motorträgheitsmoment	J_0	kgm^2	0,04		

Fremdlüfter: Im Unterschied zum eigenbelüfteten Motor 1 ist Motor 2 fremdbelüftet. Um einer unnötigen Geräuschbildung des Lüfters entgegenzuwirken, wird der Lüftermotor (SEW DV 132-160) mittels eines Hilfsumrichters (MC07) drehzahlgeregelt betrieben. Als Steuergröße wird dazu die Temperatur der ASM 2 mittels eines Temperaturfühlers im Klemmenkasten detektiert und in einen analogen Sollwert umgewandelt.

1.6. Komponenten des Antriebs und Aufbau des Schaltschranks

Das Antriebssystem besteht aus dem Maschinensatz mit Drehmomentmesswelle und inkrementellem Drehgeber und dem Umrichterschrank, der die Steuer- und Leistungselektronik enthält.

Bild 1.9 gibt eine Übersicht über die Anordnung der Komponenten im Schaltschrank. Auf der Vorderseite ganz oben befinden sich das Einspeisemodul mit dem zentralen Hauptschalter sowie den Betriebsinstrumenten:

1. Netzströme (I_{L1}, I_{L2}, I_{L3})
2. Speisespannung (U_{Ein})
   (Anzeige aller Außenleiter- und Strangspannungen über 7fach-Umschalter möglich)

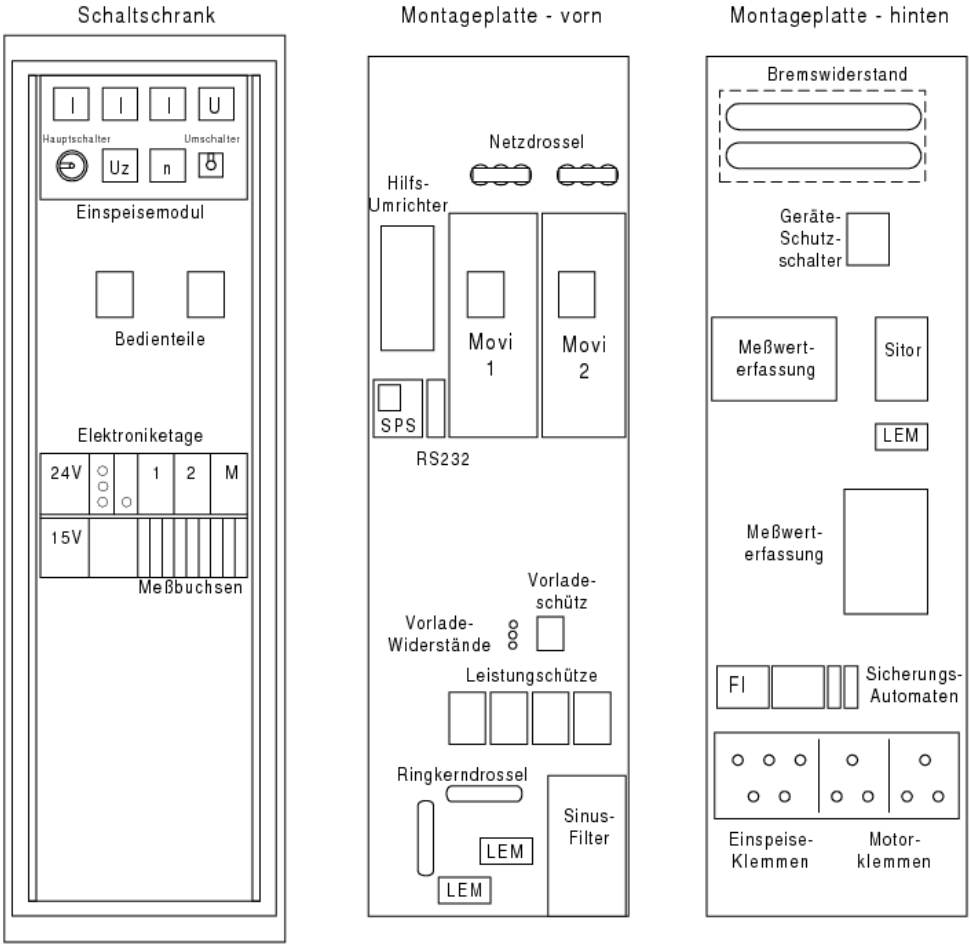

Abbildung 1.9.: Anordnung der Komponenten im Schaltschrank

3. Zwischenkreisspannung (U_z)

4. Drehzahl des Maschinensatzes (n)

In der Elektroniketage (Schroffrahmen) sind Netzteile, Bedienfelder und Messbuchsen untergebracht. Auf die Bedienfelder wird in Kapitel 1.7 näher eingegangen. Die transparente Abdeckung aus Makrolon verhindert ein Berühren der unter Spannung stehenden Bauteile, ermöglicht jedoch zugleich den Einblick auf nahezu alle Systemkomponenten. Lediglich die SEW-Bediengeräte (DBG11A) beider Umrichter ragen aus der Abdeckung heraus und sind den Bedienern zugänglich.

1.6.1. Messwerterfassung

Die MOVIDRIVE-Umrichter liefern Informationen über verschiedene Prozesswerte und Statuszustände, die z.B. mit dem Bediengerät oder über einen PC-Bildschirm dargestellt oder über Analogausgänge gemessen werden können. Dies kann besonders vorteilhaft zur Messung von Größen wie Frequenz, Ist-Position und Drehzahl genutzt werden, da diese intern für die Regelung verwendet werden und daher sehr genau sind. Desweiteren können der Effektivwert des Ausgangsstroms, des Wirkstroms, die Motorauslastung und die Zwischenkreisspannung über die verwendete Software angezeigt werden.

Für die wesentlichen externen Größen des Antriebssystems ist im Schroffrahmen eine zusätzliche Messwerterfassung eingebaut, die folgende Größen umfasst:

- Netzspannungen (u_1, u_2, u_3, u_α, u_β)
- Netzströme (i_{L1}, i_{L2}, i_{L3}, i_α, i_β)
- Zwischenkreisspannung (u_z)
- Zwischenkreisstrom (i_z)
- Spannung über Bremswiderstand (u_{Br})
- Strom durch Bremswiderstand (i_{Br})
- Motorzuleitungsströme – MOVIDRIVE 1 ($i_{1\mathrm{U}}$, $i_{1\mathrm{V}}$, $i_{1\mathrm{W}}$, $i_{1\alpha}$, $i_{1\beta}$)
- Motorzuleitungsströme – MOVIDRIVE 2 ($i_{2\mathrm{U}}$, $i_{2\mathrm{V}}$, $i_{2\mathrm{W}}$, $i_{2\alpha}$, $i_{2\beta}$)
- Strangströme von Motor 1 (i_{UV}, i_{VW}, i_{WU}, i_α, i_β)
- Mechanisches Drehmoment (M)

Die Ströme werden über Kompensationsstromwandler (LEM), die Spannungen über Spannungsteiler erfasst. Das Drehmoment wird über eine Drehmomentmesswelle ermittelt und in der Elektroniketage angezeigt. Hier befindet sich auch die Betriebsanzeige und der Taster für den Offsetabgleich. Dieser Taster muss nach dem Einschalten der Versorgungsspannung betätigt werden um die Dremomentmesswelle abzugleichen.
Wichtig: Dieser Nullpunktabgleich ist bei nicht bestromtem und stillstehendem Antrieb durchzuführen.

In symmetrischen sinusförmigen Systemen hat es sich als vorteilhaft erwiesen, die elektrischen Größen als Raumzeiger darzustellen. Die Raumzeiger werden dabei nach der leistungsvarianten Definition folgendermaßen berechnet:

$$\begin{aligned} \underline{u} &= \frac{2}{3}\left(u_1 + \underline{a}u_2 + \underline{a}^2 u_3\right) \\ &= u_\alpha + j u_\beta \\ u_0 &= \frac{1}{3}(u_1 + u_2 + u_3) \\ \underline{i} &= \frac{2}{3}\left(i_1 + \underline{a}i_2 + \underline{a}^2 i_3\right) \\ &= i_\alpha + j i_\beta \\ i_0 &= \frac{1}{3}\left(i_1 + i_2 + i_3\right) \end{aligned}$$

In dieser Formel bezeichnet $\underline{a}$ die komplexe Konstante

$$\underline{a} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} = e^{j\frac{2}{3}\pi} \tag{1.1}$$

Die komplexen Größen $\underline{u}$ / $\underline{i}$ beschreiben dabei den Raumzeiger mit den Realteil- und Imaginärteil-Komponenten. u_0 / i_0 wird als Nullkomponente bezeichnet. Diese Werte sind nicht mit Effektivwerten zu verwechseln. Effektivwerte bleiben in stationären Betrieb in Phase und Amplitude konstant. Raumzeiger sind jedoch zeitabhängige Größen.

1.7. Inbetriebnahme des Antriebs

Es gibt mehrere Möglichkeiten, den Antrieb zu steuern und Sollwerte vorzugeben. Diese werden im Folgenden kurz beschrieben.

1.7.1. Movitools – Bedienung über den PC

Wie bereits erwähnt, kann der Umrichter mit verschiedenen Betriebsarten (Regelverfahren (siehe Kapitel 1.4), Regelgrößen (n oder M-Regelung)), sowie Positionierungsprogrammen und unterschiedlichen Parametersätzen betrieben werden.

Um das gewünschte Betriebsverhalten einzustellen benötigt man einen PC mit der *Movitools-Software*, mit deren Hilfe man über eine serielle Schnittstelle des Computers

mit den Umrichtern kommuniziert. Damit die Umrichter unterschieden werden können, müssen ihnen unterschiedliche Adressen zugeteilt sein.

Die Movitools werden zentral gestartet mit dem **Movi-Manager** (Abb. 1.10). Mit diesem zentralen Programmfenster werden mit dem Button „Aktualisieren“ alle über die serielle Verbindung angeschlossenen Umrichter erkannt. Für die einzelnen Umrichter können dann die folgenden Unterprogramme aufgerufen werden:

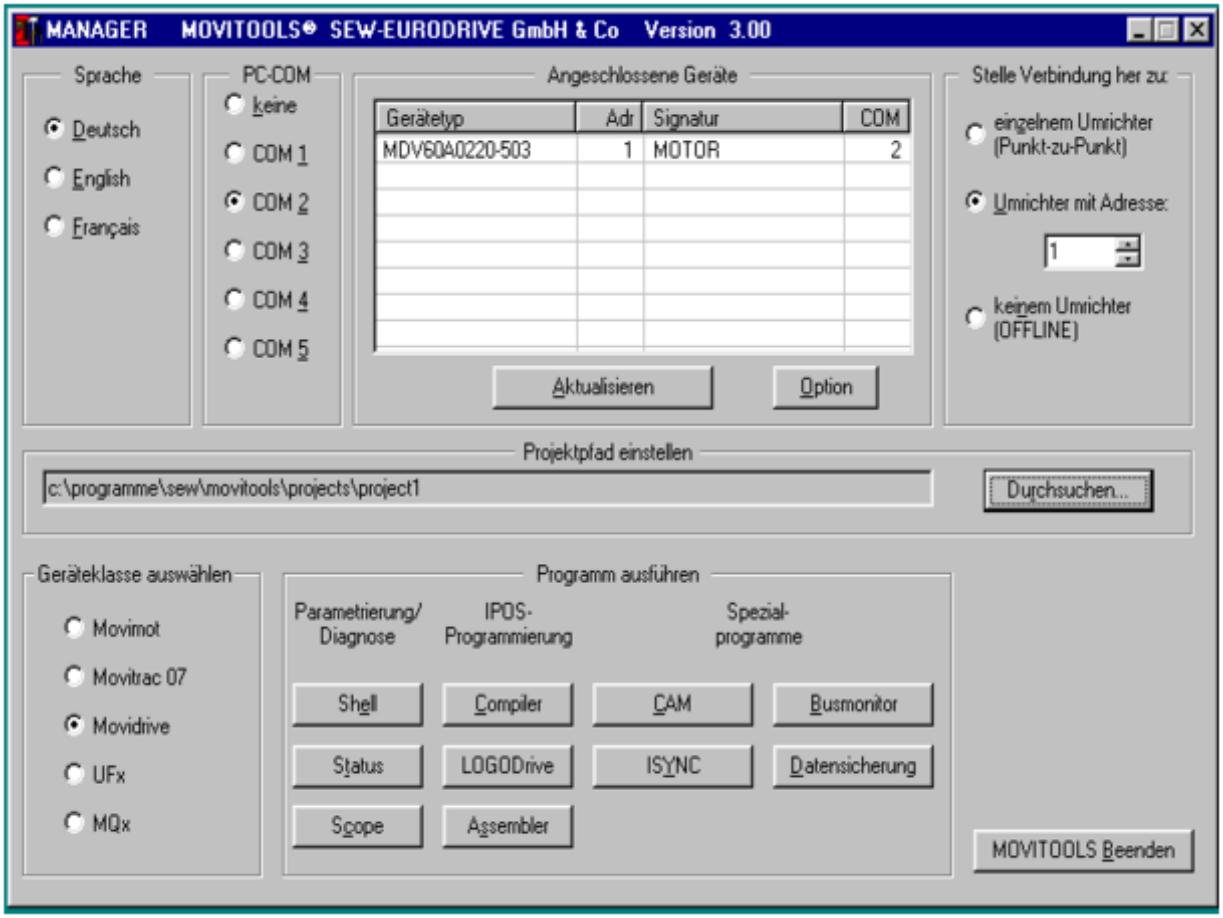

Abbildung 1.10.: Movitools: Movi-Manager

Scope: Die Prozessdaten-Visualisierung MX_SCOPE ermöglicht eine 4-Kanal Messwertaufzeichnung und Darstellung auf dem Monitor. Pro Kanal werden dabei 2048 Messpunkte mit einer wählbaren Abtastzeit (1 ms ... 1 s) aufgezeichnet. Anschließend werden die Daten an den PC übertragen und auf dem Monitor grafisch dargestellt, was einige Sekunden dauert. Die flankengesteuerte Triggerung kann manuell oder über eine Binärklem-

me erfolgen.

Status: Die Statusanzeige besteht aus einem kleinen Windows-Fenster, in dem hauptsächlich über den aktuellen Betriebsstatus (24 V-Betrieb, Reglersperre, Freigabe, Störung, ...) informiert wird. Zur Identifikation zeigt es die angesprochene Umrichteradresse und die Gerätesignatur an, welche einem Umrichter in der Shell gegeben werden kann (MOVIDRIVE 1 ⇔ „Motor“). Über den Button „Reset“ ist eine Fehlerquittierung möglich.

Shell: Mit dem MX_Shell-Programm kann man die Parametrierung und Inbetriebnahme der Umrichter vornehmen. In verschiedenen Menüpunkten erhält man Informationen über das angesprochene Gerät. Die Parametersätze der Umrichter können auf dem PC in einer Datei gespeichert werden; umgekehrt können Parameterdateien in den Umrichter geladen werden.

Compiler: Hier steht ein geeigneter Editor zum Schreiben eines C++ Programms für die integrierte Positionierung und Ablaufsteuerung (IPOS) zur Verfügung. Der Quellcode kann anschließend compiliert und an den Umrichter gesendet werden. Sofern der Umrichter mit der IPOS-Funktion in Betrieb genommen wurde, führt dieser das Programm aus, sobald dieses gestartet und der Umrichter freigegeben wird.

Assembler: In der Assembler-Umgebung gibt man direkte Maschinenbefehle ein, ohne den Umweg über eine höhere Programmiersprache zu gehen. Die spezifischen Assemblerbefehle können in einem Menüfenster angezeigt und in das Programm kopiert werden. Durch einfache Wahl des gewünschten Befehls und Eingabe der Variablen kann so schnell ein einfaches Programm geschrieben werden.

1.7.2. Bediengerät am Umrichter

Das optionale Bediengerät UBG11A wird direkt auf dem Terminalsteckplatz der Movidrives aufgesteckt und dient zur Inbetriebnahme und Einstellung der Parameter, die aber über das SHELL Programm auf dem PC komfortabler ausgeführt werden können. Nützlich ist die Anzeige von Prozess- und Statusanzeigen auf dem zweizeiligen Klartext-Display. Das Bediengerät wird in diesem Versuch nicht zur Eingabe verwendet.

1.7.3. Das Bedienfeld in der Elektroniketage

Außer den vorher genannten standardmäßig von SEW bereitgestellten Bedienungsmöglichkeiten kann der Umrichter auch mit einer manuellen Steuerung und analogen Sollwertvorgabe über das in Abb. 1.11 dargestellte Bedienfeld betrieben werden.

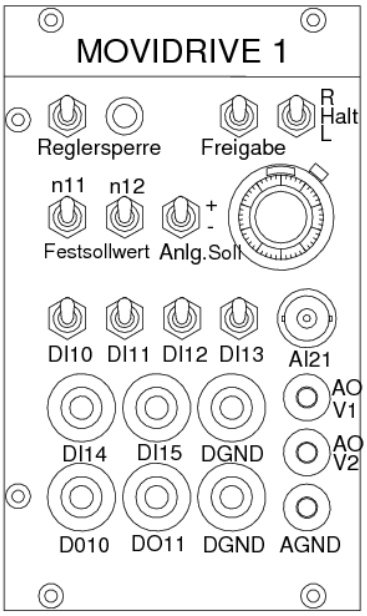

Abbildung 1.11.: Bedienfeld für Movidrive-Umrichrichter 1

Die rote Leuchtdiode signalisiert die aktivierte Reglersperrre. Bei aktiver Reglersperre wird vom Umrichter keine Ausgangsspannung bereitgestellt, die angeschlossene Maschine kann im Leerlauf drehen. Ist die Reglersperre deaktiviert, die Freigabe aber nicht aktiviert, so hält der Umrichter die Maschine im Stillstand (Drehzahl = 0). Zur Freigabe des Umrichters muss der Drehrichtungssinn (über den Schalter R-Halt-L) mit Halt (= Mittelstellung) vorgegeben werden. Sollwerte können entweder variabel über ein 10-Gang-Potentiometer (Polarität umschaltbar über +/-) oder über vorbelegte Festsollwertschalter (Tabelle 1.1) eingestellt werden.

Mit den Schaltern DI10 bis DI13 können vorprogrammierte Fahrprogramme ausgewählt werden (z.B. alle 5 Sekunden reversieren etc...).

Abb. 1.12 zeigt das zentrale Schaltfeld für den Antrieb. Mit der Taste „Quittier.“ können Fehler quittiert werden. Erlischt die Lampe im Schalter nicht, so wird in der Statusanzeige angezeigt was für ein Fehler vorliegt. Über die Leuchtdioden der Anzeigeeinheit werden verschiedene Umrichterzustände visualisiert.

n11	n12	MOVIDRIVE I	MOVIDRIVE II
↑	↑	1500 1/min	110 Nm
↓	↑	1000 1/ min	70 Nm
↑	↓	500 1/min	30 Nm
↓	↓	Potentiometer	Potentiometer

Tabelle 1.1.: Belegung der Festsollwertschalter im Bedienfeld der beiden Umrichter

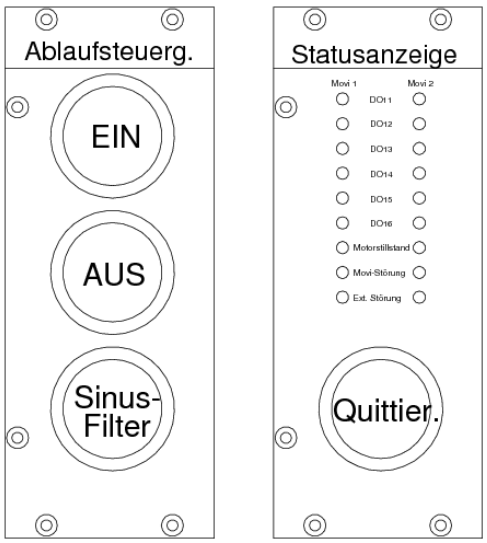

Abbildung 1.12.: Ablaufsteuerung und Anzeigeeinheit

1.7.4. Beispiel einer Inbetriebnahme und Einstellung der Parameter

Für die Inbetriebnahme des Antriebs sind folgende Schritte notwendig:

1. Hauptschalter einschalten.
   Das 24-Volt-Netzteil wird dadurch an Netzspannung (220 V) gelegt. Dieses versorgt die Bedienfelder im Schroffrahmen, die Schützsteuerung und die Umrichter (⇒ „24 V-Betrieb“)

2. Quittierung betätigen.
   Beim ersten Einschalten wird die SPS initialisiert. Nach Betätigung des Quittierungs-Tasters erlischt die Quittierungs-Lampe, sofern keine Störung vorliegt.

3. Messwelle abgleichen.

Mit dem Taster neben der Momentenanzeige wird der Nullpunkt der Messwelle festgelegt.

4. Reglersperre bei beiden Umrichtern aktivieren.
   Damit Maschinensatz nicht ungewollt anläuft. ⇒ rote Leuchtdiode leuchtet.

5. Umrichter programmieren.
   In diesem Betriebszustand kann der Umrichter über den PC auf die diversen Regelverfahren umprogrammiert werden.

6. Ein-Taster betätigen.
   Der Umrichter wird ans Netz geschaltet.

7. Reglersperre deaktivieren, Freigabe erteilen, Rechts- oder Linkslauf aktivieren.

Falls die Umrichter in einer anderen Betriebsart (VFC, CFC, etc...) als der zuletzt eingestellten und abgespeicherten betrieben werden sollen, so muss man diese erst mit dem Bedienteil oder der Inbetriebnahmesoftware neu parametrisieren. Dies kann man im 24 V-Betrieb, bei dem die Umrichter noch nicht an das Netz geschaltet sind, durchführen. Die Elektronik der Umrichter wird dann über das externe Netzteil gespeist.
Das Vorgehen beim Programmieren eines Umrichters soll hier beispielhaft am MOVIDRIVE 1 für die U/f-Drehzahlregelung dargestellt werden. Dazu startet man das Programm „MoviManager“ und wählt „Aktualisieren“, um alle angeschlossenen Umrichter anzuzeigen (Abb. 1.10). Nach Anwählen der gewünschten Umrichteradresse in dem MANAGER startet man die SHELL. In dem neuen Fenster kann die Inbetriebnahme über das gleichnamige Menü (Inbetriebnahme → Inbetriebnahmeassistent) oder durch einen Klick auf das rote Motor-Icon gestartet werden.
Der Parametersatz 2 ist vorgesehen, um zwei verschiedene Motoren abwechselnd (über Schütze umschaltbar) am gleichen Umrichter betreiben zu können. Dieser kann allerdings nur ohne Geber in der Betriebsart U/f betrieben werden, da nur ein Geberanschluss am MOVIDRIVE vorhanden ist. Im Versuch wird darum ausschließlich der Parametersatz 1 verwendet. Man wählt im folgenden Dialog (Abbildung 1.13) „Komplett-Inbetriebnahme“ und danach „Einzel-Motor“, je nach Aufgabenstellung mit U/f-Regelung oder mit Vektorregelung.

Nach dem Hinweis, daß der Geber kein elektronisches Typenschild enthält, muß der angeschlossene Motortyp und die Gebereigenschaften eingegeben werden. Bei der am MOVIDRIVE 1 angeschlossene Maschine handelt es sich um die ASM1, einen IEC-Motor, der

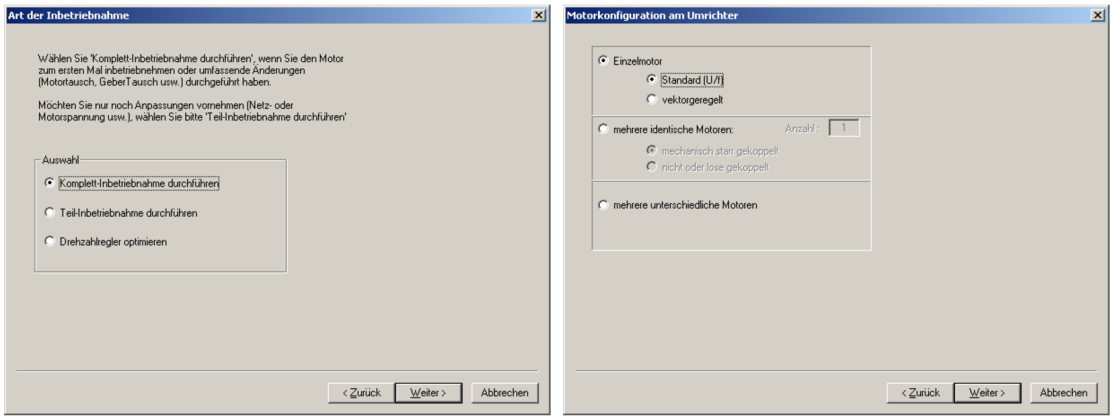

Abbildung 1.13.: Auswahl der Betriebsart und des Reglertyps

Geber hat 1024 Striche. Die Nennwerte des Motors erhält man zum Beispiel vom Typenschild (siehe 1.5). Je nach Aufgabenstellung kann daraufhin die Verwendung des Gebers freigegeben werden.

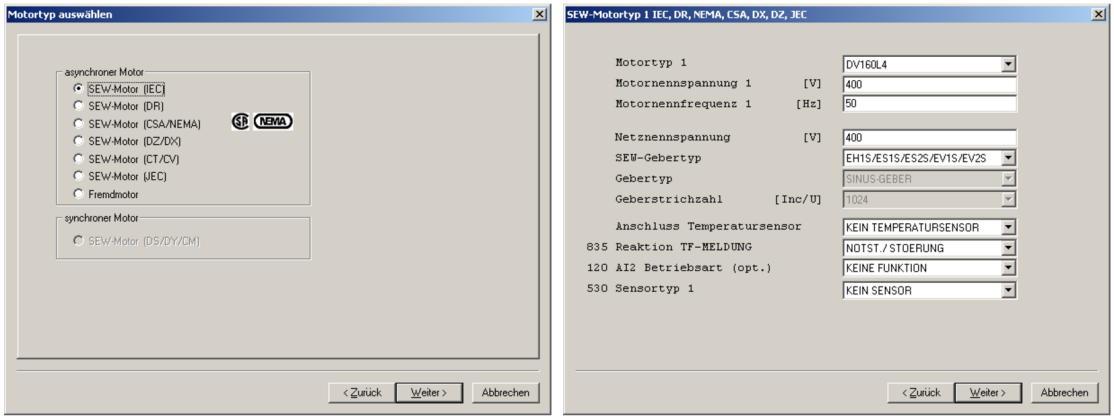

Abbildung 1.14.: Einstellung der Motorparameter

Erheblichen Einfluss auf die Auslegung des Reglers hat man über die Angabe der Steifigkeit des Drehzahlreglers und des Lastträgheitmoments im Diaogfeld „Drehzahlregler“ (Abb. 1.15). Als Lastträgheitsmoment ist bei dem gekoppelten Maschinensatz das Trägheitsmoment des anderen Motors zu wählen. Mit einem Faktor von 0,7 für die Steifigkeit, die ein Maß für die Schnelligkeit des Drehzahlregelkreises ist, werden zufriedenstellende Regeleigenschaften erreicht.

Da im Motor keine mechanische Bremse integriert ist, deaktiviert man die Bremsenfunk-

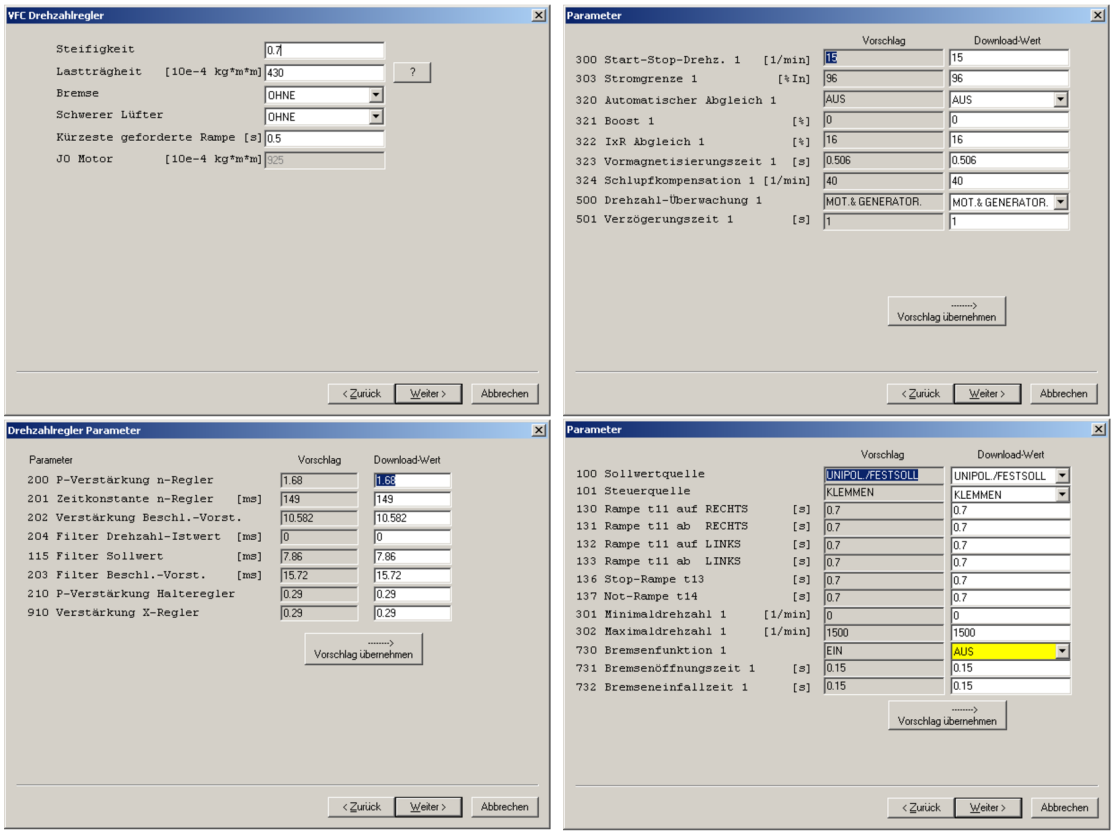

Abbildung 1.15.: Einstellen der Reglerparameter

tion. In den darauffolgenden Dialogen kann man direkt Reglerverstärkungen und Zeitkonstanten verändern, was aber nach Aussagen von SEW in der Industrie eher unüblich ist. Wir übernehmen alle Vorschläge außer den Vorgaben aus der Versuchsanleitung und deaktivieren noch einmal die Bremsfunktion. Im letzten Fenster kann die Konfiguration dann über den Button „Fertigstellen“ auf den Umrichter hochgeladen werden, hierzu muss die Reglersperre aktiviert sein. Der Vorgang sollte mit einer entsprechenden Meldung bestätigt werden.

1.7.5. Vorgehen für Positionieraufgaben

In den MOVIDRIVE-Umrichtern ist eine Ablaufsteuerung und Positioniervorgabe integriert (IPOS). Dazu muss der MOVIDRIVE 1 mit der Funktion „Vektorregelung & IPOS“ in Betrieb genommen werden. Im Unterprogramm ASSEMBLER (Abb. 1.16) kann nun ein einfaches Positionierungsprogramm geschrieben, compiliert und auf den MOVIDRIVE

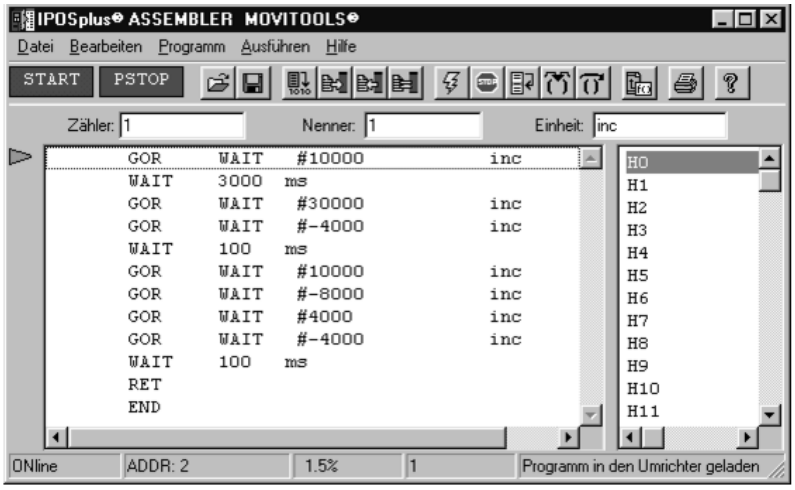

Abbildung 1.16.: Programmierung einer einfachen Positioniervorgabe mit der ASSEMBLER–Umgebung

1 übertragen werden. Dieser führt das IPOS-Programm, das zuvor noch über den PC aktiviert werden muss, aus (Taste mit Blitz-Symbol). Die Abb. 1.16 zeigt ein mögliches Beispielprogramm.

2. Versuchsdurchführung

Die Versuche sind so zusammengestellt, daß Motor 1 immer drehzahlgeregelt und Motor 2 immer momentengeregelt betrieben wird. Beachten Sie darum, daß der Motor 2 nicht alleine freigegeben wird, da er in diesem Fall, nur durch das Trägheitsmoment gebremst, bis zur Maximaldrehzahl beschleunigt. In den Versuchen werden Sie Umrichter 1 in den verschiedenen Betriebsarten konfigurieren, die Konfiguration von Umrichter 2 bleibt unverändert.

2.1. Inbetriebnahme der Anlage

- Versichern Sie sich, dass der Hauptschalter am Versuchsschrank auf „OFF“ steht und der Versuchsrechner eingeschaltet ist.
- Einschalten an der Schalttafel.
  Der Versuchsaufbau steht jetzt unter Spannung. Am Einspeisemodul (Drehschalter) kontrollieren, ob alle drei Phasen vorhanden sind. (Gelbe Warnleuchte am Versuchsstand leuchtet).
- Hauptschalter (Drehschalter rot) am Versuchsaufbau einschalten.
  Die Movidrives und das Steuerrelais für die Schützansteuerung werden jetzt mit einem 24V Netzteil versorgt. In diesem Zustand kann parametrisiert werden. Wichtig!: Für die Inbetriebnahme muss der Zwischenkreis nicht geladen sein.
- Programm MT-Manager starten ⇒ einzelnen Umrichter Punkt zu Punkt
  oder Umrichter mit Adresse 1 auswählen ⇒ Aktualisieren.
- Im Fenster wird jetzt die Adresse und die Kennung des einen Movidrive angezeigt ⇒ Shell öffnen

2.2. Inbetriebnahme des Antriebs mit U/f-Kennlinien-Steuerung:

Zu Beginn soll das Antriebssystem im einfachsten Modus drehzahlgeregelt ohne Geber in Betrieb genommen werden. Dafür sind folgende Schritte notwendig.

- Starten der Inbetriebnahme durch Anklicken der roten Maschine in der Iconleiste oder über das Menü Inbetriebnahme ⇒ Inbetriebnahme....
- **Inbetriebnahme-Typ auswählen**
  - **Inbetriebnahme für Motor 1** (Parametersatz 1)
- **Art der Inbetriebnahme**
  - **Komplett-Inbetriebnahme**
- **Betriebsart auswählen**
  - **Einzelmotor**
  - **Standard (U/f)**
- **SEW-Motortyp**
  - **Motordaten** siehe Typenschild oder Anhang
  - **Gebertyp** EV1S
  - **Reaktion TF-Meldung** NOTST./STOERUNG
- **Geber verwenden**
  - **Nein, ich verwende den Geber nicht**
- **Reglerparameter**
  - **Start-Stop-Drehz. 1** 20
  - **Stromgrenze** 100
  - **Drehzahlüberwachung** MOT.& GENERATOR.
  - **Verzögerungszeit** 5
  - **Sollwertquelle** BIPOL./FESTSOLL
  - **Steuerquelle** KLEMMEN

- **Minimaldrehzahl** 0
- **Maximaldrehzahl** 1500
- **Bremsenfunktion** AUS

Laden Sie die Inbetriebnahme-Parameter auf den Umrichter hoch.

2.2.1. Messungen am Antrieb ohne Drehzahlgeber

Für die Messungen am Antrieb muss der Umrichter durch Betätigen des „Ein-Tasters“ ans Netz geschaltet werden. Folgendes ist zu beachten:
Legende:

Ein: „↑“ steht für Kippschalter nach oben

Aus: „↓“ steht für Kippschalter nach unten

- Vor dem ersten Einschalten muss zuerst quittiert werden. ⇒ Qitt. Taster am Aufbau. Erlöscht die Lampe nicht, liegt ein Fehler vor.
- Schalterstellungen am Bedienfeld von MOVIDRIVE 1
  - Reglersperre aktiv: Ein ↑
  - Freigabe: Aus ↓
  - R Halt L: Rechts ↑
  - Festsollwerte: Potentiometer, n11 ↓, n12 ↓
  - Analogrichtung: + ↑
  - Drehpoti Anlg. Soll.: 0.0
  - Fahrprogramm: DI10 - DI13 ↓
- Schalterstellungen am Bedienfeld von MOVIDRIVE 2
  - Reglersperre aktiv: Ein ↑
  - Freigabe: Ein ↑
  - R Halt L: Rechts ↑
  - Festsollwerte: Potentiometer, n11 ↓ n12 ↓
  - Analogrichtung: - ↓

  - Drehpoti Anlg. Soll.: 0.0
  - Fahrprogramm: DI10 - DI13 ↓

- Hochfahren des Antriebs (Movidrive 1)
  - Reglersperre: Aus ↓
  - Freigabe: Ein ↑
  - mit dem Drehpotentiomenter die gewünschte Drehzahl einstellen.
  - verschiedene Drehzahlen anfahren, reversieren und Festsollwerte ausprobieren

2.2.2. Belasten des Antriebs mit Motor 2

- Die Drehzahl muss durch die ASM (MOVIDRIVE 1) vorgegeben werden da die Belastungsmaschine (MOVIDRIVE 2) drehmomentengeregelt betrieben wird.
- Reglersperre: Aus ↓
- Freigabe: Ein ↑
- mit dem Drehpotentiomenter das Sollmoment vorgeben.

Drehzahlabweichung zwischen MOVIDRIVE 1 und MOVIDRIVE 2:
Stellen Sie folgende Sollwerte ein und tragen Sie die Drehzahldifferenz in die Tabelle 2.1 ein.
Drehzahl: 500 $1/min$, 1000 $1/min$, 1500 $1/min$.
Last: 25 Nm, 50 Nm, 75 Nm, 100 Nm.

Sollmoment:	25 Nm	50 Nm	75 Nm	100 Nm
Solldrehzahl = 500 1/min				
Solldrehzahl = 1000 1/min				
Solldrehzahl = 1500 1/min				

Tabelle 2.1.: Drehzahldifferenz bei verschiedenen Drehzahlen und verschiedenen Belastungen bei der Betriebsart VFC1

2.3. Inbetriebnahme mit U/f-Kennlinie und Drehzahlregelung:

- Starten der Inbetriebnahme durch Anklicken der roten Maschine in der Iconleiste oder über das Menü Inbetriebnahme ⇒ Inbetriebnahme....
- **Inbetriebnahme-Typ auswählen**
  - **Inbetriebnahme für Motor 1** (Parametersatz 1)
- **Art der Inbetriebnahme**
  - **Komplett-Inbetriebnahme**
- **Betriebsart auswählen**
  - **Einzelmotor**
  - **Standard (U/f)**
- **Motortyp wählen**
  - **SEW-Motor IEC**
- **SEW-Motortyp**
  - **Motordaten** siehe Typenschild oder Anhang
  - **Gebertyp** EV1S
  - **Reaktion TF-Meldung** NOTST./STOERUNG
- **Geber verwenden**
  - **Ja, ich verwende den Geber**
- **Drehzahlregler**
  - **Steifigkeit** 0.7
  - **Lastträgheit** 430
  - **Bremse** ohne
  - **Kürzeste geforderte Rampe** 0.5
- **Reglerparameter**

  - **Start-Stop-Drehz. 1** 20
  - **Stromgrenze** 100
  - **Drehzahlüberwachung** MOT.& GENERATOR.
  - **Verzögerungszeit** 10

- **Parameter**
  - **Sollwertquelle** BIPOL./FESTSOLL
  - **Steuerquelle** KLEMMEN
  - **Minimaldrehzahl** 0
  - **Maximaldrehzahl** 2000
  - **Bremsenfunktion** AUS

2.3.1. Messungen am Antrieb mit Drehzahlgeber

Einschalten wie im vorhergehenden Versuch → Messungen von 2.2.2 nochmals durchführen und Ergebnisse in Tabelle 2.2 eintragen.

Sollmoment:	25 Nm	50 Nm	75 Nm	100 Nm
Solldrehzahl = 500 1/min				
Solldrehzahl = 1000 1/min				
Solldrehzahl = 1500 1/min				

Tabelle 2.2.: Drehzahldifferenz bei verschiedenen Drehzahlen und verschiedenen Belastungen bei der Betriebsart U/f mit Drehzahlregelung

2.3.2. Messungen mit Drehmomentenspiel

Belasten der Maschine mit einem Drehmomentenspiel. Mittels der Belastungsmaschine (MOVIDRIVE 2).

- Vorgabe für MOVIDRIVE 1
  - Drehzahl = 1000 1/min (n11 ↓ n12 ↑)

- Schalterstellungen am Bedienfeld von MOVIDRIVE 2
  - Reglersperre aktiv: Ein ↑
  - Freigabe: Ein ↑
  - R Halt L: Halt →
  - Festsollwerte: Potentiometer, n11 ↓ n12 ↓
  - Analogrichtung: - ↓
  - Drehpoti Anlg. Soll.: 0.0
  - Fahrprogramm: DI10 ↑ DI11↑ DI12 ↓ DI13 ↓

Das ausgewählte Fahrprogramm belastet die Maschine 1 in regelmäßigen Abständen kurzzeitig mit 60 Nm.
Zeichnen Sie das Belastungsdiagramm mit dem Scope-Programm auf und drucken Sie es (im Querformat) aus (Aufzeichnung starten → Daten vom Umrichter laden).

2.4. Programmierung des Antriebs für Positionieraufgaben:

- Starten der Inbetriebnahme durch Anklicken der roten Maschine in der Iconleiste oder über das Menü Inbetriebnahme ⇒ Inbetriebnahme....
- **Inbetriebnahme-Typ auswählen**
  - **Inbetriebnahme für Motor 1** (Parametersatz 1)
- **Art der Inbetriebnahme**
  - **Komplett-Inbetriebnahme**
- **Betriebsart auswählen**
  - **Einzelmotor**
  - **vektorgeregelt**
- **Motortyp wählen**
  - **SEW-Motor IEC**
- **SEW-Motortyp**

  - **Motordaten** siehe Typenschild oder Anhang
  - **Gebertyp** EV1S
  - **Reaktion TF-Meldung** NOTST./STOERUNG

- **Geber verwenden**
  - **Ja, ich verwende den Geber**
- **Einsatzmöglichkeit**
  - **Positionierung mit IPOS**
- **Betriebsart**
  - **stromgeführt mit Rückführung**
- **Regler**
  - **Steifigkeit** 0.7
  - **Lastträgheit** 430
  - **Antrieb** spielfrei
  - **Bremse** OHNE
  - **Schwerer Lüfter** OHNE
  - **Kürzeste geforderte Rampe** 0.5
  - **Zeitraster ext. Steuerung:** 1
  - **Anzahl nachgeschalteter Slaves:** 0
- **Parameter**
  - **Stromgrenze** 100
  - **Drehmoment** 130
  - **Drehzahlüberwachung** aus
  - **Geberüberwachung Motor:** Ja
- **Drehzahlregler**
  - Sämtliche Vorschläge von SEW übernehmen
- **Parameter**

- **Sollwertquelle** UNIPOL./FESTSOLL
- **Steuerquelle** KLEMMEN
- **Bremsenfunktion** AUS
- **Minimaldrehzahl** 0
- **Maximaldrehzahl** 3000

Schreiben eines Positionierprogramms in Assembler:

- Nacheinander vier Vierteldrehungen rechtsherum, jeweils eine viertel Sekunde Pause dazwischen
- 5 Umdrehungen linksherum
- 100 Umdrehungen rechtsherum
- 1 Sekunde Pause

Die Programmierung können Sie unter Manager ⇒ Assembler vornehmen, die Programmierbefehle finden Sie unter Befehl ⇒ einfügen.
Beachten Sie, daß wegen der vierfach-Auswertung des Gebers 1024 Einheiten nur einer viertel Umdrehung entsprechen.
Konfigurieren Sie MOVIDRIVE 1 und MOVIDRIVE 2 folgendermaßen:

- Reglersperre aktiv: Ein ↑
- Freigabe: Aus ↓
- R Halt L: Rechts ↑
- Festsollwerte: Potentiometer, n11 ↓ n12 ↓
- Analogrichtung: + ↑
- Drehpoti Anlg. Soll.: 0.0
- Fahrprogramm: DI10 - DI13 ↓

Geben Sie MOVIDRIVE 1 frei

- Reglersperre aktiv: aus ↓
- Freigabe: Ein ↑

und aktivieren Sie den Programmablauf mit der „Blitztaste“. Zeichnen Sie die relevanten Daten mit dem Scope-Programm auf.

2.5. Verschiedene Systemgrößen darstellen

2.5.1. Oszillographieren des Spannungsraumzeigers

Das in Aufgabenteil 2.4 programmierte Positionierprogramm soll nun mit Hilfe eines digitalen Oszilloskops genauer betrachtet werden. Dazu befinden sich unterhalb der Movi-Bedienfelder zahlreiche Abgriffe zum oszillographieren verschiedener Messgrößen. Um nun den Spannungsraumzeiger zu messen, sollen die Messgrößen U_α und U_β vom Messabgriff „*Motor 1 (△) Spannungen*“ im XY-Betrieb des Oszilloskops dargestellt werden.

- **Welcher Zusammenhang ist zwischen elektrischem Winkel (Spannungsraumzeiger) und mechanischem Winkel (Motor) zu erkennen? Warum?**
- Zusätzlich soll die Arbeitsmaschine mit dem MOVIDRIVE 2 belastet werden. Wählen sie dazu die Ausgangs-Schalterstellung des MOVIDRIVE 2 wie folgt:
  - Reglersperre aktiv: Ein ↑
  - Freigabe: Aus ↓
  - R Halt L: Rechts ↑
  - Festsollwerte: Potentiometer, n11 ↓ n12 ↓
  - Analogrichtung: - ↓
  - Drehpoti Anlg. Soll.: 0.0
  - Fahrprogramm: DI10 - DI13 ↓

  Um die Belastung zu aktivieren, aktivieren Sie zunächst die Freigabe (↑) und heben sie dann die Reglersperre auf (↓). Dann wählen sie mit dem Drehpotentiometer ein Lastmoment von 70Nm.
  Wie äußert sich die Belastung am Spannungsraumzeiger?

2.5.2. Oszillographieren des Stromraumzeigers

Zum Oszillographieren des Stromraumzeigers sollen nun I_α und I_β vom Messabgriff "‘*Motor 1 (△) Leiterströme*“ im XY-Betrieb dargestellt werden.

- **Untersuchen sie ebenfalls die Auswirkung einer Belastung auf den Stromraumzeiger.**

2.5.3. Untersuchung des Feldschwächbereichs von Motor 2

In diesem Versuchsteil bleibt der MOVIDRIVE 1 deaktiviert, das heißt die Reglersperre von MOVIDRIVE 1 bleibt aktiviert. Um den Motor 2 über Nenndrehzahl zu fahren, ist der Betrieb mit Feldschwächung möglich. Es soll nun untersucht werden, ab welcher Drehzahl die Feldschwächung beginnt. Konfigurieren sie für diesen Versuch den MOVIDRIVE 2 wie folgt:

- Fahrprogramm: DI10 ↓ DI11 ↑ DI12 ↓ DI13 ↓

Messen sie nun analog zu 2.5.2 den Stromraumzeiger von Motor 2 und fahren sie die Drehzahl mit dem Potentiometer von MOVIDRIVE 2 langsam hoch.

- **Was beobachten sie? Wann beginnt der Feldschwächbereich?**

WICHTIG: Deaktivieren sie nach der Aufgabe 2.5.3 das Fahrprogramm wieder.

- Voreinstellung Fahrprogramm: DI10 ↓ DI11 ↓ DI12 ↓ DI13 ↓

2.6. Strangspannungen und Außenleiterspannungen oszillographieren

Einen Einblick in die Funktionsweise des Spannungszwischenkreisumrichters mit Pulsweitenmodulation gewinnt man sehr gut durch oszillographieren der Ausgangsspannungen. Konfigurieren sie dazu zunächst eine Vektorregelung wie im Versuch 2.4 mit folgendem Unterschied: Wählen Sie beim Punkt „Einsatzmöglichkeit“ anstelle von „Positionierung mit IPOS“ die Option „Drehzahlregelung“. Fahren sie dann die Arbeitsmaschine (Motor 1) auf 1000 1/min und belasten sie diese durch den Motor 2 mit ca. 20 Nm.
Oszillographieren sie dann die Leiterspannung des Motors 1. Der Messabgriff dazu ist z.B. U12 in der Sektion „*Motor 1 (△) Spannungen*“.
Mit dem Messabgriff „*Motor 2 (Y) Sternspannungen*“ können sie zusätzlich die Sternspannung der Belastungsmaschine oszillographieren.

- **Welchen Unterschied der beiden Motor-Spannungen erkennen sie? Wodurch ergeben sich die unterschiedlichen Spannungs-Niveaus?**

2.6.1. Veränderung der Drehzahlrampen

Bei der Inbetriebnahme einer VFC-n Regelung sind Drehzahlrampen von 0.7 s fest voreingestellt. Die Reversierung von z.B. -1500 auf +1500 U/min vollzieht der Drehzahlregler in dieser eingestellten Zeit.

- Zeichnen sie mit dem Tool „Scope“ einen Reversiervorgang von -1500 auf +1500 U/min auf und drucken sie ihn aus. Die Reversierung erfolgt durch Umschalten von Rechtslauf (R) auf Linkslauf (L) auf dem Betriebspanel.
- Verändern sie nun in den Regler-Parametern die gewünschten Rampen. Ändern sie dazu bei der Inbetriebnahme der VFC-n Regelung im Menü „Anwenderparameter“ → „Reglerparameter“ alle Rampen auf 0.2 s.

Zeichnen sie mit den veränderten Reglerparametern denselben Reviersiervorgang auf.

- **Werten sie die tatsächliche Reversierzeit aus. Wodurch entsteht die Abweichung zum Sollwert?**

2.7. Bremsleistung bestimmen

Ein wichtiges Kriterium zur Beurteilung eines Antriebssystems ist sein Wirkungsgrad. Eine wichtige Rolle spielt dabei, wie der Umrichter mit der im mechanischen System vorliegenden kinetischen Energie umgeht wenn das System gebremst wird.

Der vorhandene Umrichter verfügt netzseitig über eine Diodenbrücke, kann also nicht in das Netz zurückspeisen. Die aus den antriebsseitigen IGBT-Umrichtern in den Zwischenkreis gebrachte Energie muss, um die Halbleiter nicht durch die ansteigende Zwischenkreisspannung zu zerstören, in den Bremswiderstand gespeist werden. Diese Energie geht also verloren.

- **Schätzen sie zunächst (anhand eines Hochlaufversuchs mit konstantem Moment oder einer Rechnung) ab, wie viel Energie rotatorisch in dem System gespeichert ist, wenn es mit Maximaldrehzahl (3000/min) dreht.**

Konfigurieren sie für diesen Versuch den MOVIDRIVE 2 wie folgt:

- Fahrprogramm: DI10 ↓ DI11 ↑ DI12 ↓ DI13 ↓

Um den Motor zu bremsen, schalten sie bei drehender Maschine die Freigabe aus (↓). **Messen sie nun während eines Bremsvorgangs die im Bremswiderstand „verbratene“ Leistung.** Dafür kann entweder I_{br} und U_{br} oszillographiert und integriert werden (schwierig!) oder mit Hilfe eines Leistungsmessgerätes die Energie bestimmt werden.

Im Labor steht zur Leistungsmessung das Messgerät LMG95 zur Verfügung. Die Strom-Erfassung erfolgt über die BNC-Buchse „*Shunt-/Transformer Input*“ und die Spannungserfassung über zwei Bananen-Stecker U(-) und U*(+). Zur Leistungsmessung muss der Modus „**Int. Value 5**“ gewählt werden. Mit „Start“ und „Stop“ kann die Messung begonnen und abgebrochen werden. Beachten sie bei der Leistungsmessung, dass die Messwandler für Strom ein Übersetzugsverhältnis von $0.1V/A$ und die Messwandler der Spannung ein Übersetzungsverhältnis von $0.01V/V$ haben.
Um die Bremsenergie zu nutzen sind mehrere Möglichkeiten denkbar. Einerseits kann für die Einspeisung ein selbstgeführter Umrichter verwendet werden, der ein Rückspeisen aus dem Zwischenkreiskondensator ermöglicht. Eine andere, weniger aufwendige Möglichkeit ist, wie hier auch realisiert, mehrere Umrichter an denselben Zwischenkreis zu hängen. So kann ein beschleunigender Antrieb direkt die Leistung eines bremsenden Antriebs aus dem Zwischenkreis ziehen. Diese Leistung muss dann nicht aus dem Netz bezogen werden. Dieses System wird umso effektiver, je mehr Antriebe auf diese Weise verkoppelt sind. In großen Anlagen ist es durchaus üblich, dass man für viele gekoppelte PWM-Umrichter eine gemeinsame Rückspeiseeinheit aufstellt.
WICHTIG: Ändern sie nach der Aufgabe 2.7 das Fahrprogramm wieder auf die Voreinstellung:

- Fahrprogramm: DI10 ↓ DI11 ↓ DI12 ↓ DI13 ↓

A. Prüfungsvorbereitung

Relevant für die Prüfung zum Versuch Drehzahlvariables Antriebssystem sind die Kenntnisse folgender Themengebiete:

- Aufbau und Funktion aller Komponenten des Leistungsteils des Antriebssystems
- Funktionsweise einer selbstgeführten Drehstrombrückenschaltung
- Aufbau und Funktionsprinzip von Asynchronmaschinen
- Drehzahlsteuerungs-/ Regelverfahren für Asynchronmaschinen

Vorausgesetzt werden die Grundlagen aus der Vorlesung Elektrische Maschinen und Stromrichter.

B. Abbildungsverzeichnis

1.1. Leistungselektronisches Schaltbild des Antriebssystems 2
1.2. Blockschaltbild mit den Komponenten des Antriebssystems 3
1.3. Selbstgeführte Drehstrombrückenschaltung 4
1.4. Zeitlicher Verlauf der Zweigpaarspannungen und der Außenleiterspannungen bei Blocksteuerung einer sebstgeführten Drehstrom-Brückenschaltung, sowie die Sternspannungen an der Last bei nicht angeschlossenem Sternpunkt 6
1.5. Ersatzschaltbild einer Asynchronmaschine 7
1.6. Momentenkennlinien der Drehstromasynchronmaschine für verschiedene Statorfrequenzen und -spannungen mit $U_S \sim \omega_S$ (Annahme: $R_S = 0$, $f_{RK} = 10Hz$) 8
1.7. Statorspannung in Abhängigkeit von der Stator- und der Rotorfrequenz bei einer mit $I_\mu = I_{\mu N}$ betriebenen Drehstromasynchronmaschine 9
1.8. Raumzeiger von Rotorfluss Ψ_R und Ständerstrom einer Asynchronmaschine 10
1.9. Anordnung der Komponenten im Schaltschrank 13
1.10. Movitools: Movi-Manager 16
1.11. Bedienfeld für Movidrive-Umrichrichter 1 18
1.12. Ablaufsteuerung und Anzeigeeinheit 19
1.13. Auswahl der Betriebsart und des Reglertyps 21
1.14. Einstellung der Motorparameter 21
1.15. Einstellen der Reglerparameter 22
1.16. Programmierung einer einfachen Positioniervorgabe mit der ASSEMBLER–Umgebung 23