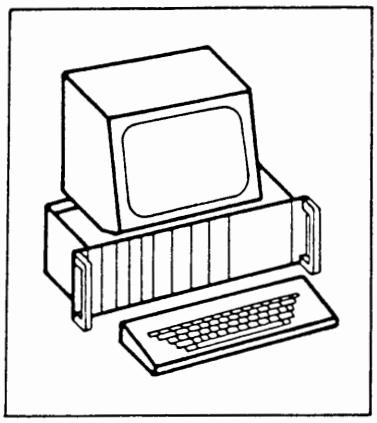
FACHPRAKTISCHE ÜBUNG MIKROCOMPUTER-TECHNIK



Digitale Motor-Regelung

BFZ MFA

I n h a l t

1. Einleitung

1.1 Aufgabenstellung 3
1.2 Aufbau der Steuerungs- und Regelstrecke 3

2. Methodisch-didaktische Hinweise

2.1 Lernziele 5
2.2 Voraussetzungen 5
2.3 Bereitstellungsliste 6

3. Hinweise zur Lösung der Übung

3.1 Einfache Motorsteuerung mit dem Baustein L6203 7
3.2 Beispiellösung für Motor-Linkslauf 9
3.3 Verbesserte Steuerung mit digitaler Einstellung der Drehzahl 11
3.4 Beeinflussung der Motordrehzahl durch die Belastung des Generators 15

4. Aufbau und Wirkungsweise eines digitalen Zweipunktreglers zur Drehzahlregelung eines DC-Motors

4.1 Grundlagen 19
4.2 Aufbau des Regelkreises 19
4.3 Unterschied zwischen analogen und digitalen Regeleinrichtungen 20

4.4 Ansteuerung des A/D-Wandlers durch die Generatorspannung 21
4.5 Beispiellösung für einen digitalen Zweipunktregler 23
4.6 Messungen an einem digitalen Zweipunktregler 27
4.7 Diskussion der Meßergebnisse 28

5. Realisierung der Regeleinrichtung mit Hilfe des MFA-Einplatinen-Computers

5.1 Vorbereitung des MFA-Systems zur Anpassung des Programms an den EPC 29
5.2 Anpassung des Programms an den EPC 30
5.3 Probelauf und Programmieren des EPROMs 31

6. Anhang

6.1 Überprüfung der Regelstrecke 34
6.2 Lösungsvorschläge für die Programmieraufgaben 35

1. Einleitung

1.1 Aufgabenstellung

Die vorliegende Übung "Digitale Motor-Regelung" ist in zwei Teile untergliedert:

- Digitale Steuerung eines Gleichstrommotors (im folgenden als DC-Motor bezeichnet)

In diesem Teil soll die Drehzahl eines 12-Volt-DC-Motors durch das MFA-Mikrocomputersystem (im folgenden kurz als MC-System bezeichnet) gesteuert werden. Die Drehzahl wird durch eine 8-Bit-Eingabe-Baugruppe indirekt vorgegeben.

- Digitale Regelung eines DC-Motors

Hier soll die Drehzahl des DC-Motors in Abhängigkeit von der Belastung der Motorwelle durch ein MC-System geregelt werden. Die Nenndrehzahl wird wiederum durch eine 8-Bit-Eingabe-Baugruppe indirekt vorgegeben.

Hinweis:

Falls die Regelstrecke noch nicht überprüft ist, befolgen Sie vor Durchführung der Übung die Anweisungen auf Seite 34.

1.2 Aufbau der Steuerungs- und Regelstrecke

Die Anlage besteht aus einer starr gekoppelten Motor-Generator-Kombination. Dabei handelt es sich um DC-Motoren, von denen einer als Motor und der andere als Generator betrieben wird.

Der Baustein L6203 ist ein integrierter Motorsteuerbaustein mit den TTL-kompatiblen Eingängen IN1, IN2 und EN. Diese Eingänge können direkt an eine 8-Bit-Ausgabe-Baugruppe des MC-Systems angeschlossen werden oder an eine 8-Bit-Ausgabe des MFA-Einplatinen-Computers (im folgenden kurz als EPC bezeichnet).

An den Anschluß Uext der Regelstrecke muß eine Gleichspannung von 12 Volt angeschlossen werden, die zur Versorgung des Steuerbausteins L6203 dient. Aus Gründen der Störsicherheit muß diese Spannung einem separaten Netzteil entnommen werden.

An den Eingang 5V muß eine Spannung von 5 Volt angeschlossen werden. Sie dient zur Einstellung von H- oder L-Pegeln über die Schalter S1 bis S8, wenn die Regelstrecke mit dem EPC betrieben wird.

Am Anschluß Ug liegt eine zur Drehzahl der Motor-Generator-Kombination proportionale Spannung an, die vom Generator induziert wird. Störspannungen, die sich der Spannung Ug überlagern könnten, werden durch das RC-Glied R2/C1 unterdrückt.

Über den LAST-Anschluß kann die vom Generator induzierte Spannung mit einem Widerstand belastet werden.

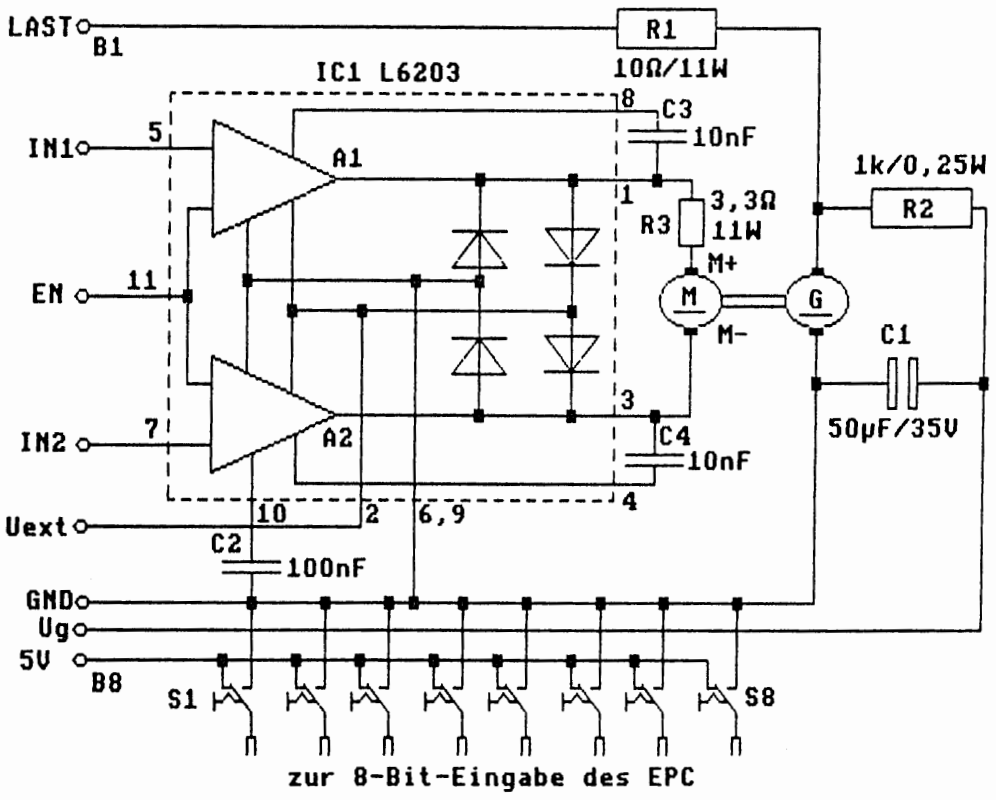


Bild 1: Der Schaltplan der Regelstrecke "Digitale Motor-Regelung".

2. Methodisch-didaktische Hinweise

2.1 Lernziele

Nach Bearbeitung der Übung kann der Lernende
- den Unterschied zwischen analoger und digitaler Steuerung und Regelung erklären;
- die Schritte einer Programmentwicklung aufzählen;
- einfache Programme zur Steuerung eines DC-Motors entwickeln;
- komplexere Programme zur Drehzahlregelung eines DC-Motors lesen;
- die Wirkungsweise einer Pulsbreiten-Steuerung erklären;
- die Einsatzgebiete von MC-Entwicklungssystemen und Einplatinen-Computern nennen.

2.2 Voraussetzungen

Die Lösung der vorliegenden Übung ist nur möglich, wenn der Lernende fundierte Kenntnisse sowohl der Steuerungs- und Regelungstechnik als auch der Mikrocomputer-Technik besitzt.

Es müssen die Inhalte der Fachtheoretischen Übungen 10.1 bis 10.4 sowie die Wirkungsweise einer A/D-Wandlung und der Unterschied zwischen stetigen und unstetigen Reglern bekannt sein.

Wird zum Aufbau der Regeleinrichtung zusätzlich der EPC mit der zugehörigen Ein/Ausgabe-Baugruppe eingesetzt, so werden auch die Kenntnisse der EPC-Unterlagen vorausgesetzt.

Die hier genannten Kenntnisse sollen durch die vorliegende Übung vertieft und erweitert werden. Außerdem sollen die Fähigkeiten der Problemanalyse und Programmentwicklung mit Hilfe von Flußdiagrammen und die Assemblerprogrammierung geschult werden.

Daneben bietet die Übung die Möglichkeit, die entwickelten Programme auf den EPC des MFA-Mediensystems zu übertragen. Dadurch kann der Unterschied zwischen der Problemlösung auf einem Entwicklungssystem und dem Einsatz des EPCs verdeutlicht werden.

2.3 Bereitstellungsliste

Die Übung erfordert - neben einem funktionsfähigen MC-System mit Monitor und Tastatur sowie einem EPC - keinen hohen technischen Aufwand, da die Regelstrecke nur aus handelsüblichen Bauteilen besteht.

Folgende Gerätekonfiguration ist erforderlich:

- MFA-Baugruppenträger mit Bus, Busabschluß, Trafo-Einschub und Spannungsregelung
- CPU-Baugruppe 8085
* - 8-K-RAM-Baugruppe (Basisadresse E000H)
* - EPROM-Baugruppe mit MAT85 und Software-Paket SP1 (Basisadresse 0000H)
* - EPROM-Baugruppe mit Mini-DOS (Basisadresse 4000H)
- Floppy-Interface mit Flopyy-Disk-Laufwerk und formatierter Diskette (320 KByte)
- zwei Stück 8-Bit-Parallel-Ausgabe; Adressen: 00H, 01H
- 8-Bit-Parallel-Eingabe; Adresse :01H
- AD/DA-Wandler-Baugruppe; Adresse: 00H
- Video-Interface, Tastatur, Monitor
- Netzteil 0 - 15V/3A
- komplett aufgebaute Regelstrecke zur digitalen Motor-Regelung
- Lastpotentiometer 100 Ohm / 100 Watt
- drei analoge Vielfach-Meßinstrumente
- Zweikanal-Oszilloskop 10 MHz

Wenn die Regeleinrichtung zusätzlich mit Hilfe des EPCs realisiert werden soll, müssen der EPC und die zugehörige Ein/Ausgabe-Karte I/O-EPC mit Adapterkarte funktionsfähig bereitgestellt werden. Außerdem wird dann die EPROM-Programmierer-Baugruppe des MFA-Systems benötigt.

* **ersatzweise 64K-RAM-Karte mit MAT 32K**

3. Hinweise zur Lösung der Übungen

3.1 Einfache Motorsteuerung mit dem Baustein L6203

3.1.1 Funktionsbeschreibung

Der Baustein L6203 (siehe Bild 2) enhält zwei Leistungverstärker, die TTL-kompatible Eingänge besitzen. Über den Enable-Eingang EN können die Verstärkerausgänge in den hochohmigen Zustand geschaltet werden, oder sie übernehmen den logischen Pegel der Eingänge IN1 und IN2. Die Ausgangsspannung und der Ausgangsstrom der Verstärker ist dabei von der externen Betriebsspannung Uext abhängig. Um die Verstärker bei induktiven Lasten vor Zerstörung zu schützen, sind zusätzlich vier Dioden im Baustein integriert.

Die Ausgangsverstärker können einen maximalen Laststrom von 3A treiben, wobei die Gesamtverlustleistung des Bausteins 25W nicht überschreiten darf.

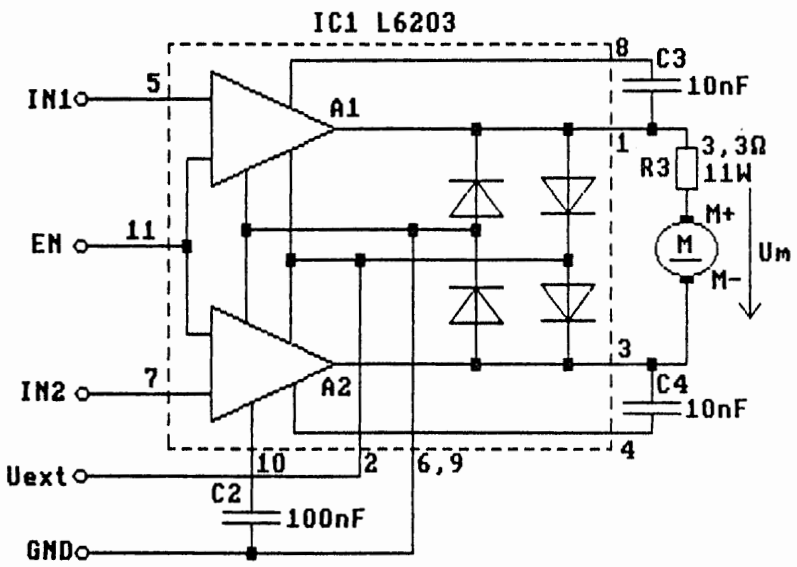


Bild 2: Der Aufbau des Bausteins L6203, hier mit angeschlossenem Gleichstrom-Motor (M) dargestellt.

3.1.2 Die Steuerung des Motors

Erhält der Eingang EN einen H-Pegel, so liegen an den Verstärkerausgängen die logischen Pegel der Eingänge IN1 und IN2 an. Die Spannung Um zwischen den Motorklemmen M+ und M- ist dann entweder positiv oder negativ. Der Motor dreht entweder rechts oder links.

Erhält der Eingang EN dagegen einen L-Pegel, so werden die Verstärkerausgänge hochohmig: Die Spannung Um sinkt auf null Volt ab, und die Drehzahl des Motors sinkt. Da die Selbstinduktions-Spannung des Motors aber keinen Strom treiben kann (hochohmige Verstärkerausgänge), dreht der Motor langsam aus. Würde man dagegen den Eingang EN mit H-Pegel beschalten und die Eingänge IN1 und IN2 mit L-Pegel, so würde der Motor abrupt stehenbleiben, da die gesamte Selbstinduktionsspannung der ursprünglichen Drehrichtung entgegenwirkt.

In beiden Fällen besitzt diese Art der Motorsteuerung aber einen erheblichen Nachteil:

Die Drehzahl des Motors kann nur den Minimalwert oder den Maximalwert annehmen (siehe Tabelle 1). Zwischenwerte für die Drehzahl sind nur über eine Veränderung der externen Betriebsspannung möglich. In der Praxis ist diese Art der Drehzahlbeeinflussung aber nicht üblich.

EN	IN1	IN2	A1	A2	Um	Drehzahl	Richtung
L	X	X	Z	Z	OV	sinkt	Y
H	L	L	L	L	OV	null	Y
H	L	H	L	H	-Uext	Max.	Links
H	H	L	H	L	Uext	Max.	Rechts

Tabelle 1: Die Pegel am Baustein L6203 und ihre Wirkung auf den angeschlossenen Motor. Erläuterung zu den Pegelangaben: X = beliebiger Pegel, Z = hochohmig, Y = beliebige Richtung.

Bevor die folgenden Seiten durchgearbeitet werden, muß das MC-System mit allen auf Seite 6 aufgeführten Baugruppen bestückt und die Regelstrecke bereitgestellt werden. Außerdem benötigen Sie das ebenfalls auf Seite 6 aufgeführte Netzteil 0 - 15V/3A.

3.2 Beispiellösung für Motor-Linkslauf

Mit Hilfe des in Bild 4 abgedruckten Programms kann der Motor bei maximaler Drehzahl links drehen oder gestoppt werden. Die Entscheidung wird über das Bit B7 der 8-Bit-Eingabe-Baugruppe (Adr. 01H) getroffen. Ist B7 = L, so läuft der Motor langsam aus; ist dagegen B7 = H, dann läuft der Motor an.

Bevor Sie das Programm nach Bild 4 ab der Adresse E000H eingeben, müssen MC-System und Regelstrecke miteinander verbunden werden. Außerdem muß das externe Netzteil an die Regelstrecke angeschlossen werden, wie in Bild 3 gezeigt.

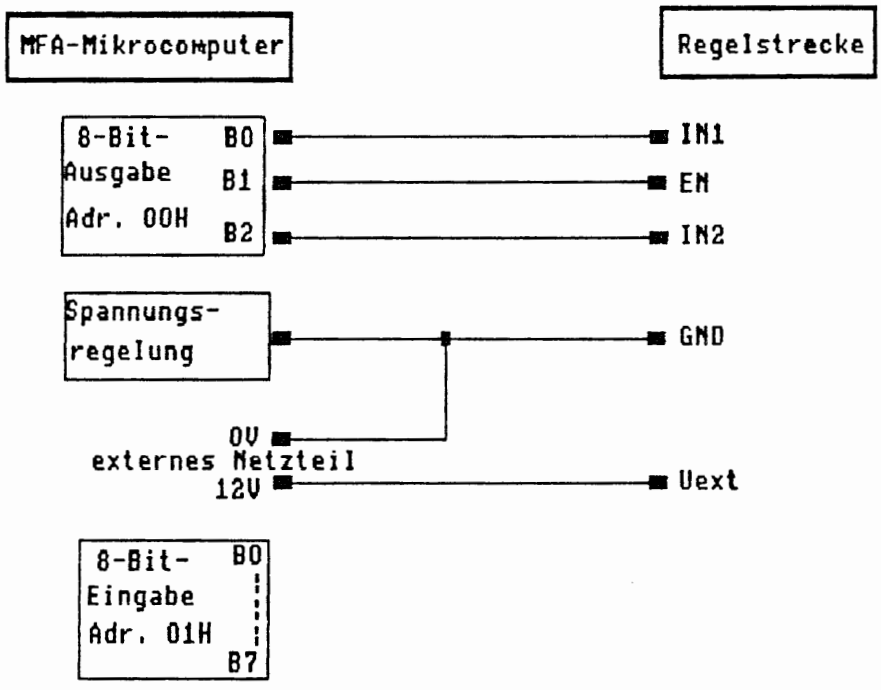
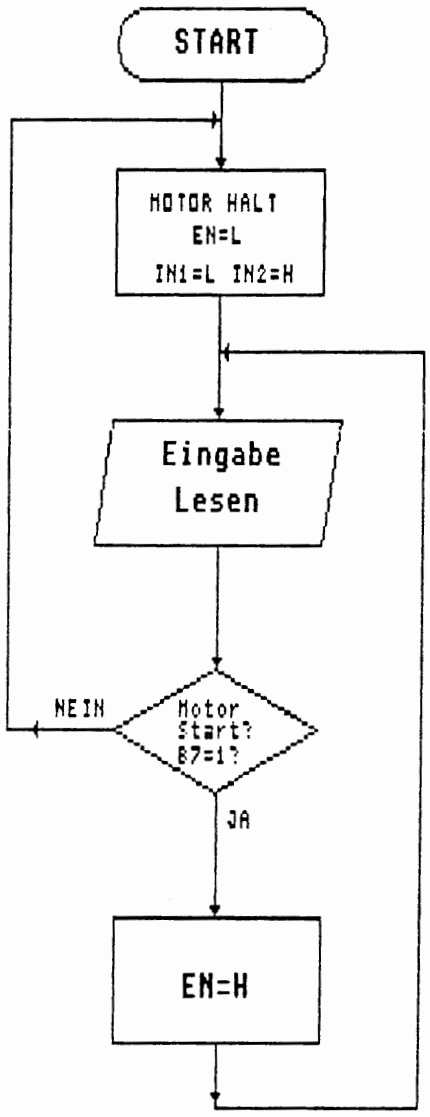


Bild 3: Die Verbindung von MC-System und Regelstrecke.




```
ANF: MVI A,04    ;Motor Halt
     OUT 00      ;EN=L,IN1=L,IN2=H

EIN: IN 01       ;Eingabe lesen

     ANI 80      ;Motor starten
     JZ ANF      ;Nein!

     MVI A,06    ;Ja, EN=H
     OUT 00      ;Motor starten

     JMP EIN     ;Eingabe erneut lesen
```

Bild 4: Flußdiagramm und Assemblerprogramm für Motor-Linkslauf.

3.2.1 Programmieraufgabe

Entwickeln Sie in Anlehnung an das eben vorgeführte Beispiel ein Flußdiagramm und ein Assemblerprogramm für Rechtslauf des Motors. Außerdem soll der Motor nicht langsam ausdrehen, sondern abrupt

stoppen, wenn das Bit B7 der 8-Bit-Eingabe-Baugruppe (Adresse 01H) auf null gesetzt wird.
Hinweis:Wenn Sie ihre Lösung überprüfen wollen, finden Sie im Anhang einen Lösungsvorschlag.

3.3 Verbesserte Steuerung mit digitaler Einstellung der Drehzahl

Da die Betriebsspannung Uext der Leistungsverstärker und damit des Motors in der Praxis konstant ist, kann die Drehzahl des Motors nur über die Ansteuerung beeinflußt werden.

Dazu werden an die Verstärkereingänge konstante Pegel für Rechts- bzw. Linkslauf angelegt. Der Eingang EN erhält jetzt jedoch keinen konstanten Pegel, sondern wird mit einer Rechteckspannung angesteuert, deren Impulszeit oder Pausenzeit geändert werden kann.

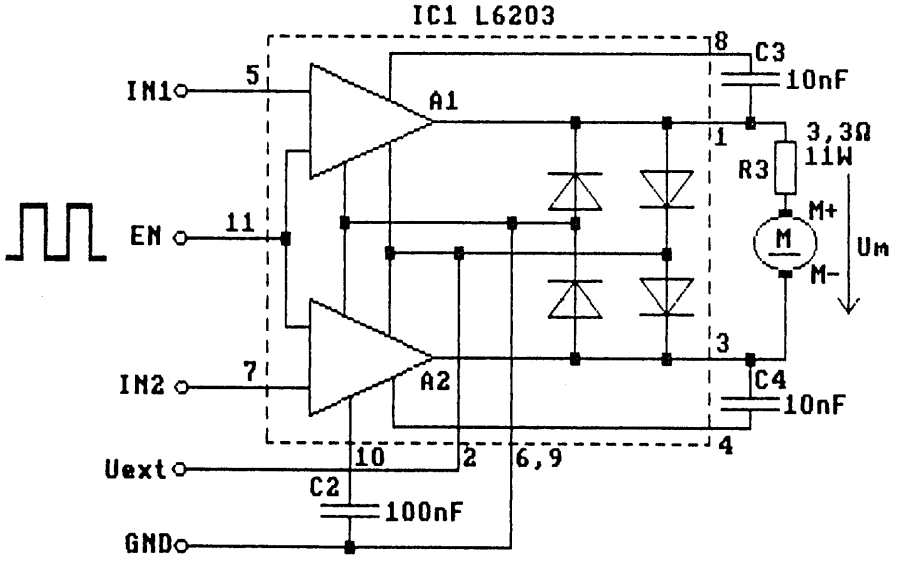


Bild 5: Die Beschaltung des Eingangs EN mit Rechteckimpulsen. IN1 und IN2 erhalten gleichbleibende Pegel, z.B. für Linkslauf.

3.3.1 Motor-Spannung und -Drehzahl in Abhängigkeit vom Impuls/Pausen-Verhältnis der Steuerspannung am Eingang EN

Je nach dem Verhältnis der Impulszeit zur Pausenzeit der Steuerspannung am Eingang EN sinkt oder steigt der zeitliche Mittelwert der Motorspannung und damit die Drehzahl. In diesem Zusammenhang wird von einer Pulsbreiten-Steuerung gesprochen.

Zu beachten ist bei dieser Art der Steuerung, daß die Frequenz der Steuerspannung nicht zu groß und die Impulszeit nicht zu klein gewählt wird, da sonst der Motor nicht anläuft. Damit der Motor ohne Probleme läuft, darf das Impuls/Pausen-Verhältnis nicht unter 20 % absinken. Die Frequenz der Steuerspannung an EN darf einen Maximalwert von 2,8 kHz nicht überschreiten.

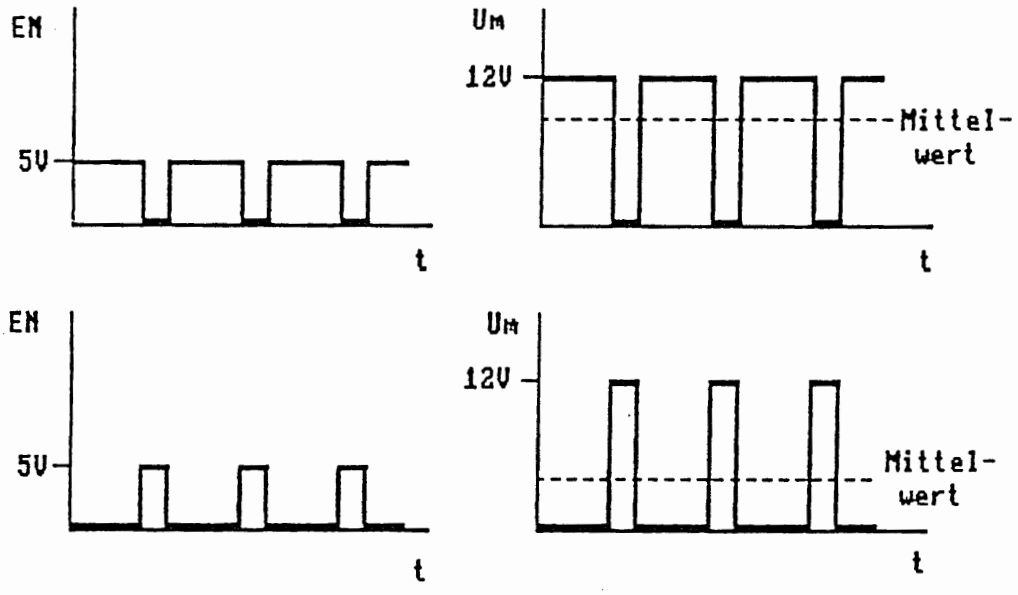
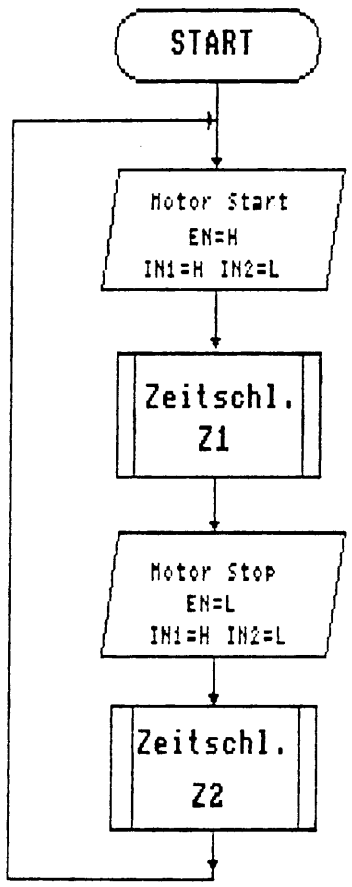


Bild 6: Der Verlauf der Steuerspannung, der Motorspannung und deren Mittelwert für zwei unterschiedliche Impulszeiten.

3.3.2 Beispiel-Lösung

Die Drehzahl des Motors wird in dem folgenden Programm indirekt durch zwei Zeitschleifen festgelegt; durch ihren Wert wird die Impulszeit der Rechteckspannung am Eingang EN bestimmt, deren

Werte nur vor dem Programmstart durch das MEMORY-Kommando des MFA-Systems eingestellt werden können. Dazu müssen in den Zeitschleifen Z1 und Z2 die Werte geändert werden, mit denen das Register B geladen wird. Zur Vereinfachung wird in diesem Beispiel die Pausenzeit konstant auf ca. 0,014ms gehalten.




```
ANF: MVI A,03   ;Motor Start
     OUT 00     ;EN=H, IN1=H, IN2=L

     CALL Z1    ;Zeit für EN=H

     MVI A,01   ;Motor Stop
     OUT 00     ;EN=L, IN1=H, IN2=L

     CALL Z2    ;Zeit für EN=L

     JMP ANF    ;erneuter Start

Z1:  MVI B,30   ;Zeitschleife
Z11: DCR B      ;für EN=H
     JNZ Z11    ;ti=0,34ms
     RET
Z2:  MVI B,01   ;Zeitschleife
Z21: DCR B      ;für EN=L
     JNZ Z21    ;tp=0,014ms
     RET
```

Bild 7: Flußdiagramm und Assemblerprogramm zur Beispiel-Lösung mit zwei Zeitschleifen.

Ändern Sie den Wert für das Register B in der Zeitschleife Z1 nach der folgenden Tabelle, messen Sie jeweils die Motorspannung Um und tragen Sie Ihre Meßergebnisse in Tabelle 2 ein.

Tabelle 2:

Reg. B	Um/V	Reg.B	Um/V
10H		80H	
20H		D0H	
40H		FFH	
60H		00H	

Zeichnen Sie in das Koordinatensystem von Bild 8 die eben ermittelten Funktionswerte ein.

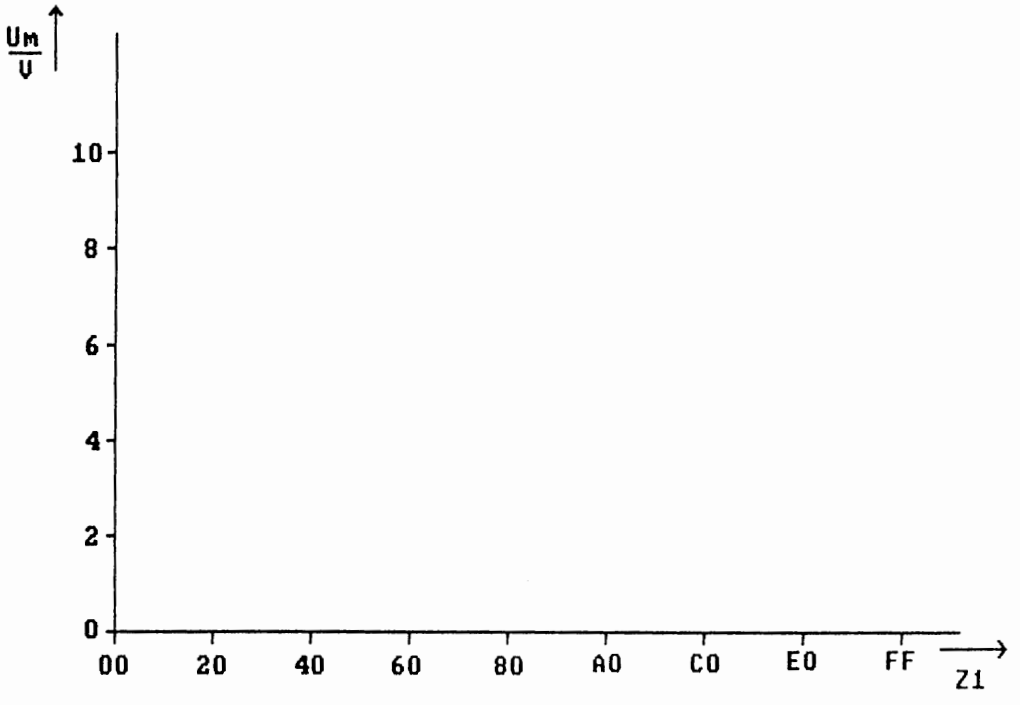


Bild 8: Die Motorspannung in Abhängigkeit vom Wert der Zeitschleife Z1.

Diskussion der Meßergebnisse:

Erklären Sie, warum bei dem Wert 00H im Register B die Drehzahl nicht geringer ist als bei den anderen Eingabewerten!

Antwort:_____

_____

3.3.3 Programmieraufgabe

Entwickeln Sie in Anlehnung an das vorherige Beispiel je ein Flußdiagramm und ein Assemblerprogramm für Rechts- und für Linkslauf des Motors. Die Impulszeit ti der Steuerspannung am Eingang EN soll mit Hilfe der Zeitschleife Z1 durch die 8-Bit-Eingabe-Baugruppe (Adresse 01H) beeinflußt werden.
Hinweis:
Wenn Sie Ihre Lösung überprüfen wollen, finden Sie im Anhang einen Lösungsvorschlag.
Wenn Sie die Programme auf Richtigkeit überprüft haben, speichern Sie sie auf einer Floppy-Disk ab, da sie im folgenden noch benötigt werden.

3.4 Beeinflussung der Motordrehzahl durch die Belastung des Generators

3.4.1 Grundlagen

Durch die starre Verbindung von Motor und Generator auf der Regelstrecke erzeugt der vom Motor angetriebene Generator eine Spannung, die von der Drehzahl des Motors abhängt.
Messen Sie die Generatorspannung Ug in Abhängigkeit vom eingestellten Wert an der 8-Bit-Eingabe-Baugruppe (Adr. 01H). Tragen Sie Ihre Meßergebnisse in Tabelle 3 ein. Zur Durchführung des Versuchs benötigen Sie die beiden im vorigen Schritt entwickelten Programme.

Tabelle 3:

Rechtslauf		Linkslauf	
8-Bit-Eingabe	Ug/V	8-Bit-Eingabe	Ug/V
10H		10H	
20H		20H	
30H		30H	
50H		50H	
80H		80H	
A0H		A0H	
C0H		C0H	
FFH		FFH	

Übertragen Sie die eben ermittelten Funktionswerte in das Koordinatensystem von Bild 9.

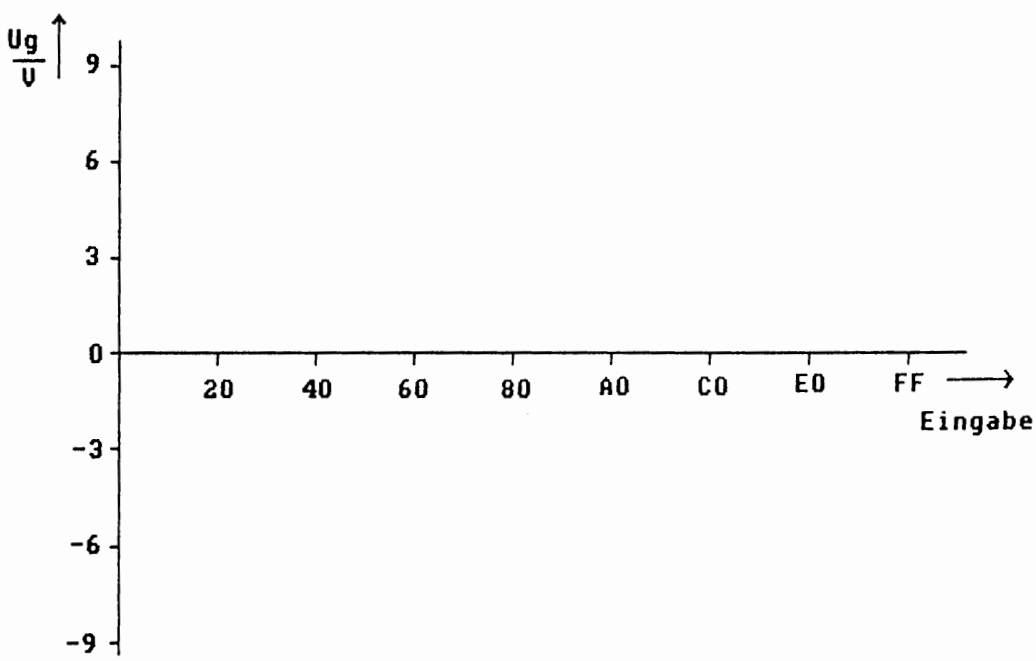


Bild 9: Die Generatorspannung in Abhängigkeit vom Wert an der 8-Bit-Eingabe-Baugruppe.

Erklären Sie hier mit einigen Worten, welchen Einfluß die Drehzahl des Motors auf die Generatorspannung hat, und wie sich eine Drehrichtungsumkehr auswirkt.

3.4.2 Beeinflussung von Motordrehzahl und Generatorspannung durch eine ohmsche Belastung

Wird die im Generator G (siehe Bild 1) induzierte Spannung belastet, so muß sie einen Strom treiben. Dem Generator wird Leistung entnommen. Der durch die Generatorspannung getriebene Strom erzeugt aber seinerseits in den Generatorwicklungen ein Magnetfeld, das der Drehung entgegenwirkt. Als Folge davon nimmt die Drehzahl mit steigender Belastung ab. Außerdem wird der vom treibenden Motor M aufgenommene Strom ansteigen, da ja an der Motorwelle mehr mechanische Leistung abgegriffen wird und ein stärkeres Drehmoment erzeugt werden muß.

Die folgende Messung soll diesen Zusammenhang verdeutlichen.

Belasten Sie, wie in Bild 10 gezeigt, die Generatorspannung mit einem 100-Ohm/100-Watt-Potentiometer am Anschluß LAST. Messen Sie die vom Generator erzeugte Spannung Ug, den fließenden Laststrom IL und den vom Motor aufgenommenen Strom Im. Benutzen Sie eines der Programme von Abschnitt 3.4.1 und stellen Sie auf der 8-Bit-Eingabe-Baugruppe die Adresse 80H ein.

Die Meßergebnisse tragen Sie in Tabelle 4 auf der folgenden Seite ein.

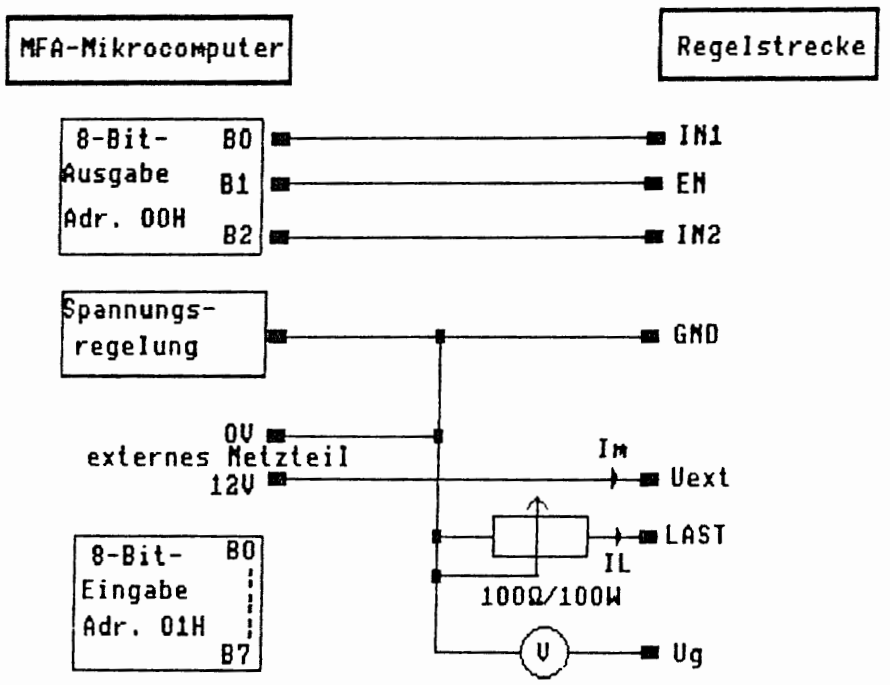


Bild 10: Meßaufbau zur Erfassung des Motorstromes Im, des Laststromes IL und der Generatorspannung Ug.

Tabelle 4:

IL/A	Ug/V	Im/A
0,1		
0,15		
0,2		
0,25		

Übertragen sie die ermittelten Meßwerte auch in das Koordinatensystem von Bild 11.

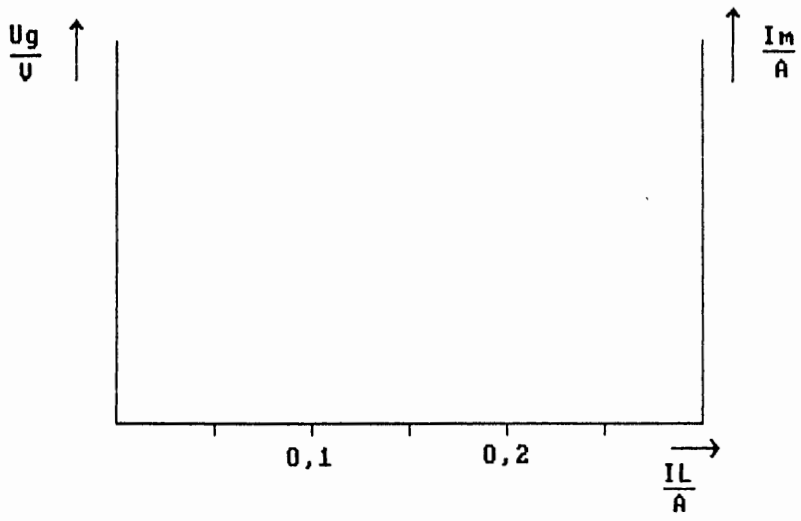


Bild 11: Generatorspannung und Motorstrom in Abhängigkeit vom Laststrom.

4. Aufbau und Wirkungsweise eines digitalen Zweipunktreglers zur Drehzahlregelung eines DC-Motors

4.1 Grundlagen

Zweipunktregler zählen zu den unstetigen Reglern, denn sie haben eine mehr oder weniger große Schalthysterese. Je größer die Hysterese, desto kleiner ist die Schalthäufigkeit des Stellgliedes, und desto größer sind die Schwankungen der Regelgröße.

4.2 Der Aufbau des Regelkreises

Die Regelstrecke wird in dem Aufbau von Bild 1 durch die Einheiten Motor und Generator gebildet.

Die Regelgröße (Drehzahl) soll weitgehend unabhängig von der Störgröße (Belastung der Generatorspannung) konstant gehalten

werden. Ein Maß für den momentanen Wert der Regelgröße (Istwert), ist die vom Generator erzeugte Spannung Ug. Verändert sich der Istwert gegenüber dem Sollwert, so muß die Stellgröße (der dem Motor zugeführte Strom Im) in entgegengesetzter Richtung beeinflußt werden; steigt die Drehzahl an, so muß der Motorstrom abgesenkt werden und umgekehrt.

Die Regeleinrichtung, welche die Drehzahl des Motors regelt, wird in dieser Übung durch den Mikrocomputer realisiert, der ein entsprechendes Programm abarbeitet.

Die Regeleinrichtung muß folgende Aufgaben erfüllen:
- Erfassung des Istwertes;
- Vorgabe des Sollwertes;
- Vergleich zwischen Soll- und Istwert;
- Falls Soll- und Istwert nicht übereinstimmen, muß die Stellgröße entsprechend beeinflußt werden.

4.3 Unterschied zwischen analogen und digitalen Regeleinrichtungen

Bei analog arbeitenden Regelkreisen kann die erzeugte Generatorspannung direkt zur Beeinflussung des Stellgliedes und damit der Stellgröße benutzt werden.

Bei dem hier beschriebenen Regelkreis müssen zwischen der analog arbeitenden Regelstrecke und der digital arbeitenden Regel-Einrichtung Schnittstellen eingebaut werden. Der analog vorliegende Istwert (Generatorspannung) muß in ein 8-Bit-Datenwort umgewandelt werden. Diese Aufgabe wird durch einen A/D-Wandler erfüllt. Die Stellgröße (d.h. der dem Motor zugeführte Strom) muß indirekt aus einem 8-Bit-Datenwort erzeugt werden. Diese Aufgabe fällt der 8-Bit-Ausgabe-Baugruppe in Verbindung mit dem Steuerbaustein L6203 zu, denn über die 8-Bit-Ausgabe-Baugruppe wird das Impuls/-Pausen-Verhältnis der Steuerspannung am Eingang EN beeinflußt. Diese Einheiten stellen damit einen D/A-Wandler dar.

Dem offensichtlich höheren Schaltungsaufwand im Vergleich zu einem analogen Regelkreis steht eine wesentlich einfachere Beeinflussung der Reglereigenschaften gegenüber. Bei digitalen Regeleinrichtungen muß nur das Programm geändert werden, um andere Reglereigenschaften zu erhalten.

Die Ansteuerung des Motors durch die 8-Bit-Ausgabe-Baugruppe in Verbindung mit dem Steuerbaustein wurde schon in Kapitel 3 beschrieben. Auf der folgenden Seite finden Sie eine Kurzbeschreibung zur Ansteuerung des A/D Wandlers. Weitergehende Informationen entnehmen Sie bitte den Unterlagen zur AD/DA-Baugruppe.

4.4 Ansteuerung des A/D-Wandlers durch die Generatorspannung

Im Kapitel 3.4.1 haben Sie die Abhängigkeit der Generatorspannung Ug von der Drehrichtung und dem an der 8-Bit-Eingabe-Baugruppe eingestellten Wert ermittelt. Dabei stellte sich heraus, das bei Rechtsdrehung des Motors eine positive und bei Linksdrehung eine negative Generatorspannung erzeugt wurde.

Der A/D-Wandler muß also je nach Drehrichtung positive oder negative Spannungswerte umwandeln. Bei der vorliegenden AD/DA-Wandler-Baugruppe besteht folgender Zusammenhang zwischen Eingangsspannung und 8-Bit-Datenwort am Ausgang:

Ue	8-Bit-Datenwort
0 Volt	80H
10 Volt	FFH
-10 Volt	00H

Innerhalb eines Programms zur Drehzahlregelung muß also beachtet werden, daß die Sollwertvorgabe bei Rechtsdrehung größer als 80H, bei Linksdrehung kleiner als 80H sein muß.

Gleiches gilt für die digitale Verarbeitung des vom A/D-Wandler erfaßten Istwertes der Generatorspannung.

Aus den Unterlagen des verwendeten A/D-Wandlers (ZN 427) geht außerdem hervor, daß für den Beginn einer Umwandlung ein Startimpuls erzeugt werden muß, der aus dem IN-Befehl des Mikroprozessors generiert wird. Die Adresse dieses IN-Befehls muß mit der auf der Baugruppe eingestellten Adresse OOH übereinstimmen.

Neben den in Bild 10 gezeichneten Verbindungen zwischen Regelstrecke und MC-System müssen Sie jetzt zusätzlich die Generatorspannung Ug dem A/D-Wandlereingang zuführen und den Masse-Anschluß der A/D-Wandler-Baugruppe mit dem GND-Anschluß der Regelstrecke verbinden. Außerdem wird jetzt die zweite 8-Bit-Ausgabe-Baugruppe mit der Adresse O1H eingesetzt.

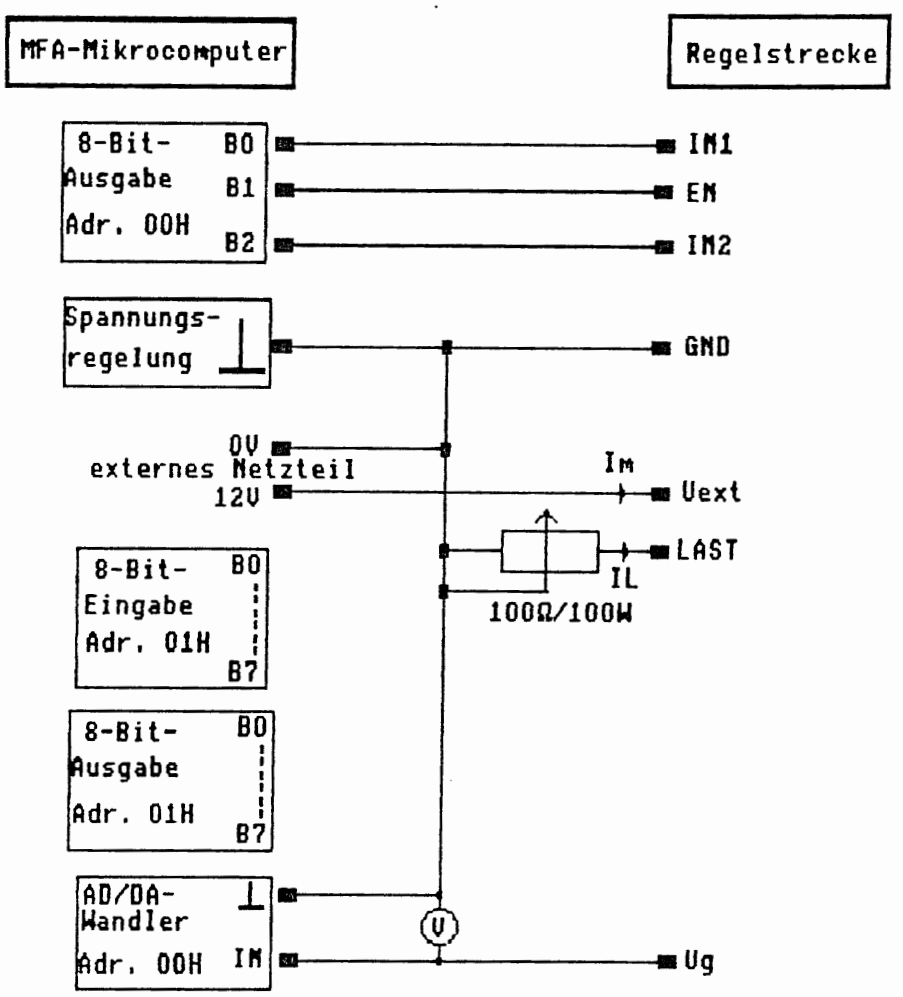


Bild 12: Gesamt-Blockschaltbild zur Verbindung von MC-System und Regelstrecke.

4.5 Beispiellösung für einen digitalen Zweipunktregler

Bei der Entwicklung der Beispiellösung wurden folgende Punkte berücksichtigt:

- Der Motor soll nur rechts drehen.

- Der Sollwert wird über die 8-Bit-Eingabe-Baugruppe mit der Adresse 01H vorgegeben und mit dem 8-Bit-Wort der durch den A/D-Wandler umgewandelten Generatorspannung verglichen.

- Ist der Sollwert größer als der Istwert, wird der Programmteil GROSS durchlaufen; ist der Sollwert kleiner als der Istwert, wird der Programmteil KLEIN durchlaufen.

- In diesen beiden Programmteilen wird der Inhalt zweier Zählregister gegenläufig beeinflußt; d.h. wenn das eine Register incrementiert wird, wird das andere Register decrementiert.

- Je ein Register wird anschließend in je einer Zeitschleife benutzt, welche den Eingang EN mit H-Pegel und danach mit L-Pegel beschalten.

Dazu ein Beispiel:

Wird festgestellt, daß der Sollwert größer ist als der Istwert, so wird im Programmteil GROSS das Zählregister für H-Pegel an EN incrementiert und das für L-Pegel an EN decrementiert. Danach werden die beiden Zeitschleifen durchlaufen und ein erneuter Soll-Ist-Vergleich durchgeführt. Ist der Sollwert immer noch größer als der Istwert, so wird die H-Zeit weiter erhöht und die L-Zeit weiter verringert. Durch diese Maßnahme sind Impuls- und Pausenzeit an EN belastungs-abhängig.

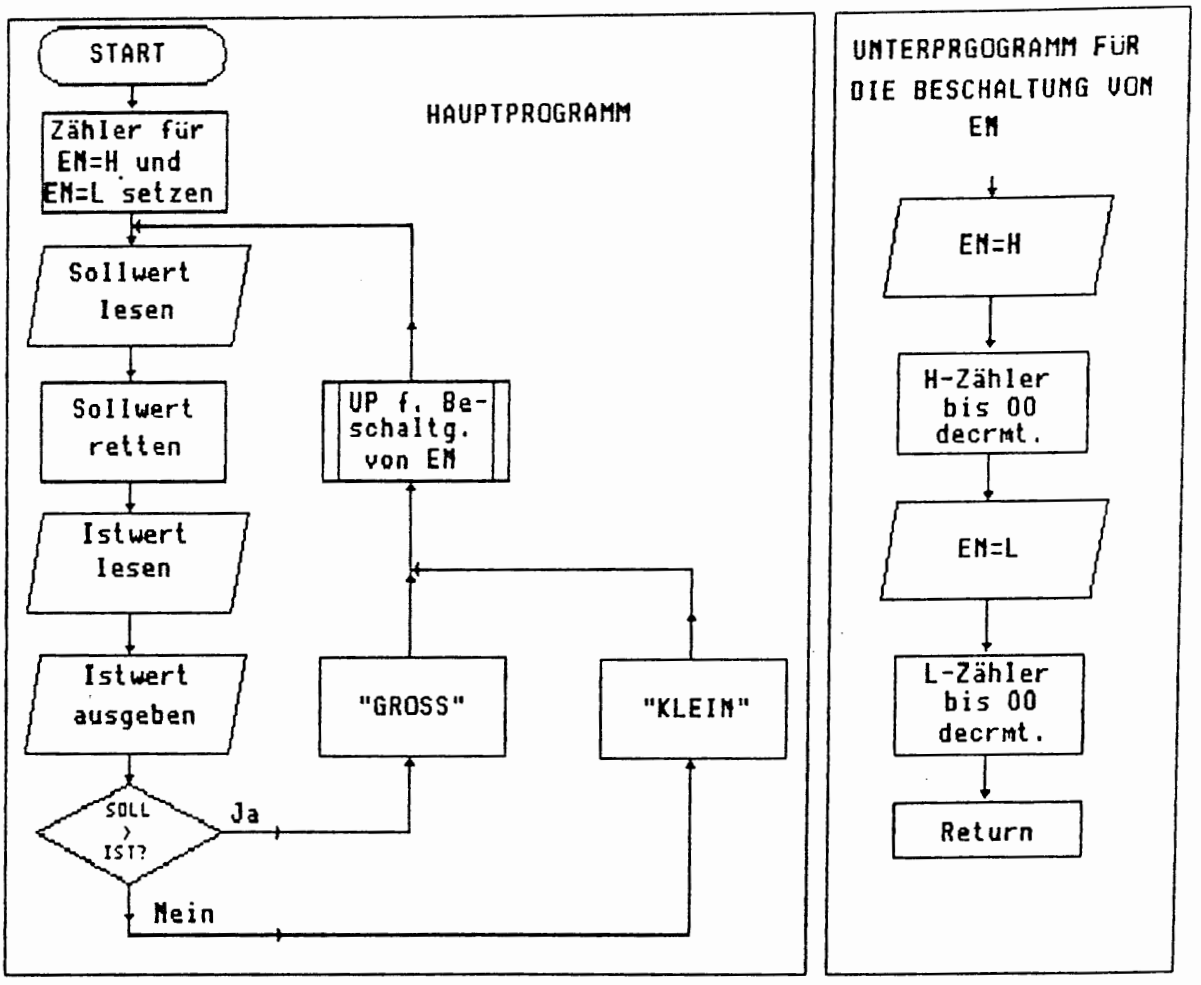


Bild 13: Flußdiagramme (Hauptprogramm und Unterprogramm) zur Beispiellösung. In Bild 14 finden Sie die Flußdiagramme für die Programmteile KLEIN und GROSS.

Programmteil "GROSS" *Programmteil "KLEIN"*

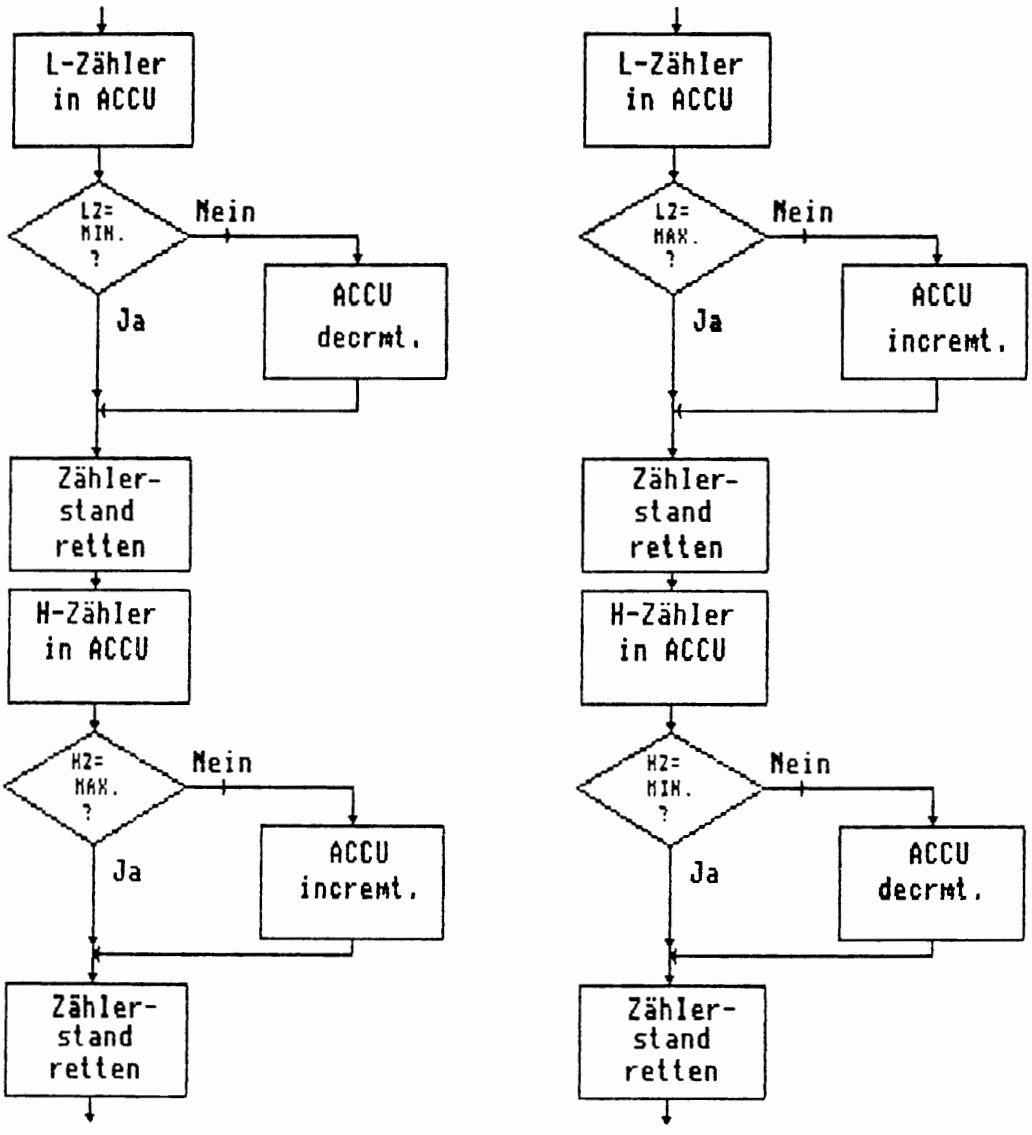


Bild 14: Flußdiagramme für die Programmteile
GROSS (links) und KLEIN (rechts).

Erläuterungen zur den dargestellten Flußdiagrammen

Die auf Seite 23 erwähnten Zählregister werden durch zwei Register realisiert (E für H und D für L), deren Inhalte in den Programmteilen GROSS und KLEIN mit den Konstanten MIN und MAX verglichen werden. Diese Konstanten stellen das absolute Minimum

bzw. Maximum von Impuls- und Pausenzeit der Steuerspannung an EN dar. Durch den Vergleich wird sichergestellt, daß die Werte MIN bzw. MAX nicht unter- bzw. überschritten werden und somit die Impulszeit nicht zu groß bzw. die Pausenzeit nicht zu klein wird. Diese Maßnahme ist erforderlich, weil sonst die Impuls- bzw. die Pausenzeit zu null werden könnten.

Assemblerprogramm für den digitalen Zweipunktregler:

```
E003          MVI D,05    ;Zähler für EN = L
E005          MVI E,05    ;Zähler für EN = H
E007 EIN:     IN 01       ;Sollwert lesen
E009          MOV B,A     ;Sollwert retten
E00A          IN 00       ;Istwert lesen
E00C          NOP
E00D          OUT 01      ;Istwert ausgeben
E00F          CMP B       ;Soll>Ist?
E010          JNC KLEIN   ;Nein
E013          JMP GROSS   ;Ja
E016 KLEIN:   MOV A,D     ;L-Zähler in Accu
E017          CPI 20      ;L-Zähler = Max.?
E019          JZ K1       ;Ja
E01C          INR A       ;Nein, LZ incremt.
E01D K1:      MOV D,A     ;Zählerstand retten
E01E          MOV A,E     ;H-Zähler in Accu
E01F          CPI 01      ;H-Zähler = Min.?
E021          JZ K2       ;Ja
E024          DCR A       ;Nein, HZ decremt.
E025 K2:      MOV E,A     ;Zählerstand retten
E026          CALL LAUF   ;EN mit H bzw. L beschalten
E027          JMP EIN     ;Soll. und Ist. erneut vergleichen
E02C GROSS:   MOV A,D     ;L-Zähler in Accu
E02D          CPI 01      ;L-Zähler = Min.?
E02F          JZ G1       ;Ja
E032          DCR A       ;Nein, LZ decremt.
E033 G1:      MOV D,A     ;Zählerstand retten
E034          MOV A,E     ;H-Zähler in Accu
E035          CPI 50      ;H-Zähler = Max.?
E037          JZ G2       ;Ja
E03A          INR A       ;Nein, HZ incremt.
E03B G2:      MOV E,A     ;Zählerstand retten
E03C          CALL LAUF   ;EN mit H bzw. L beschalten
E03F          JMP EIN     ;Soll. und Ist. erneut vergleichen
E042 LAUF:    MVI A,03    ;Eingang EN = H
E044          OUT 00
E046          MOV C,E     ;H-Zähler in C-Register
E047 L1:      DCR C       ;H-Zähler decremt.
E048          JNZ L1      ;H-Zähler = 00H?
E04B          MVI A,01    ;Ja, Eingang EN = L
E04D          OUT 00
E04F          MOV C,D     ;L-Zähler in C-Register
E050 L2:      DCR C       ;L-Zähler decremt.
E051          JNZ L2      ;L-Zähler = 00H?
E054          RET         ;Ja, zurück zum Hauptprog.
```

4.6 Messungen an einem digitalen Zweipunktregler

Geben Sie das Programm von der vorigen Seite ab der Startadresse E003H ein. Danach muß das Programm zuerst auf einer Floppy-Disk gesichert werden, damit bei einem Programmabsturz keine komplette Neueingabe nötig ist. Belasten Sie die Generatorspannung mit dem 100-Ohm/100-Watt-Potentiometer am Ausgang LAST. Die 8-Bit-Eingabe-Baugruppe (Adresse 01H) ist auf AFH einzustellen. Starten Sie das Programm und messen Sie die Generatorspannung Ug sowie den Motorstrom Im in Abhängigkeit vom Laststrom IL. Tragen Sie die Ergebnisse in die nachfolgende Tabelle sowie in das Koordinatensystem von Bild 15 ein.

IL/A	Ug/V	Im/A
0,1		
0,15		
0,2		
0,25		

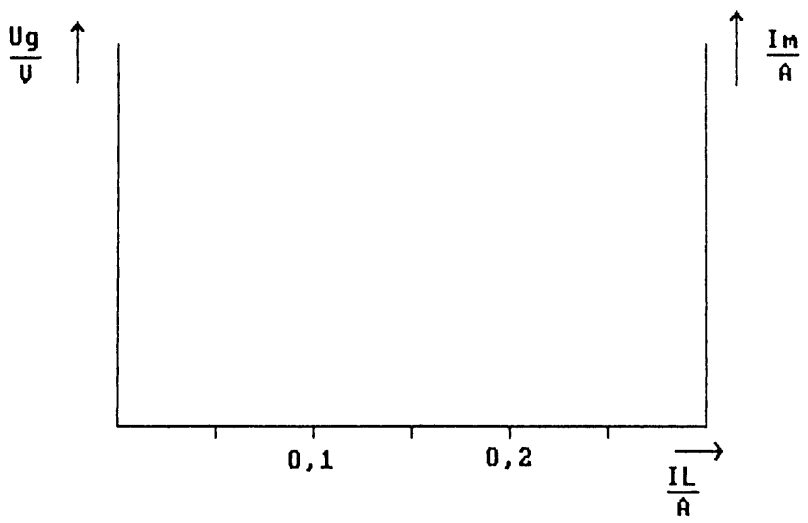


Bild 15: Generatorspannung und Motorstrom in Abhängigkeit vom Laststrom.

Messen Sie jetzt noch (mit einem Oszilloskop) den Spitze-Spitze-Wert des Wechselspannungs-Anteils der Generatorspannung Ug

ugss = _____

4.7 Diskussion der Meßergebnisse

Mit steigendem Laststrom am Ausgang LAST nimmt der vom Motor aufgenommene Strom ebenfalls zu. Dadurch steigt das Drehmoment an der Welle an. Die Generatorspannung bleibt nahezu konstant, was auf eine fast konstante Drehzahl des Motors hinweist.

Der Arbeitsbereich der Regel-Einrichtung läßt sich durch einfache Programmänderung erweitern, so daß die Motordrehzahl auch bei größeren Lastströmen noch relativ konstant bleibt. Hierzu muß nur der Wert, mit dem das Register E bei der Programmadresse E035 verglichen wird, erhöht werden. Das Register E stellt, wie auf Seite 25 erwähnt, den Zähler für EN = H dar. Bei der Programmadresse E035 findet ein Vergleich mit der Konstanten MAX statt. Erhöht man den Wert dieser Konstanten, so kann die Impulszeit der Steuerspannung größere Werte annehmen, wodurch der Motorstrom und damit das Drehmoment größer werden kann.

5. Realisierung der Regel-Einrichtung mit Hilfe des EPC

Das Programm von Seite 26 ist Teil einer Regeleinrichtung, die zur Drehzahlregelung von DC-Motoren eingesetzt werden kann. Das Entwicklungssystem (hier das MFA-System) ist aber nicht für den Praxiseinsatz vor Ort geeignet, da hier die Forderung nach möglichst geringem Platzbedarf besteht.

Dazu bietet sich ein Einplatinen-Computer mit entsprechender Ein/Ausgabe in idealer Weise an, da er in einer einzigen Baugruppe die gesamte Regeleinrichtung vereint, die bisher durch das gesamte MFA-System realisiert wurde.

5.1 Vorbereitung des MFA-Systems zur Anpassung des Programms an den EPC

Entfernen Sie aus dem abgeschalteten MFA-System folgende Baugruppen:

- die 8-Bit-Ausgabe-Baugruppen
- die 8-Bit-Eingabe-Baugruppe
- die AD/DA-Wandler-Baugruppe

Anstatt dieser Baugruppen setzen Sie die EPROM-Programmierer-Baugruppe und den I/O-Adapter mit der Ein/Ausgabe-Baugruppe (I/O-EPC) des EPC ein. Verbinden Sie dann die Regelstrecke mit Hilfe des Blockschaltbildes (Bild 16) mit der Ein/Ausgabe I/O-EPC.

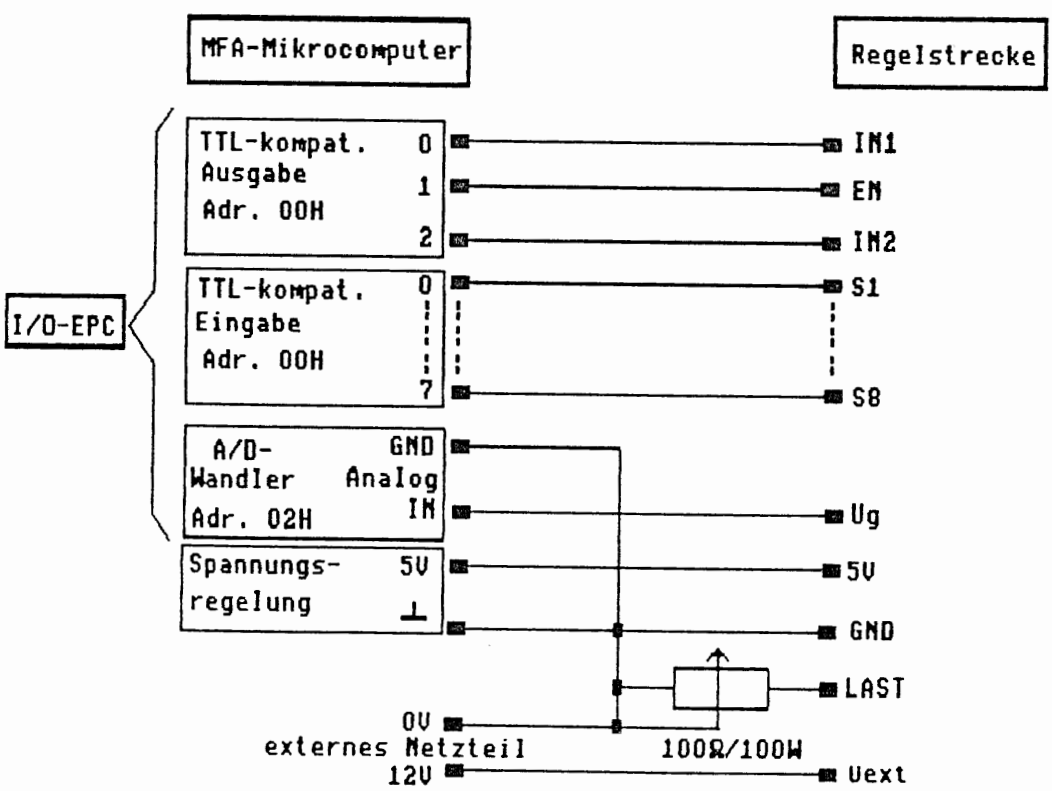


Bild 16: Verbindung zwischen Ein/Ausgabe-Baugruppe I/O-EPC und Regelstrecke

5.2 Anpassung des Programms an den EPC

- Der A/D-Wandler ist nur für positive Eingangsspannungen zwischen 0 Volt und 10 Volt ausgelegt. Der Wandler hat die Adresse 02H.

- Das 8-Bit-Datenwort am Ausgang des A/D-Wandlers liegt zwischen 00H = 0 Volt und FFH = 10 Volt. Die Vorgabe des Sollwertes, die jetzt über die Schalter S1 bis S8 auf der Regelstrecke erfolgt, muß deshalb entsprechend gewählt werden.

- Zum Lesen des 8-Bit-Datenwortes am Ausgang des A/D-Wandlers genügt nicht mehr ein einfacher IN-Befehl. Lesen Sie dazu die entsprechenden Informationen in den Unterlagen zur Ein/Ausgabe-Baugruppe I/O-EPC.

- Der erste Programmbefehl muß den Stackpointer des EPC auf die höchste RAM-Adresse 27FF setzen. Dieser Befehl darf allerdings bei einem Probelauf im MFA-System nicht abgearbeitet werden.

- Die Vorgabe des Sollwertes erfolgt über die TLL-kompatible 8-Bit-Eingabe, welche die Adresse 00H besitzt.

Nachfolgend ist das für den EPC-Einsatz modifizierte Programm wiedergegeben; dabei wurden zur besseren Übersicht nur die neuen bzw. geänderten Befehle kommentiert:

```
E000          LXI SP,27FF     ;Stackpointer des EPC initialis.
E003          MVI D,05
E005          MVI E,05
E007 EIN:     IN 00           ;Sollwert lesen
E009          MOV B,A
E00A          CALL ADW        ;A/D-Wandler initialisieren
E00D          IN 02           ;gewandelten Istwert lesen
E00F          CMP B
E010          JNC KLEIN
E013          JMP GROSS
E016 KLEIN:   MOV A,D
E017          CPI 20
E019          JZ K1
E01C          INR A
E01D K1:      MOV D,A
E01E          MOV A,E
E01F          CPI 01
E021          JZ K2
```

```
E024          DCR A
E025 K2:      MOV E,A
E026          CALL LAUF
E029          JMP EIN
E02C GROSS:   MOV A,D
E02D          CPI 01
E02F          JZ G1
E032          DCR A
E033 G1:      MOV D,A
E034          MOV A,E
E035          CPI 50
E037          JZ G2
E03A          INR A
E03B G2:      MOV E,A
E03C          CALL LAUF
E03F          JMP EIN
E042 LAUF:    MVI A,03
E044          OUT 00
E046          MOV C,E
E047 L1:      DCR C
E048          JNZ L1
E04B          MVI A,01
E04D          OUT 00
E04F          MOV C,D
E050 L2:      DCR C
E051          JNZ L2
E054          RET
E055 ADW:     OUT OFF         ;Start der A/D-Wandlung
E057          MVI C,04        ;Zeitverzögerung
E059 AD1:     DCR C           ;für
E05A          JNZ AD1         ;A/D-Wandler
E05D          RET             ;zurück zum Hauptprogramm
```

5.3 Probelauf und Programmmieren des EPROMs

Geben Sie das vorstehende Programm ab der Startadresse E000H ein. Dabei können Sie das auf Floppy-Disk gesicherte Programm von Seite 26 als Grundlage benutzen. Dieses Programm muß nur an einigen Adressen ergänzt bzw. geändert werden:

Ergänzungen:
Bei E000 muß ein LXI-Befehl eingegeben werden, und ab der Adresse E055 muß das Unterprogramm zur A/D-Wandlung eingegeben werden.

Änderungen:
E007: IN-Befehl ändern
E00A: CALL-Befehl eingeben
E00D: IN-Befehl eingeben

Sichern Sie auch das modifizierte Programm auf einer Floppy-Disk.

Bei dem jetzt erforderlichen Probelauf zur Überprüfung des Programms müssen Sie beachten, daß der erste Befehl nicht abgearbeitet werden darf. Dieser Befehl (LXI SP,27FF) setzt den Stackpointer der CPU auf die Adresse 27FF. Da Sie im Augenblick noch mit dem MFA-System arbeiten, ist ein Setzen des Stackpointers nicht erforderlich, da der Stackpointer durch das Betriebsprogramm MAT85 automatisch gesetzt wird.

Würde der Stackpointer trotzdem gesetzt, so hätte das zwangsläufig einen Absturz des Programms zur Folge, da sich bei der angegebenen Adresse (27FF) kein RAM-Speicher befindet.

Starten sie das Programm deshalb unbedingt ab der Adresse E003

Wenn das Programm richtig arbeitet, muß die Regelstrecke die gleichen Eigenschaften aufweisen, wie bei Bild 15 ermittelt. Eine indirekte Veränderung der Drehzahl ist jetzt über die Schalter S1 bis S8 auf der Regelstrecke möglich, deren Stellung den Sollwert darstellen. Die Schalterstellungen werden dann im Programm mit dem Istwert verglichen und die Drehzahl in Abhängigkeit von diesem Vergleich verändert.

5.3.1 Programmmieren des EPROMs

Bevor das EPROM für den Einsatz im EPC programmiert wird, muß das Programm an den Adressbereich des EPC angepaßt werden. Dazu müssen diverse Sprungadressen auf den EPROM-Bereich des EPC zugeschnitten werden. Die Änderung ist am einfachsten über das MEMORY-Kommando des MFA-Systems möglich. Richten Sie sich dabei nach der folgenden Tabelle. Die zu ändernden Bytes sind dabei unterstrichen.

Programmadresse des zu ändernden Befehls	Alter Befehl	Neuer Befehl
E00A	CALL E055	CALL 0055
E010	JNC E016	JNC 0016
E013	JMP E02C	JMP 002C
E019	JZ E01D	JZ 001D
E021	JZ E025	JZ 0025

E026	CALL E042	CALL 0042
E029	JMP E007	JMP 0007
E02F	JZ E033	JZ 0033
E037	JZ E03B	JZ 003B
E03C	CALL E042	CALL 0042
E03F	JMP E007	JMP 0007
E048	JNZ E047	JNZ 0047
E05A	JNZ E059	JNZ 0059

Gehen Sie bei der Änderung besonders sorgfältig vor, da das geänderte Programm nicht mehr auf dem MFA-System lauffähig ist, sondern nur mit dem EPC getestet werden kann.

Sie sollten deshalb auch das geänderte Programm zur Sicherheit auf einer Floppy-Disk abspeichern. Nach Sicherung des Programms kann das EPROM programmiert werden.

Schalten Sie dann das MFA-System und das externe Netzteil ab, entfernen außer der Ein/Ausgabe I/O-EPC, dem Trafo und der Spannungs-Regelung alle Einschübe, stecken den mit dem programmierten EPROM bestückten EPC in das System und schalten die Spannungsversorgung sowie das externe Netzteil wieder ein.

Wenn Sie das Programm richtig angepaßt haben, muß die Regel-Einrichtung die gleichen Eigenschaften wie beim Probelauf aufweisen.

Die Regel-Einrichtung ist jetzt auf einer Baugruppe zusammengefaßt und kann an beliebiger Stelle mit entsprechender Spannungsversorgung eingesetzt werden.

Damit ist die Übung beendet.

6. Anlagen

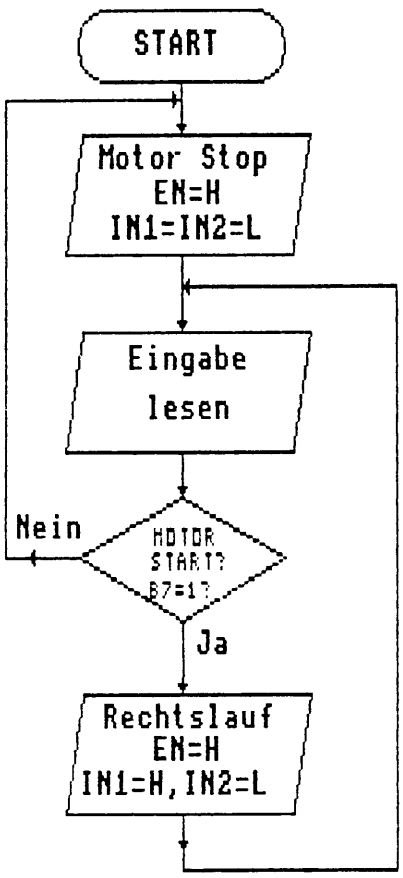
6.1 Überprüfung der Regelstrecke

Bevor die Übung durchgeführt wird, muß eine kurze Funktionsprüfung erfolgen. Verbinden Sie ein Netzteil (U = 12 Volt) mit den Steckbuchsen Uext und GND. Ein zweites Netzteil (U = 5 Volt) ist mit den Anschlüssen 5 V und GND zu verbinden. Die Steckbuchsen IN1 und EN sind mit 5V zu verbinden, die Steckbuchse IN2 ist mit GND zu verbinden. Wenn Sie beide Netzteile einschalten, muß sich die Motor-Generator-Kombination drehen. Messen Sie jetzt die Generatorspannung von der Klemme G+ zur Klemme G-. Es muß sich eine positive Spannung ergeben. Ist das nicht der Fall, sind die beiden Leitungen, welche den Generator mit der Platine verbinden, zu vertauschen.

Danach können Sie mit der Durchführung der Übung beginnen.

6.2 Lösungsvorschläge für die Programmieraufgaben

Zur Programmieraufgabe Seite 10:




```
ANF: MVI A,02    ;Motor Stop
     OUT 00      ;EN=H, IN1=IN2=L

EIN: IN 01       ;Eingabe lesen

     ANI 80      ;Motor Start
     JZ ANF      ;Nein

     MVI A,03    ;Ja, Rechtslauf
     OUT 00      ;EN=H, IN1=H, IN2=L

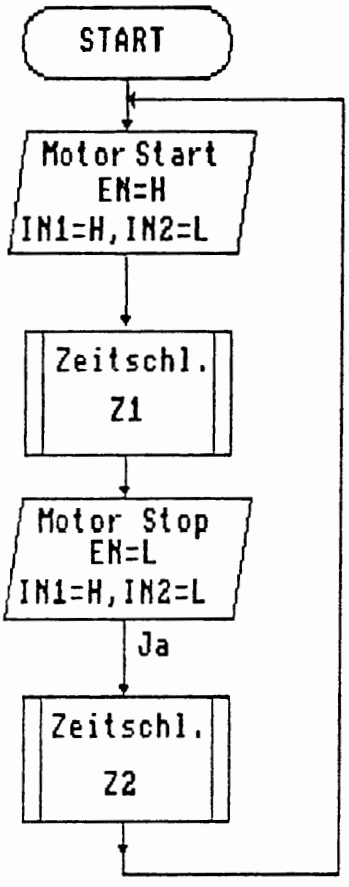
     JMP EIN     ;Eingabe erneut lesen
```

Antwort zur Frage auf Seite 15:

Wird das Register B mit dem Wert 00H geladen, so hat es nach dem ersten Decrementieren den Inhalt FFH. Die Zeitschleife wird also in diesem Fall 256-mal durchlaufen.

Zur Programmieraufgabe auf Seite 15 (Rechtslauf):

Für Linkslauf des Motors muß der ACCU bei "Motor Start" mit 06H und bei "Motor Stop" mit 04H geladen werden.




```
ANF: MVI A,03    ;Motor Start
     OUT 00      ;EN=H, IN1=H, IN2=L

     CALL Z1     ;Zeit für EN=H

     MVI A,01    ;Motor Stop
     OUT 00      ;EN=L, IN1=H, IN2=L

     CALL Z2     ;Zeit für EN=L

     JMP ANF     ;erneuter Start

Z1:  IN 01       ;Wert für EN=H lesen
Z11: DCR A       ;ACCU bis 00
     JNZ Z11     ;decrmt.
     RET
Z2:  MVI B,01    ;Zeit
Z21: DCR B       ;für EN=L
     JNZ Z21     ;tp=0,014ms
     RET
```

Antwort zur Frage auf Seite 17:

Die Generatorspannung steigt mit wachsender Drehzahl des Motors an. Eine Drehrichtungsumkehr hat eine Umkehr der Polarität der Generatorspannung zur Folge.

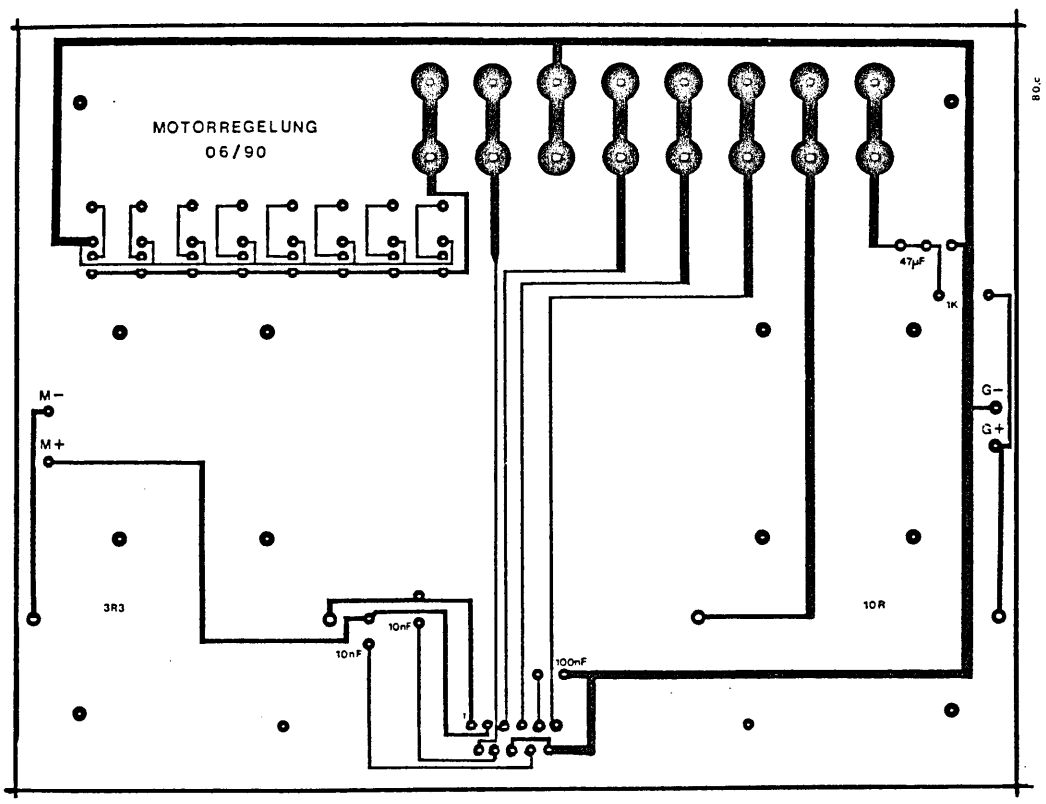


Bild 17: Layout Leiterplatte

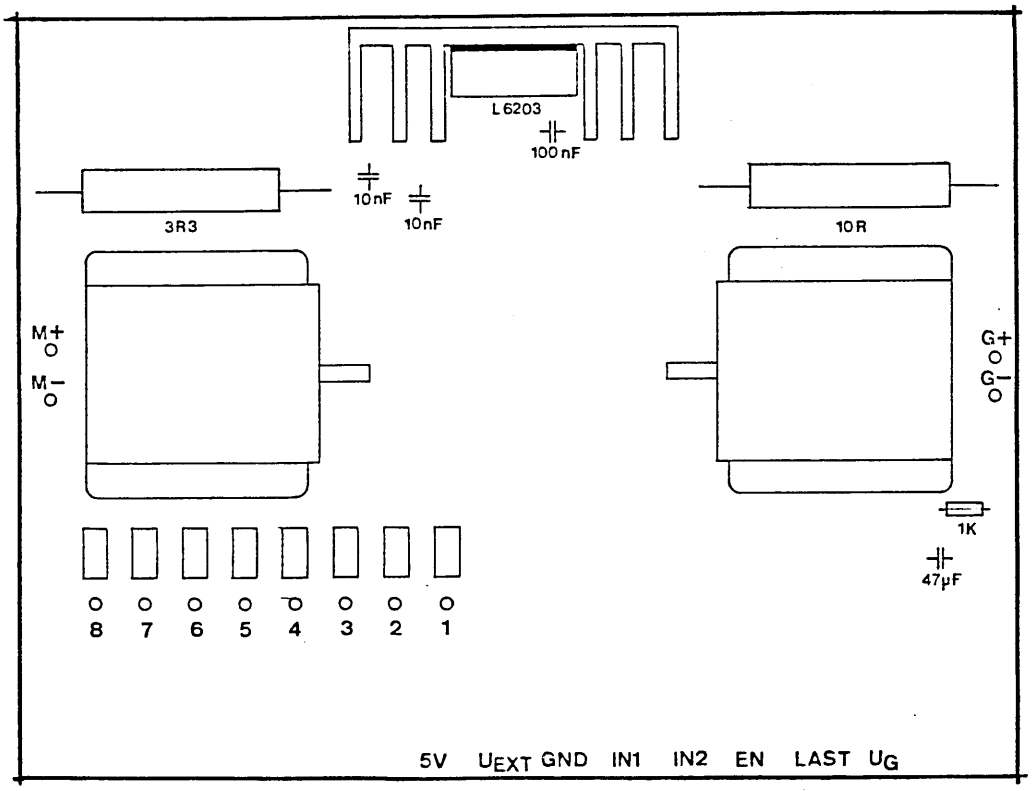


Bild 18: Bestückungsplan Leiterplatte

M F A - COMPUTERSYSTEM S T Ü C K L I S T E

M O T O R R E G E L U N G

POS	ARTIKEL		BAUFORM	EINZEL STCKZ.
1	Leiterplatte	Stärke 2,5mm	200*150	1
2	Bodenplatte	Stärke 1,5mm	200*150	1
3	Aufklebefüße			4
4	Distanzbolzen	M 3,	20 lang DI 641/20	4
5	Zylinderkopfschraube		M 3*8	8
6	"	"	M 3*10	3
7	"	"	M 4*10	2
8	Federscheibe		A 2,7	17
9	Sechskantmutter		M 3	11
10	Gleichstrommotor	GRAUPNER,	SPEED 500 E 1788	2
11	Befestigungshalter		passend hierzu	2
12	Kupplung		passend hierzu	1
13	Litze		blau, 40mm lang	2
14	"		rot, 40mm lang	2
15	Kühlschelle		PR 42/37,5/SE	1
16	Befestigungswinkel		BE 631	2
17	Steuer-IC		L 6203	1
18	Widerstand		3R3 11 Watt	1
19	"		10 R 11 Watt	1
20	"		1 K 1/4 Watt	1
21	Kondensator		10 nF, RM 5, Ker.	2
22	"		100 nF, RM 5, Ker.	1
23	Elco	bipolar,	47uF/40V, radial	1
24	Miniatur-Schiebeschalter			8
25	Steckerstifte		1,2mm	8
26	Einbau-Buchse	Hirschmann	2mm blank, Mbu 1	8
27	Einbau-Buchse	Hirschmann	4mm blank, Bo 10	8