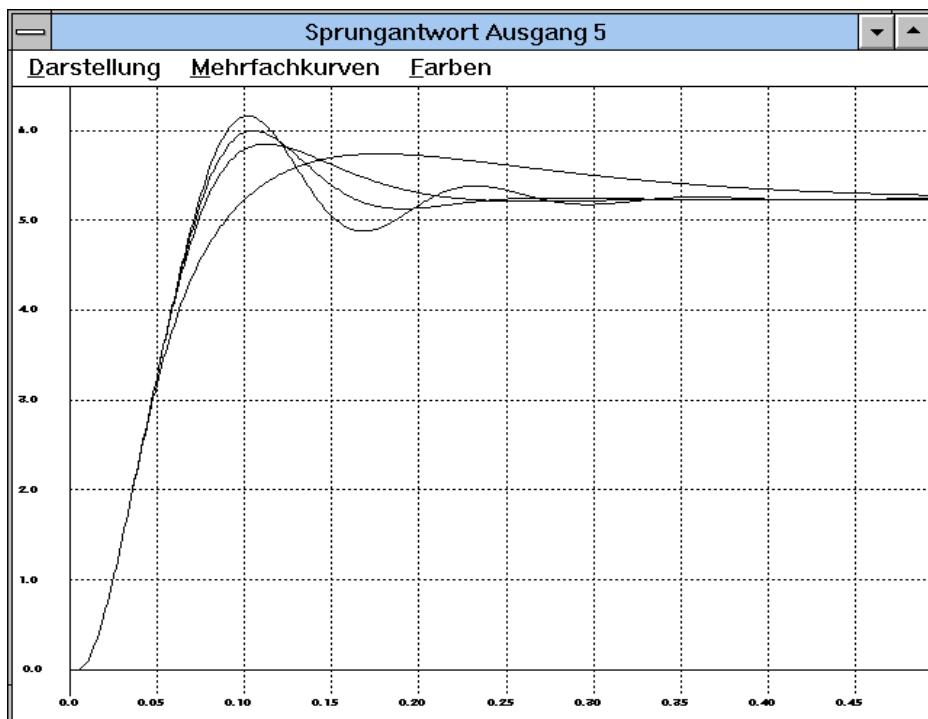


# Aufgabenstellung SS 2010

## Praktikum Regelungstechnik KIM/ESA Bachelor

Leiter des Praktikums:  
Prof. Dr.-Ing. Bayerlein  
 49 88 62 2  
E-Mail: bayerlein@fh-luebeck.de



Laboringenieur:  
Dipl.-Ing. Eckhard Stuhr  
 300-5035  
E-Mail: stuhr@fh-luebeck.de

SS2010/V2.0

## Vorbemerkung:

Das Praktikum Regelungstechnik besteht aus 4 Versuchen an 4 Terminen:

- |            |  |
|------------|--|
| Versuch 1: | Übergangsfunktionen                        |
| Versuch 2: | Streckenidentifikation und Reglerauslegung |
| Versuch 3: | Frequenzgangmessplatz                      |
| Versuch 4: | Drehzahlregelung mit LabVIEW               |

## Zum Testat:

Um das Gesamttestat zu erlangen, müssen alle Versuche mit „**ausreichend**“, entspricht Zeichen **0**, oder besser bewertet werden. Die Bewertung für jeden Versuch ergibt sich als Mittelwert aus einer Bewertung für die Versuchsvorbereitung, einer für die Durchführung und einer für das Versuchsprotokoll.

Es werden die Bewertungen + (**besser als ausreichend**), **0 (ausreichend)** und - (**schlechter als ausreichend**) vom Leiter des Praktikums bzw. vom Laboringenieur vergeben. So kann z.B. eine überdurchschnittliche Versuchsdurchführung (ein +) eine schlechte Versuchsvorbereitung (dort -) kompensieren. Nicht abgegebene Berichte führen, unabhängig von den Vorbewertungen, automatisch zu einem Gesamt-Minus in der Bewertung. Treten in einem Versuch bei einem Kandidaten zwei oder mehr nicht ausreichende Bewertungen (-) auf, so wird der Versuch nicht testiert und muss wiederholt werden. Sollten Ihre Vorbereitungen bzw. die Durchführung der Versuches öfter als einmal mit minus bewertet worden sein, erhalten Sie die Zusatzaufgabe am Ende des Praktikums vor dem gesamten Semester ein ca. halbstündiges Referat über ein von mir gestelltes regelungstechnisches Thema zu halten. Grundsätzlich werden Nachholtermine im laufenden Semester nur in Fällen angeboten, die vom Studenten nicht zu vertreten sind (Krankheit usw.). Sollten Sie aus anderen Gründen verhindert sein, so benachrichtigen Sie bitte rechtzeitig den zuständigen Laboringenieur, damit u. U. ein Ausweichtermin organisiert werden kann. Von jeder Gruppe ist nur ein Versuchsprotokoll abzugeben, die Beurteilung von Vorbereitung und Durchführung erfolgt jedoch individuell, d.h. wenn nur einer sich gut vorbereitet, wird auch nur der gut beurteilt. Jede Gruppe erhält am ersten Versuchstag zwei Karteikarten, die sie mit Namen und Gruppennummer versieht und eine davon abgibt. Auf diesen Testatkarten werden die Bewertungen mit Unterschrift quittiert. Eine Karte führt der Teilnehmer, die andere verbleibt in der FH.

gez. Prof. Dr. Bayerlein 26.09.09

**Die auf der folgenden Seite abgedruckte Laboratoriumsordnung des FB Elektrotechnik wird Ihnen hiermit zur Kenntnis gebracht.**

**Kenntnis und Beachtung dieser Laborordnung sind für die Studierenden, die am Praktikum Regelungstechnik teilnehmen, zwingend erforderlich.**

## Hinweis:

Alle für das Praktikum Regelungstechnik notwendigen Programme und Daten befinden sich auf [ssl.fh-luebeck.de](http://ssl.fh-luebeck.de) im Pfad **Studpub-Verzeichnis/stuhre/Regelungstechnik/ESA – KIM Bachelor** oder im Pfad [.../bayerlej/WINDF6\\_SOL0](http://ssl.fh-luebeck.de/bayerlej/WINDF6_SOL0). Programme und Daten befinden sich in Unterverzeichnissen, die den Namen des Programmautors bzw. des Programms haben. Die Programme befinden sich auch auf der s.g. „Studenten-CD“.

# **LABORATORIUMSORDNUNG**

1. Zweck der Praktika ist die Ausbildung der Studierenden im praktischen Umgang mit elektrischen Schaltungen, Bauteilen, Apparaten, Geräten und Maschinen. Ein erfolgreiches Arbeiten im Praktikum setzt die in den Vorlesungen gebrachten theoretischen Grundlagen voraus.
2. Die Praktikumsteilnehmer/innen haben sich auf die Versuche vorzubereiten. Bei mangelhaften Kenntnissen können die betreffenden Teilnehmer/innen vom Praktikum zurückgewiesen werden.
3. Die Praktikumsteilnehmer/innen arbeiten möglichst in Gruppen von zwei Personen. Jede Gruppe ist als solche ebenso wie jeder einzelne Teilnehmer/in für die genaue Einhaltung der Laboratoriumsordnung verantwortlich und haftet für fahrlässig verursachte Schäden.
4. Als verbindliche Ergänzung dieser Ordnung gelten die zurzeit gültigen VDE-Bestimmungen 0100, 0101 und 0105 sowie die Vorschriften der Berufsgenossenschaft Elektrotechnik.
5. Für die Versuche dürfen nur die zugewiesenen Messinstrumente, Geräte und Werkzeuge benutzt werden.
6. Vor Beginn der Arbeit hat jede Gruppe sich soweit als möglich davon zu überzeugen, dass sämtliche ihr zugeteilten Gegenstände in Ordnung sind. Schäden und Mängel sind sofort zu melden, andernfalls ist die betreffende Gruppe haftbar.
7. Der Versuchsaufbau darf nicht ohne Mitwirkung des/r Versuchsleiters/in eingeschaltet werden. Bei der Durchführung des Versuchs ist mit Rücksicht auf die unter gefährlicher Spannung stehenden Bauteile entsprechende Sorgfalt zu üben. Gefährlich sind Spannungen, die größer als 42 Volt sind. Bei den unter Spannung stehenden Aufbauten dürfen keine Stecker gezogen oder sonstige Verbindungen getrennt werden. Ausgenommen sind spannungsmessende Geräte, wenn der Stecker nach dem Trennen spannungsfrei ist.
8. Die "Not-Aus"-Schalter dürfen nur bei Gefahr betätigt werden, weil dadurch der gesamte Laborbetrieb stillgelegt wird.
9. Am Ende des Versuchs ist vor dem Abbau der Schaltung dem/r Versuchsleiter/in das Versuchsprotokoll zum Testat vorzulegen. Nach Ausschalten aller Spannungen müssen sämtliche von den Praktikumsteilnehmern /innen hergestellten Schalt- und Prüfanordnungen wieder abgebaut werden.
10. Das testierte Versuchsprotokoll gilt als Anwesenheitsbeleg und ist deshalb dem Versuchsbericht beizufügen.
11. Die Nichteinhaltung der Laborordnung, Verstöße gegen die Sicherheitsbestimmungen oder die Nichtbefolgung von Anordnungen des/r Versuchsleiters/in oder eines Laboringenieurs gefährden den Übungsbetrieb und können den Ausschluss von dem betreffenden Praktikum zur Folge haben.
12. Rauchen, Essen und Trinken ist in allen Laborräumen untersagt.

Lübeck, 24.10.2006  
Fachbereich Elektrotechnik

gez. Prof. Dr. H. Hochhaus  
Dekan

## Versuch 1: Übergangsfunktionen

Eine der wichtigsten Testfunktionen in der Regelungstechnik ist die Sprungfunktion. Das Ausgangssignal eines Systems bei einer Sprungfunktion als Eingangssignal heißt Sprungantwort. Wenn die Sprungantwort auf die Amplitude des Eingangssignals bezogen wird, erhält man die Einheitssprungantwort, auch Übergangsfunktion  $h(t)$  genannt.

### Aufgabenstellung:

Für die nachfolgenden Anordnungen sind die Sprungantworten mit Hilfe eines Digital-Speicher-Sscopes und eines Plotters aufzunehmen und auszugeben.

Für die Schaltungen nach Bild 1 sind in der Vorbereitung die Sprungantworten zu berechnen und darzustellen. Aus den gemessenen Sprungantworten sind die charakteristischen Parameter ( $K_R$ ,  $T_N$ ,  $T_V$ ,  $T_i$ ,  $T_D$ ,  $K$ ,  $T_1$  und  $st$ ) der Übertragungsglieder zu bestimmen. (Beachten Sie, dass bei der grafischen Auswertung die Tangenten für das I-Verhalten parallel verlaufen.) Die grafisch bestimmten Werte sind mit den theoretisch ermittelten Werten fehlerkritisch zu vergleichen. Ermitteln Sie den prozentualen Fehler zwischen berechneten und gemessenen Werten. Stellen Sie das Ergebnis in tabellarischer Form dar. (d.h. 8 Zeilen mit theoretischem Wert, gemessenem Wert und prozentuellem Fehler pro Messung)

1.

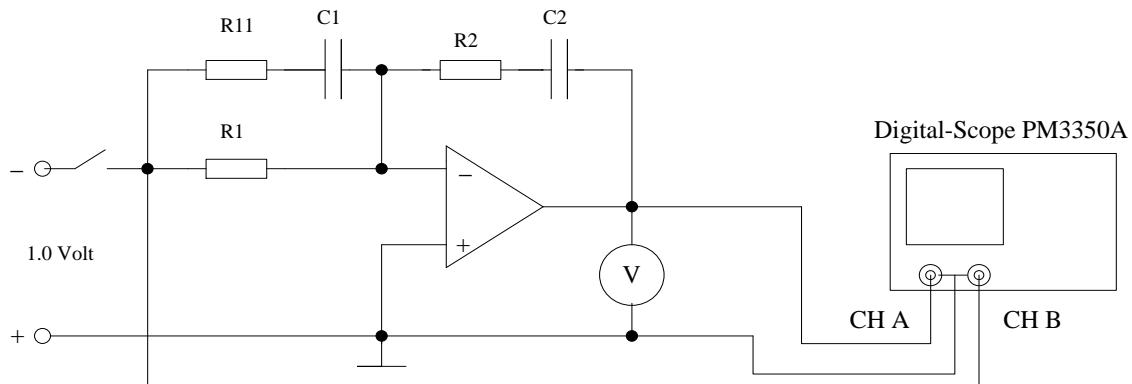


Bild 1

#### Werte für Aufgabe 1a.:

$$\begin{aligned} R_1 &= 11.93 \text{ k}\Omega \\ R_{11} &= 4.778 \text{ k}\Omega \\ R_2 &= 38.49 \text{ k}\Omega \\ C_1 &= 1.995 \mu\text{F} \\ C_2 &= 2.009 \mu\text{F} \end{aligned}$$

#### Werte für Aufgabe 1b.:

$$\begin{aligned} R_1 &= 11.93 \text{ k}\Omega \\ R_{11} &= 4.737 \text{ k}\Omega \\ R_2 &= 38.49 \text{ k}\Omega \\ C_1 &= 4.098 \mu\text{F} \\ C_2 &= 2.009 \mu\text{F} \end{aligned}$$

Die Sprungantworten zu 1.a und 1.b sind mit zwei der Aufgabe angepassten Zeitmaßstäben\* aufzunehmen, und auf jeweils einer Zeitachse auszugeben.

\*Wenn Sie die Sprungantworten zu 1.a und 1.b aufgenommen haben, zoomen Sie mit der mag.-Taste die Zeitachse soweit, dass der Schnittpunkt der beiden Tangenten gut zu bestimmen ist.

Der Gesamtschaltplan für diese Versuchsanordnung ist auf Blatt 4 dargestellt. Die Schaltungen 1a-1b werden mit Komponentensteckern realisiert.

Sowohl bei diesem, als auch bei dem nächsten Versuchsteil sollen die Sprungantworten auch vom Scope über eine serielle Schnittstelle in den PC übertragen werden.

Mit dem Programm WINDF6 ist dann eine automatische Identifikation vorzunehmen. Eine Beschreibung dieser Programm-Funktion (mit Beispiel) liegt am Versuchsplatz aus. Die Ergebnisse der Identifikation sind zu drucken.

## 2. Feder-Masse-Dämpfung-System

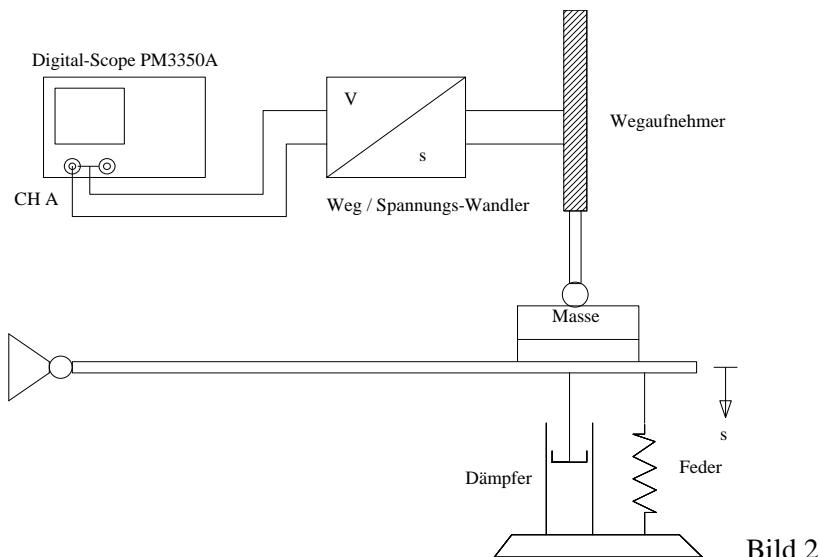


Bild 2

Durch Sprungantwortauswertung sind die dynamischen Kenngrößen des Systems zu bestimmen (effektive Masse in kg, Dämpfung in Ns/m). Eine nichtdynamische Größe des Systems ist durch ein geeignetes anderes Messverfahren zu ermitteln. Die Messung ist mit einer Masse von 2048 g durchzuführen. Geben Sie für das oben dargestellte mechanische System ein regelungstechnisches Übertragungsglied an. Auch hier soll die Sprungantwort wieder mit WINDF6 in den Rechner eingelesen und identifiziert werden.

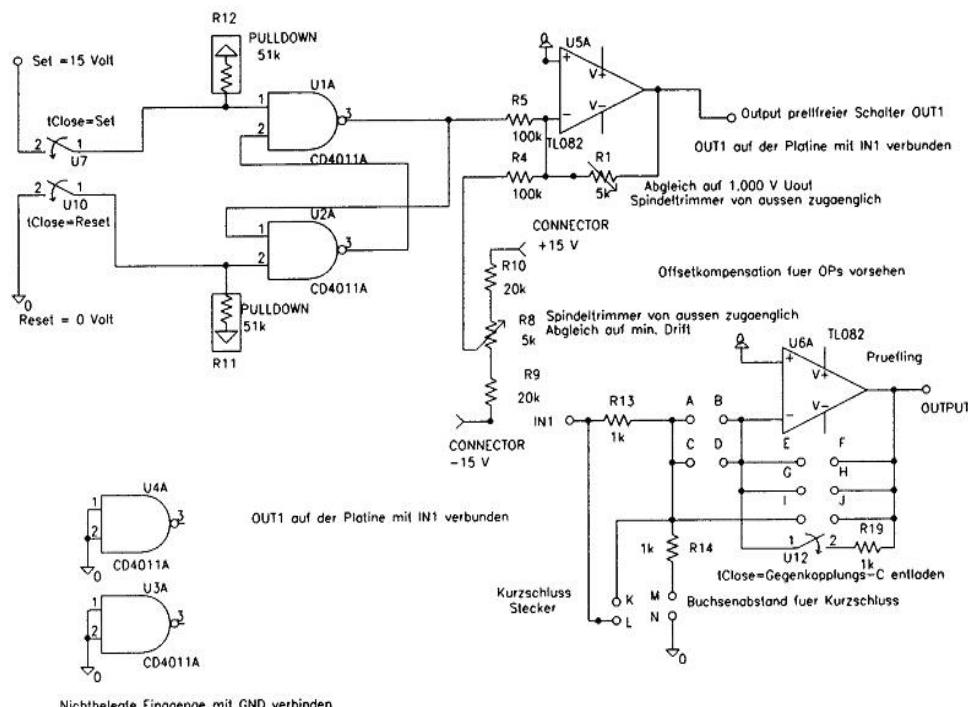


Bild 3: Gesamtschaltplan der Versuchsanordnung

## Versuch 2: Streckenidentifikation, Reglerauslegung und Inbetriebnahme

### 1. Vorbereitung:

#### Automatische Reglerauslegung mit REGDELPH

Der Führungssprung und die Sprungantwort der im Praktikum zu untersuchenden Strecke sind über eine serielle Schnittstelle vom Scope (PM3380) in REGDELPH eingelesen worden. Außerdem ist mit dem Frequenzgangmessplatz das Bode-Diagramm der Versuchsanordnung aufgenommen worden. Auch diese Daten sind nach REGDELPH transferiert worden. Den Signalflussplan für diese mit unterschiedlichen Verfahren gewonnenen Streckendaten finden Sie, komplettiert zu 2 Regelkreisen (**Regler jedoch noch nicht ausgelegt**), als File **MoGen SS2010.wnl** auf [ssl.studpub.fh-luebeck](#) im Verzeichnis:

**.../stuhre/Regelungstechnik/ESA – KIM Bachelor/ Versuch 1.**

**Beachten Sie bitte das File: Readme VI MoGen!!!**

Für den gegebenen Signalflussplan **V1 MoGen SS2010.wnl** sollen Sie in der Vorbereitung zu Hause je einen PI- und je einen PIDT1-Regler (Stufentiefe  $st = 2$ ) mit je  $60^\circ$  Phasenreserve vom Programm automatisch auslegen lassen. Die Reglerauslegungen sind mit Führungs-Sprungantworten zu testen und zu dokumentieren. Verwenden Sie auch das REGDELPH-Menü „Mehrfachkurven“ um die Sprungantworten der beiden Strecken in einem Diagramm darzustellen. Mit den Bode-Diagrammen ist ebenso zu verfahren. Die in der Simulation gefundenen Ergebnisse sind so umzurechnen, dass die sich daraus ergebenden R- und C-Werte am analogen Regelverstärker im Labor während des Versuches eingestellt werden können.

( $R_1 = 100k$ ,  $R_2 = K_R * R_1$ ,  $T_N = C_2 * R_2$ ,  $R_3 = R_1 / st - 1$ ,  $C_1 = T_V / st * R_3$ ).

Tragen Sie die errechneten Werte in folgende Tabellen ein.

REGDELPH-Ergebnisse mit  
 geladener Sprungantwort:

Tabelle 1

PI-Regler	PIDT1-Regler
	$st = 2$
$R_2 =$	$R_2 =$
$C_2 =$	$C_2 =$
	$R_3 =$
	$C_1 =$

REGDELPH-Ergebnisse mit  
 geladenem Bode-Diagramm:

Tabelle 2

PI-Regler	PIDT1-Regler
	$st = 2$
$R_2 =$	$R_2 =$
$C_2 =$	$C_2 =$
	$R_3 =$
	$C_1 =$

## 2. Streckenidentifikation durch Sprungantwortauswertung ( Wendetangentenverfahren ):

Für einen Gleichstrom-Motor-Generator-Satz mit Tachogenerator und Siebglied ist der Eingangssprung und die Sprungantwort mit Hilfe eines Digital-Speicher-Scopes PM 3394 und eines Plotters HP 7475 aufzunehmen und auszugeben. Dazu ist der Motor-Generator-Satz gemäß Bild 4 mit der Sprunggenerierungs- und Verstärkerschaltung zu verbinden. Aus dem Plot sind die Zeiten  $t_u$  und  $t_g$  nach dem Wendetangenten-Verfahren zu ermitteln. Zur Bestimmung von  $K_s$  sind die Werte für  $\Delta U_{in}$  und  $\Delta U_{out}$  mit Hilfe des Cursor-Menüs des Scopes zu messen. Notieren Sie die Ergebnisse.

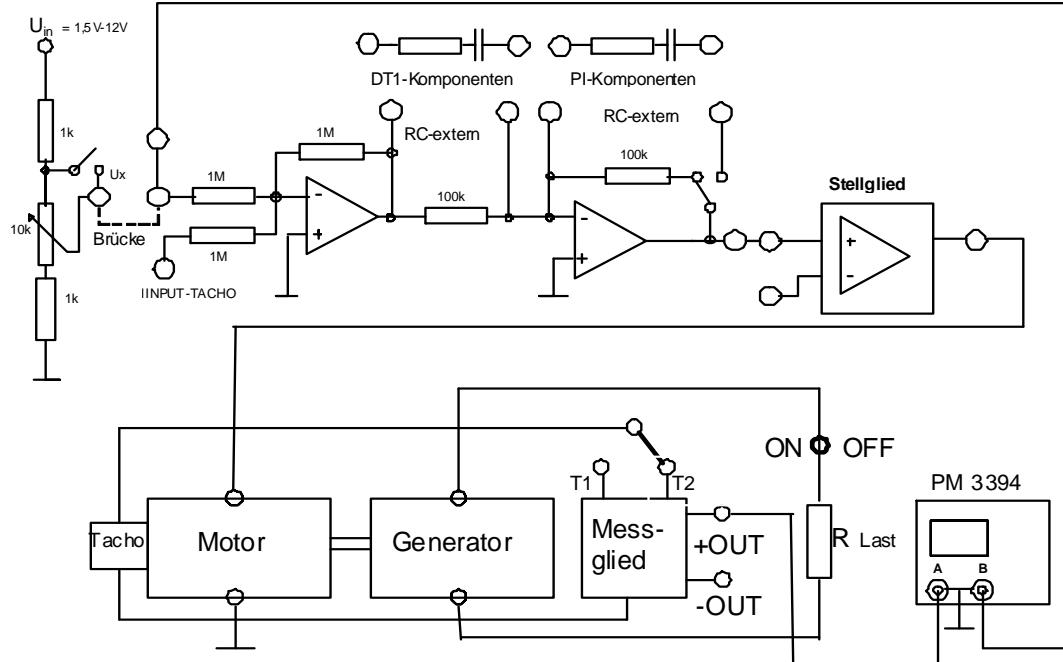


Bild 4

### Hinweise zur Inbetriebnahme:

- Spannungssprung am Ausgang des Messgliedes möglichst immer von ~ 3V auf ~5V.  
Der Motor wird dadurch stets im gleichen Arbeitspunkt betrieben.
- Sprungantwort  
Mit den Potentiometern  $U_{in}$  und  $U_x$  einen Sollwertsprung von 5V auf 7V (2,32Skt. 6,82Skt.)
- Drehzahlregelung  
P-Regler: 10,0Skt. 6,82Skt. und xx,xSkt. 6,82Skt.  
I-Regler: 1,22Skt. 5,61Skt.

## 3. Reglerauslegung:

Mit den aus der Sprungantwortauswertung ermittelten Streckenparametern  $T_u$ ,  $T_g$  und  $K_s$  soll ein **P-** ( $k = 1$  und  $5$ ), **PI-** und **PIDT1-** ( $st = 2$  und  $5$ ) **Drehzahl-Regler** mit  $60^\circ$  Phasenreserve für den DC-Motor-Generator-Satz mit Hilfe des Programms Windf6 entworfen werden. Eine Beschreibung der Identifikations- und Reglerauslegungs-Routine des Programms Windf6 liegt am Laborplatz aus. Vergleiche die mit dem Reuterverfahren identifizierten Werte mit denen der Regressionsmethode.

Um die Versuchsdurchführung möglichst effizient zu gestalten, sollten Sie, nach erfolgter Streckenidentifikation, in Windf6 die Parameter für alle PI / PIDT1-Regler berechnen lassen, und die Werte in nachfolgende Tabelle eintragen.

Tabelle 3

P-Regler		PI-Regler	PIDT1-Regler	
k= 1	k= 5		st = 2	st = 5
R <sub>2</sub> = 100k	R <sub>2</sub> = 500k	R <sub>2</sub> =	R <sub>2</sub> =	
		C <sub>2</sub> =	R <sub>3</sub> =	
			C <sub>2</sub> =	
			C <sub>1</sub> =	
		u <sub>e</sub> =	u <sub>e</sub> =	
		t <sub>max</sub> =	t <sub>max</sub> =	

Bevor Sie den Regelkreis schließen, und die verschiedenen Regler mit den berechneten Werten für R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>, C<sub>2</sub> und C<sub>1</sub> in Betrieb nehmen, ist für den **offenen Regelkreis** sowohl das Führungs- als auch das Störverhalten mit Hilfe eines Digital-Speicher-Sopes PM 3394 und eines Plotters HP 7475 aufzunehmen und zusammen auf einem Blatt auszugeben.

Beachten Sie bei der Inbetriebnahme unbedingt den **Regelsinn** der Versuchsanordnung! Überlegen Sie sich wie, ohne zusätzlichen Verstärker, eine Vorzeichenumkehr für die Signalgegenkopplung realisiert werden kann.

Überprüfen Sie Ihre Reglerauslegungen mit Hilfe von Sprungantworten für Führungs- und Störverhalten. (Störverhalten wird durch Generatorbelastung mit einer elektronischen Last realisiert. Der Laststrom I<sub>stör</sub> wird mit einem Zehngang-Poti auf ~500 mA eingestellt.) Stör- und Führungssprungantworten sind für jeden Reglertyp gemeinsam auf je einem Blatt auszugeben. Zur Ermittlung von t<sub>an</sub>, t<sub>aus</sub>, ü<sub>max</sub> usw. benutzen Sie auch hier wiederum das Cursor-Menü des Scopes. Die Ergebnisse sind nach regelungstechnischen Gesichtspunkten zu diskutieren!!! Wie gut ist die Übereinstimmung zwischen den berechneten und den durch Messung ermittelten Werten? Welcher Reglertyp liefert, bezogen auf Anregelzeit und Überschwingen, die besten Ergebnisse?

#### 4. Realisierung der Regelung mit den Ergebnissen der REGDELPH-Simulation

Der Regelverstärker ist als PIDT1-Regler mit Stufentiefe 2 mit den in der Vorbereitung ermittelten Werten aus dem geladenen Bodediagramm zu beschalten.

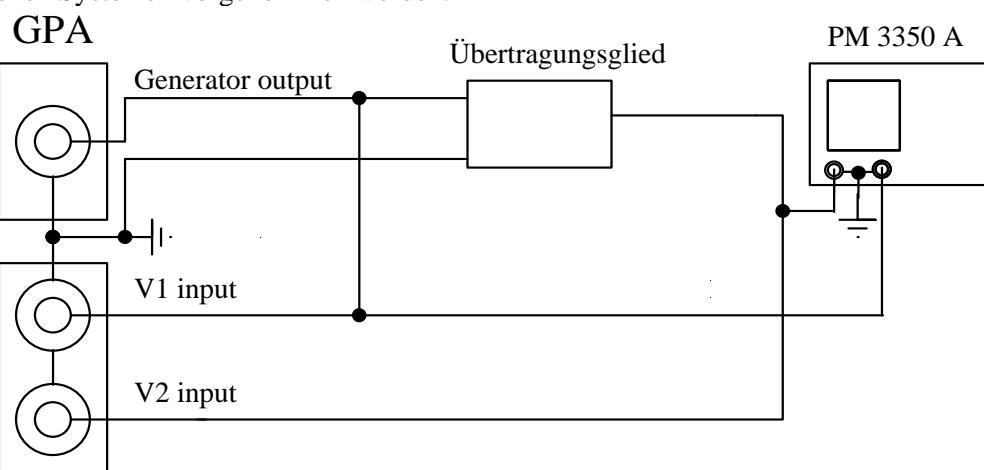
Die Reglerauslegung ist mit Sprungantworten für Führungs- und Störverhalten zu testen und zu dokumentieren. Vergleichen Sie die Ergebnisse mit den Ergebnissen des Wendetangenten-Verfahrens. (Also auch hier wieder PIDT1-Regler mit Stufentiefe 2)

Diskutieren Sie die Ergebnisse nach regelungstechnischen Gesichtspunkten.

### Versuch 3: Frequenzgang Messplatz - Gain Phase Analyser - (GPA)

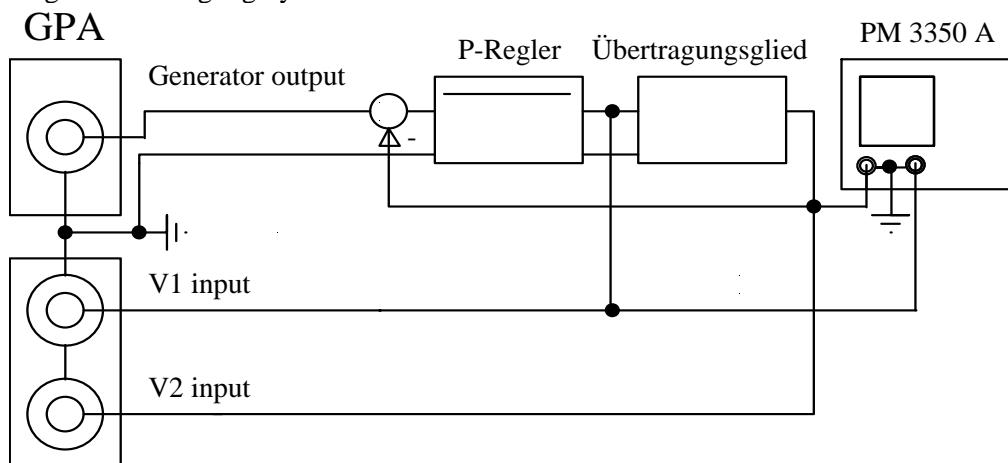
#### Einführung:

Der Frequenzgang Messplatz (Impedance/Gain-Phase-Analyser GPA Typ 1260) bietet eine Fülle von mikroprozessorgesteuerten digitalen und analogen Techniken, die vielfältige Impedanz und Frequenzgangmessungen ermöglichen. In diesem Versuch werden nur Frequenzgangmessungen (Bode-Diagramme) für einige Übertragungsglieder durchgeführt. Es können Messungen sowohl in offenen als auch in geschlossenen Systemen vorgenommen werden.



Messanordnung für Übertragungssysteme ohne I-Anteil

Bild 1



Messanordnung für Übertragungssysteme mit I-Anteil

Bild 2

Um eventuelle Übersteuerungszustände des Prüflings darzustellen, ist grundsätzlich ein Scope anzuschließen. Kommt es zu Übersteuerungen des Prüflings, so ist die Amplitude der Eingangsspannung (Volt-Output am GPA) zu verkleinern. Zeigt der GPA eine Übersteuerung an, so ist die zu untersuchende Schaltung mit 10÷1-Tastköpfen anzuschließen. Messungen sind nur im eingeschwungenen, nicht übersteuerten Zustand gültig.

Kurzhinweise zur Programmierung des GPA finden Sie auf Seite 10. Weitergehende Informationen finden Sie in der Bedienungsanleitung für den Gain-Phase-Analyser SI-1260, die ausgeliehen werden kann. Es wird erwartet, dass Sie in der Lage sind, alle relevanten Einstellungen des Gerätes selber vorzunehmen.

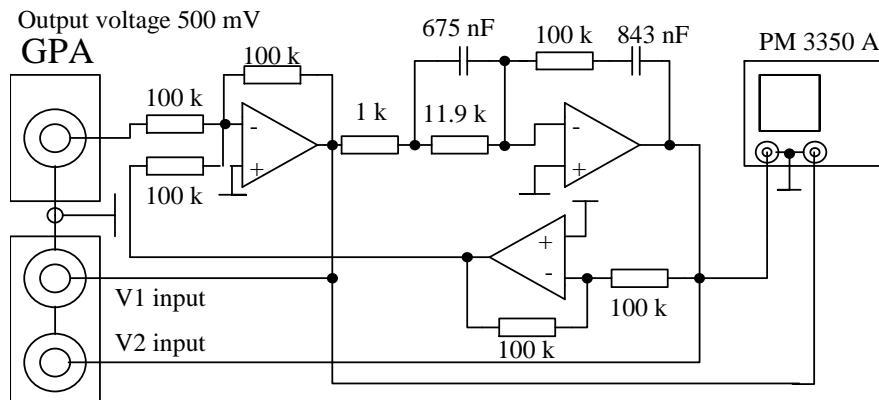
## Aufgabenstellung:

Für die nachfolgenden Schaltungen ist das Bode-Diagramm aufzunehmen. Die gemessenen Werte der Schaltungen 1. u. 2. sind mit den in der **Vorbereitung** berechneten und **handgezeichneten** Bode-Diagrammen fehlerkritisch zu vergleichen (4-dekabisches, einfachlogarithmisches Papier erhalten Sie in der FH-Druckerei). Da der GPA Betrag und Phase als  $f(f)$  und nicht als  $f(\omega)$  ermittelt, sollten Sie in Ihrer Vorbereitung Betrag und Phasenwinkel auch über der **Frequenz f** auftragen, um unnötige Umrechnungen zu vermeiden. Tragen Sie die erhaltenen Messwerte in das zu Hause **vorbereitete, handgezeichnete** Bode-Diagramm ein. Erklären Sie den Einfluss der OP-Kennwerte des μA741 (Transitfrequenz, slew-rate usw.) auf die Messergebnisse. Bestimmen Sie aus dem gemessenen Bode-Diagramm das Verstärkungs-Bandbreitenprodukt der Schaltung. Um welche Regelungstechnischen Übertragungsglieder handelt es sich bei den zu untersuchenden Schaltungen? Ermitteln Sie in der Vorbereitung die charakteristischen Daten der Übertragungsglieder.

Weiterhin sollen die gemessenen Daten der beiden Schaltungen mit dem Programm WINDF6 über eine serielle Schnittstelle in den Rechner eingelesen werden. In WINDF6 ist dann das jeweilige Daten-File, das der Theorie entspricht (*Pidt1v2.zk* und *Dt2v2.zk*), gemeinsam mit dem gemessenen Bode-Diagramm darzustellen, wobei die theoretischen und gemessenen Kurven für Betrags- und Phasenverlauf auf jeweils einem Blatt auszudrucken sind.

(Also 4 Blätter mit jeweils 2 Kurven; 1. Betrag: Theorie + Messung, 2. Phase: Theorie + Messung)

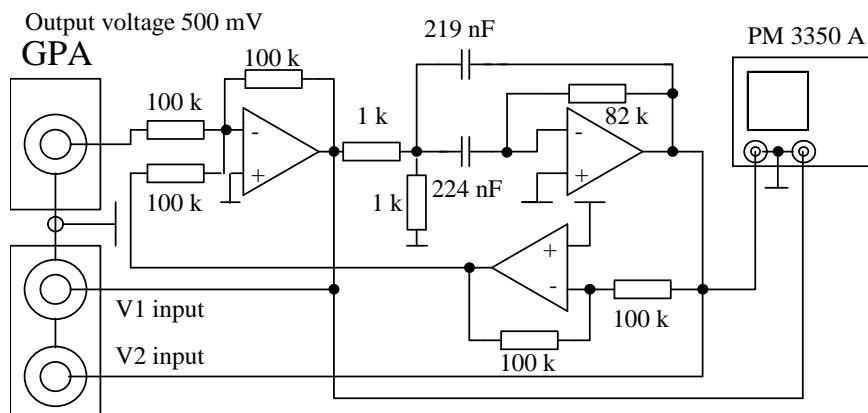
1.



Schaltung 1

Zu messender Frequenzbereich: 0.1 Hz - 10 kHz (5 Dekaden!!!)  
(kleben Sie 2 4-dekatische Logarithmenpapiere zusammen)

2.



Schaltung 2

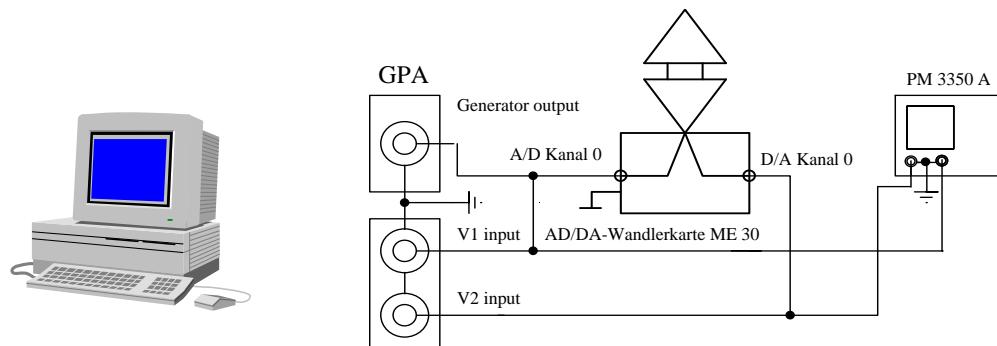
Zu messender Frequenzbereich: 1 Hz - 10 kHz (4 Dekaden)

## Hinweise zur GPA-Progamierung:

Programmieren Sie den GPA nach folgendem Schema:

- a. Generator:** Wählen Sie die Größe der Ausgangsspannung (500 mV) und die Start-Frequenz
- b. Display:** Art der gewünschten Darstellung (hier Anzeige:  $|F|$  in dB,  $\angle F$  in  $^{\circ}$ )
- c. Sweep:** Geben Sie als Startfrequenz die untere Frequenz ein, und wählen Sie die entsprechende Sweeprichtung up. Geben Sie die Anzahl der Messpunkte/Sweep vor. (Wählen Sie als Anzahl der Messpunkte einen Wert  $> 100$ . Sie ersparen sich damit u. U. eine neue Messung mit höherer Frequenzauflösung weil eventuell interessante Bereiche nicht gemessen und berechnet wurden.)
- d. Sweep-Limits:** Geben Sie untere und obere Frequenz Ihrer Berechnung als fmin und fmax ein.
- e. Recycle:** Betätigen Sie die RECYCLE-TASTE um eine automatische Messung zu starten. Nach Beendigung der Messung können die Messwerte aus dem Viewfile in das berechnete Bode-Diagramm übertragen werden, wobei aus der Menge der Messwerte nur die zu übertragen sind, die nach Ihrer Einschätzung bedeutsam sind.

### 3. Aufnahme und Analyse des Bodediagramms eines digitalen Filters



#### Aufgabenstellung:

Mit dem Frequenzgang Messplatz (GPA) Typ 1260 ist das Bode-Diagramm eines digitalen Filters aufzunehmen, das mit einem PC mit AD/DA-Karte realisiert ist. Das Filter ist mit einem idealen Algorithmus programmiert. Die Übertragungseigenschaften werden durch die z-Übertragungsfunktion festgelegt, deren Koeffizienten als Datenfile eingelesen werden können. Vergleichen Sie die Ergebnisse mit dem in der Vorbereitung erstellten Bode-Diagramm, indem Sie, zur besseren Übersicht, die gemessenen Werte (einige Punkte aus dem Viewfile des GPA mit Display) in das in der Vorbereitung erstellte Bode-Diagramm übertragen. Erklären Sie die Unterschiede. Danach sind die gemessenen Daten vom GPA mit WINDF6 seriell zum Rechner zu übertragen. Die theoretischen Kurven können auch mit WINDF6 erzeugt werden. Verfahren Sie so, wie bereits oben beschrieben.

Alle Gruppen sollen das Cauer-Tiefpassfilter CAUTP5 untersuchen. Dabei soll die Einerstelle der Gruppennummer die Eckfrequenz des digitalen Filters  $f_{EV}$  vorgeben:  
(d.h. Gruppe 9, 19, 29 wählt Filter 9 mit 65 Hz usw.)

0: 20 Hz	5: 25 Hz
1: 30 Hz	6: 35 Hz
2: 40 Hz	7: 45 Hz
3: 50 Hz	8: 55 Hz
4: 60 Hz	9: 65 Hz

Die Abtastfrequenz des digitalen Filters während des Versuchsablaufes soll immer fest bei  $f_{OV}=1\text{kHz}$ ,  $T_{OV} = 1\text{ms}$  liegen. Alle für diesen Versuch nötigen Datenfiles sind auf [ssl.studpub.fh-luebeck](http://ssl.studpub.fh-luebeck.de) im Verzeichnis:

.../stuhre/Regelungstechnik/ESA – KIM Bachelor/ Versuch 3BAD NEWS+++ verfügbar.

Das Programm WINDF6 befindet sich im Verzeichnis bayerlej/Windf6\_solo.

Alle notwendigen Informationen zur Bedienung der Programme sind in dem *ManualWindf6.doc* von Prof. Dr. Bayerlein zu finden. Eine Einführung in digitale Filter wird in der Datei *Einführung in digitale Filter.doc* angeboten. Diese Einführung ist vor dem Versuch durchzulesen.

### Vorbereitung:

In der Vorbereitung soll das digitale Filter ausgehend von dem analogen Filter mit den Koeffizienten aus dem Datenfile CAUTP5.ZK mit dem Programm WINDF6 entworfen werden. Das analoge Filter hat dabei die Eckfrequenz  $\omega_{EE}$  genau bei  $\omega_{EE}=1/s$ . Die bei dem Entwurf mit der bilinearen Transformation (Trapezapproximations -Verfahren mit WINDF6) benutzte Abtastzeit  $T_{OE}$  muss dabei nicht gleich der beim Versuch benutzten Abtastzeit  $T_{OV}$  (run-time) sein. Beim Entwurf wird lediglich das Verhältnis von Abtastfrequenz zu Eckfrequenz festgelegt und dies bleibt dann immer gleich.

Beispiel: Es soll ein Tiefpass mit 100 Hz entworfen werden. Also Entwurfs-Eckfrequenz  $f_{cd} = 100 \text{ Hz}$  bei  $T_0 = 1 \text{ ms}$  Laufzeit in WINDF6.

Original Analog-Eckfrequenz  $f_{ca} = 0,159 \text{ Hz}$  in Cautp5.zk.

Das Filter muss zur Laufzeit also  $100/0,159 = 628,3$  mal schneller abgespielt werden als zur Entwurfszeit, d.h. Entwurfsabtastzeit  $T_0 = 628 \text{ ms}$  im Menüpunkt AtoD.

Die Abtastzeit  $T_{OE}$  wird dazu bei dem Entwurfsprogramm Programm (Menütaste AtoD) eingegeben. Dann sind zwei Bode-Diagramme mit dem Programm WINDF6 zu erzeugen. Einmal soll Betrag und Phase linear von 1Hz (Anfangskreisfrequenz  $\omega = 6.28$ ) bis zur doppelten Abtastfrequenz von 2kHz (Endkreisfrequenz  $\omega = 12570$ , entspricht 4 Dekaden) mit 1000 Punkten aufgetragen werden. Man soll jetzt die Periodizität des Frequenzbereiches erkennen (**Achtung:  $T_0$  Laufzeit = 1ms nicht vergessen**).

Zum anderen soll jetzt eine logarithmische Darstellung gewählt werden, Startkreisfrequenz=6.283, Endkreisfrequenz=6283, Punkte=1000. Dies entspricht genau den im Versuch benutzten Frequenzen 1Hz bis 1 kHz. Es ist natürlich vorher die im Versuch benutzte Abtastzeit  $T_{OV}=0.001\text{s}$  einzugeben!! Bei der logarithmischen Darstellung ist auf der Abszisse übrigens nicht  $\omega$ , sondern der Exponent zur Zahl 10 der Kreisfrequenz aufgetragen, so bedeutet z.B. -1:  $\omega = 0.1$ . Bei welchen Frequenzen liegen genau die beiden Nullstellen des Filters? Bitte markieren Sie in den Bode-Diagrammen die Shannon-Grenze (halbe Abtastfrequenz).

Eine Diskette/ Datenträger mit den in der Vorbereitung entworfenen Daten des digitalen Filters ist zum Versuch mitzubringen (mit WINDF6 selbst erzeugtes File CAUTP5.FZ!!!)

### Durchführung:

Das digitale Filter wird mit dem Programm WINDF6 realisiert.

**Zur Erzielung einer höheren Messgenauigkeit ist für diesen Versuchsteil die „Integration Time“ des GPA auf 1s zu setzen. Die Signalamplitude sollte 3 Veff betragen.**

Bevor das digitale Filter gestartet wird, ist eine AD/DA-Karte auszuwählen.

Mit dem Button RUN kann das digitale Filter im Digital-Filter-Fenster gestartet werden. Der GPA wird mit AD-input Channel 0 und DA output Channel 0 verbunden. Stellen Sie Eingangs- und Ausgangs-Signal auf dem Scope dar, um Abtaststufen, Phasenverschiebung zwischen Ein- und Ausgangssignal und Aliasing (tritt auf wenn die Signalfrequenz die Shannon-Grenze von 500 Hz übersteigt) anzuzeigen. Verwenden Sie beim Scope gleiche Y-Empfindlichkeiten. Die gemessenen GPA-Daten werden seriell in den Rechner übertragen, und können dort mit WINDF6, zusammen mit den theoretischen Kurven dargestellt und gedruckt werden.

Es ist jeweils das Ein- sowie das Ausgangssignal (Treppenkurven!!) zu oszillografieren und auf Übersteuerung zu achten. Der Spannungsbereich der Wandlertkarte ist  $\pm 10V$ . (Unter Umständen ist der GPA mit  $10\div 1$ -Tastköpfen anzuschließen.) Der Frequenzsweepbereich soll 3 Dekaden von 1 Hz bis 1 kHz betragen. Nach erfolgter Messung soll das Bode-Diagramm ausgedruckt werden. Wo liegen die gemessene Eckfrequenz sowie die beiden Nullstellen? Dann ist der GPA noch einmal fest auf 990 Hz zu stellen. Was für ein Signal beobachtet man am Ausgang des digitalen Filters? Welche Frequenz hat es? Der 1V Impuls an DA Ausgang 1/ B ist zu oszillografieren. Wie groß ist die echte Abtastzeit, wie groß die Rechenzeit ?

### Ausarbeitung:

Es ist der gemessene Verlauf und die theoretische Kurve in einem Diagramm darzustellen. Dann sind beide Kurven fehlerkritisch zu vergleichen. Woher kommt der zu beobachtende Phasenunterschied bei steigender Frequenz? Bestimmen Sie die Rechenzeit des Rechners bei einer Messfrequenz von 200 Hz.

## Versuch 4: Drehzahlregelung mit LabVIEW

### Vorbereitung

Eine erfolgreiche Durchführung dieses Versuches erfordert grundlegende Kenntnisse der Programmoberfläche und der Funktionen des Programms LabVIEW von National Instruments. Um sich mit dem Programm vertraut zu machen, laden Sie sich die folgende pdf-Datei von ssl.fh-luebeck.de herunter:

**Pfad: ...bayerlej/RTP/Dokumente/ Labview1steps.pdf**

Dies ist eine Original NI-Einführung in LabVIEW. Sie müssen sich auf jeden Fall vor der Versuchsdurchführung mit den Kapiteln 1-3 auseinandergesetzt haben. Dazu erhalten Sie von uns eine Evaluation-Version des Programms LabVIEW (30 Tage lauffähig, unter der Voraussetzung, dass es sich um eine Erstinstallation auf Ihrem Rechner handelt), oder Sie erwerben zum Sonderpreis von 6,00€(Originalpreis 30,00€) eine Studentenversion des Programms (ohne zeitliche Befristung), und bearbeiten zu Hause die im Tutorial angegebenen Schritte. Wenn wir feststellen, dass Sie überhaupt nicht mit den Grundfunktionen des Programms vertraut sind, dürfen Sie den Versuch nicht durchführen.

### Durchführung :

Zuerst muss ein Echtzeit-Projekt erstellt werden:

Auf der LabVIEW Startseite „Erste Schritte“:

**Ziele** → Echtzeit-Projekt → Start

nächste Seite → „Project name“ eingeben → Weiter

nächste Seite → Weiter

nächste Seite → Browse... → Real-Time CompactRIO expandieren → cRIO-Nr... markieren → OK

nächste Seite → Continue (warten )

nächste Seite → Weiter

nächste Seite → Open VIs when finished –Haken entfernen– → Beenden

Analoge Eingangs- und Ausgangskanäle sind vorhanden unter:

cRIO-Nrxx(193.175..126.xx) (expandieren)

Chassis (cRIO-9074)

MOD1 (Slot1, NI 9201) (expandieren) → Analog Inputs

MOD2 (Slot2, NI 9263) (expandieren) → Analog Outputs

AI0 – AI7

AO0 – AO3

## Timing Test des PXI Target:

Zuerst sollen Sie die AD/DA- Module und das Timing des compactRIOs getestet werden. Dazu schließen Sie bitte an den AD- Eingang Kanal **A10** einen Sinus- Generator und an den DA- Ausgang **AO0** ein Digitalscop an. Zusätzlich Generator Signal an zweiten Scop-Kanal anschließen. Erstellen Sie hierzu folgendes VI unter cRIO-Nrxx(193.175.126.xx):

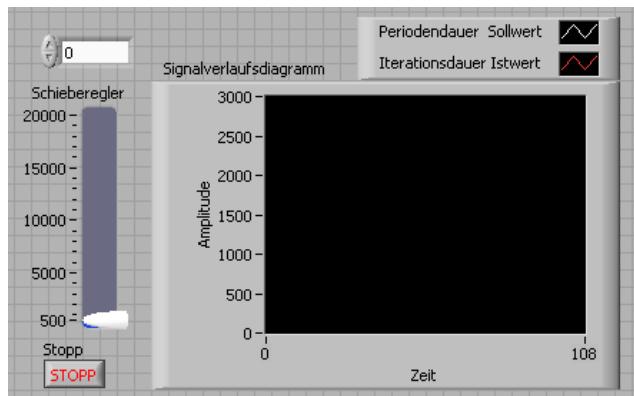


Bild 5.1 TimingTest.vi Frontpanel

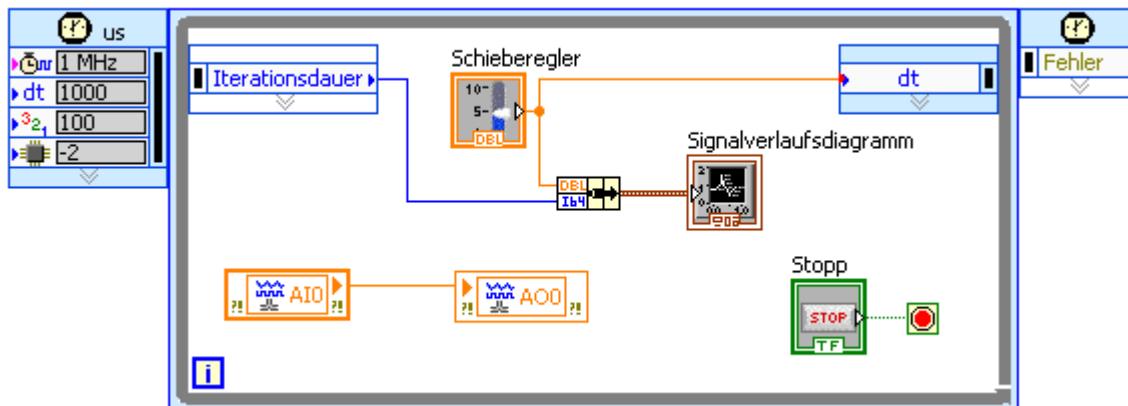


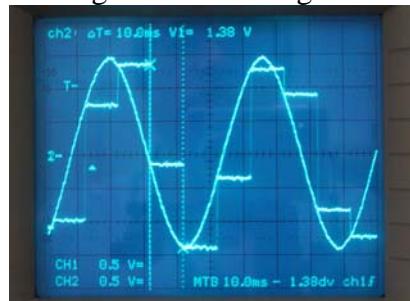
Bild 5.2 TimingTest.vi Blockdiagramm

Hinweise:

1. Zeitgesteuerte Schleife aus Funktionen → Programmierung → Strukturen → Zeitgesteuerte Strukturen
2. Doppelklick auf linken äußeren Datenknoten → Quellentyp auf *1-MHz-Takt* ändern
3. Rechtsklick auf linken inneren Datenknoten → Ausgang auswählen → Iterationsdauer
4. Rechtsklick auf rechten inneren Datenknoten → Eingang auswählen → Periodendauer (dt)
5. AI0 und AO0 mittel drag 'n' drop aus dem Projekt-Explorer kopieren
6. Bündeln aus Funktionen → Programmierung → Cluster, Class und Variant

Achtung: beim Schieberegler unbedingt Skalenbereich: Minimum =**500** einstellen  
(bei kleineren Periodendauern kommt es sonst zum Absturz des compactRIOs)

Als Ergebnis sollte folgendes ähnliches Bild zu sehen sein:



Variieren Sie die Periodendauer und die Signalfrequenz.  
Dokumentieren, messen und diskutieren Sie den  
Zusammenhang zwischen  
Periodendauer (Abtastzeit), Sinus-Signalfrequenz und D/A  
Wandler-Ausgangssignal.

Bild 5.3 Scop

Nun sollen Sie die AD/DA- Karten und das Timing eines Windows PCs, Ihres Arbeitsplatzrechners, getestet werden. D.h., im Gegensatz zum compactRIOs (kein Betriebssystem –Programm läuft direkt auf einer PC-Hardware) läuft hier unsere LabVIEW Anwendung als eine von vielen anderen unter dem Windows Betriebssystem.

Erstellen Sie hierzu folgendes VI unter Mein Computer:

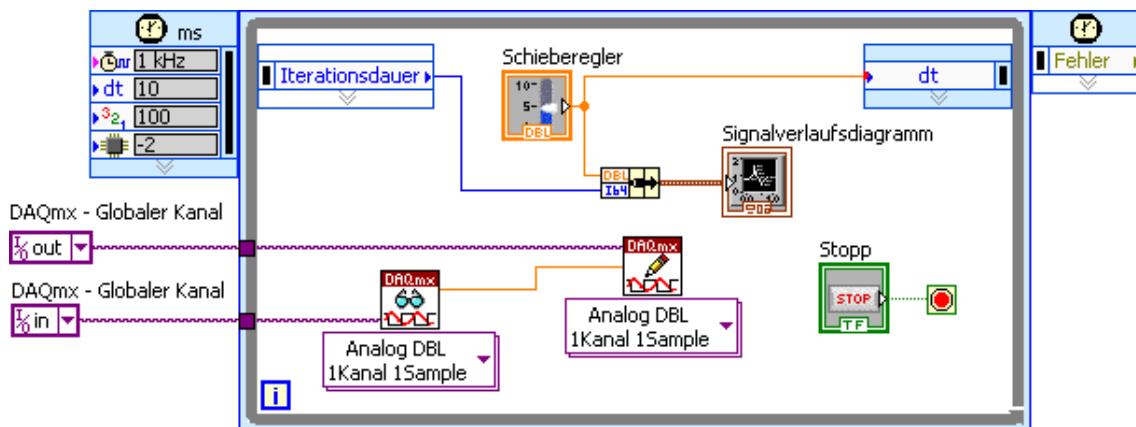


Bild 5.4 TimingTestWin.vi Blockdiagramm

Das Frontpanel wie beim ersten TimingTest.

Hinweise:

- beim Schieberegler Wertebereich , Max. = 100 und Min. = 2

Zum Einrichten der analogen Eingangs- und Ausgangskanäle auf dem Windows PC :

Rechtsklick auf Mein Computer → Neu → NI-DAQmx-Kanal

1. Signale erfassen → Analoge Erfassung → Spannung → ai0 → Weiter → Namen eingeben:  
... → Beenden  
Schaltungsart → Schaltungsart ändern: RSE → Signaleingangsbereich auf Max. 10V und Min. -10V ändern → OK
2. Signale erzeugen → Analoge Ausgabe → Spannung → ao0 → Weiter → Namen eingeben:  
... → Beenden  
Schaltungsart und Signalausgangsbereich beachten, ggf. ändern → OK
3. DAQMX -globaler Kanal, -lesen, -schreiben aus Funktionen → Mess I/O → DAQmx Datenerfassung

Verdrahten Sie nun die AD/DA-Karte Ihres Arbeitsplatz PCs an den Sinus-Generator und dem Digitalscope.

Variieren Sie nun ebenfalls die Periodendauer und die Signalfrequenz.

Starten Sie andere Anwendungen oder verschieben Sie Ihre auf dem Desktop, stressen Sie den PC. Dokumentieren, messen und diskutieren Sie den Zusammenhang zwischen Periodendauer (Abtastzeit), Sinus-Signalfrequenz und D/A Wandler-Ausgangssignal. Welche Einflüsse des Windows-Betriebssystems können Sie feststellen?

## Identifizierung einer Motor- Generatorstrecke :

Zur Identifizierung einer Motor- Generatorstrecke wird zuerst die Sprungantwort der Strecke aufgenommen.

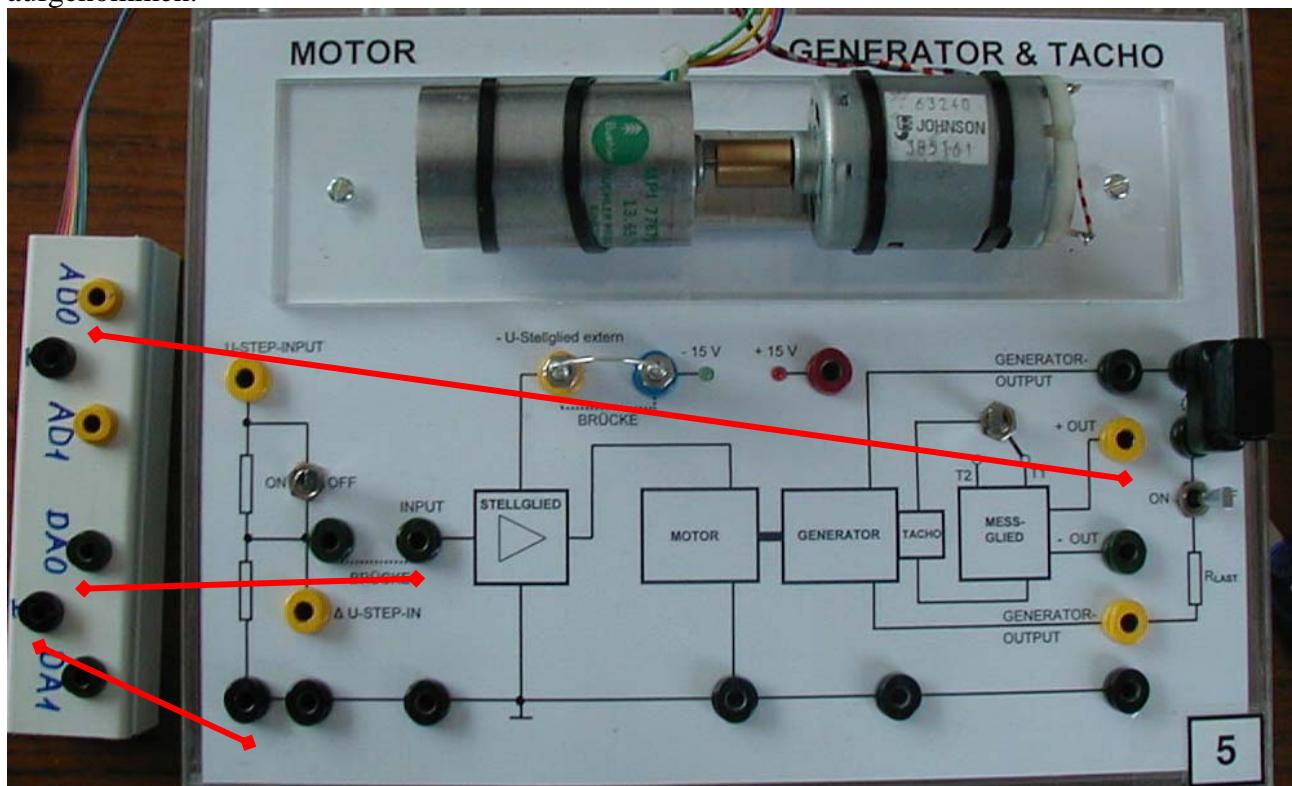


Bild 5.4      Beschaltung der Hardware

Dann gebe man folgendes VI in LabVIEW ein:

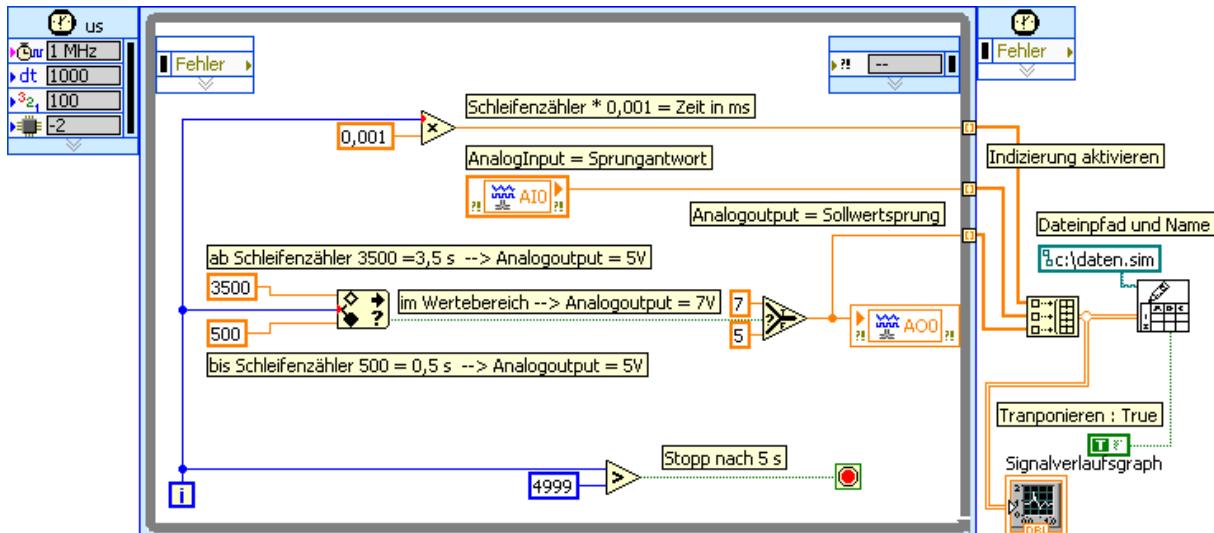


Bild 5.5      Sprungantwort aufnehmen.vi Blockdiagramm

Hinweise:

1. Rechtsklick auf Ausgangstunnel der Zeitschleife → Indizierung aktivieren
2. In Tabellenkalkulationsdatei schreiben aus Funktionen → Programmierung → Datei-I/O
3. „Auswählen“ und „Wertebereich prüfen und erzwingen“ aus Funktionen → Programmierung → Vergleich

Der Schleifenzähler  $i$  wird zur Zeitsteuerung genutzt. Bei einer Periodendauer von 1ms entspricht:  $i = 500 \Rightarrow 0,5\text{s}$  (Sprung von 5V auf 7V),.....,  $i = 4999 \Rightarrow 5,0\text{s}$  (Schleifenabbruch)

Jetzt wird die Messung zweimal durchgeführt. Man erkennt einen sprungförmigen Motorspannungsverlauf von 5 auf 7V. Wichtig ist, dass die Generatorausgangsspannung nicht die 10 V erreicht. Gegebenenfalls den Sollwert verkleinern. Nach der 2. Messung erhält man etwa folgendes Bild im Frontpanel:

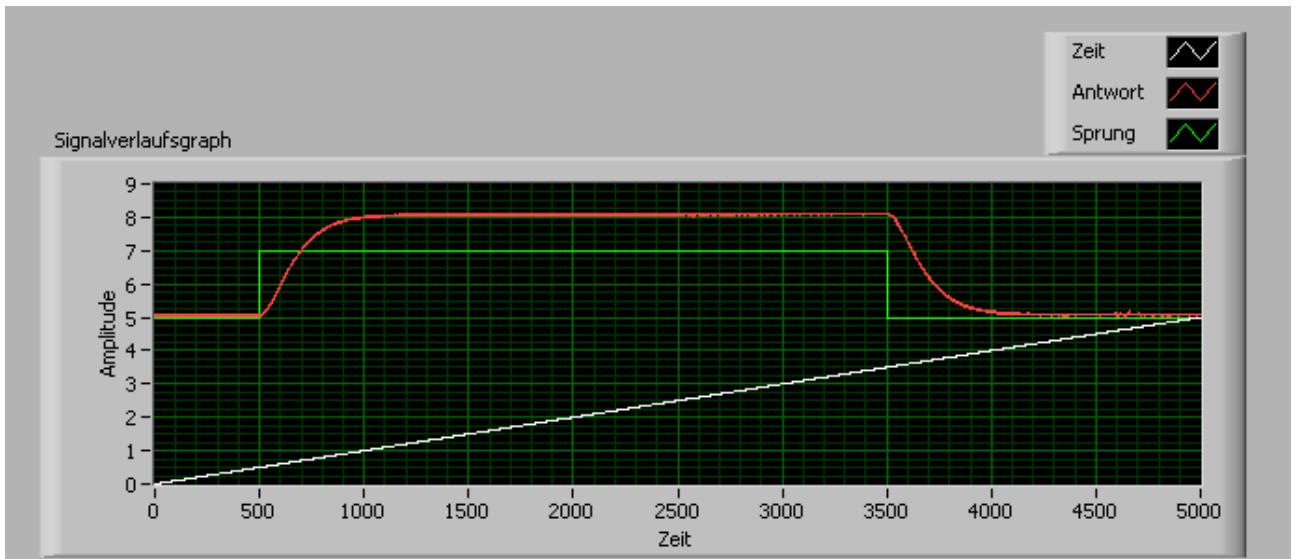


Bild 5.6 Sprungantwort aufnehmen.vi Frontpanel

Der Graph wird erst beim Programmende dargestellt. Der Sollwert wird durch den Schleifenzähler manipuliert: ist  $i < 500$  oder  $> 3500$  dann ist der Sollwert = 5V, ansonsten 7V. Eine Zeitspalte muss extra generiert werden ( $i * \text{Periodendauer}$ ). Die Zeit-, Antwort- und Sprungwerte werden während der Schleifendurchläufe im indizierten Ausgangstunnel gesammelt, und nach der Beendigung im Signalverlaufsgraph angezeigt und in eine Tabellenkalkulationsdatei geschrieben.

Achtung: Die Tabellenkalkulationsdatei befindet sich auf dem cRIO.

Pfad: Arbeitsplatz\Netzwerkumgebung\cRIO Nr. ...\\....

Öffnet man jetzt mit einem Editor aus dem oben gewählten Pfad die Datei , so erkennt man die eben gemessenen Messdaten als ASCII – Daten in drei Spalten, jeder Messpunkt in einer Zeile. Die Sprungantwort des Motors ist jetzt also als Datenfile verfügbar.

Zeit	Antwort	Sprung
0.000	5.233	5.000
0.001	5.217	5.000
0.002	5.212	5.000
0.003	5.227	5.000
0.004	5.197	5.000
0.005	5.238	5.000
0.006	5.217	5.000
0.007	5.212	5.000
0.008	5.233	5.000
0.009	5.197	5.000
0.010	5.238	5.000
0.011	5.217	5.000
0.012	5.217	5.000

Bild 5.7 ASCII –Datei

Da wir z. Zt. die Identifikationsmöglichkeiten von LabVIEW noch nicht ergründet haben, wird diese jetzt mit dem Programm WINDF6 durchgeführt. Es muss eine Version mit der Nummer WINDF627 oder höher sein, nur damit kann man eine daten.sim-Datei einlesen.

Also Start WINDF627.exe, Menu →Identifikation→Regression über f(t). Laden einer Datei, dann sieht man folgendes Bild:

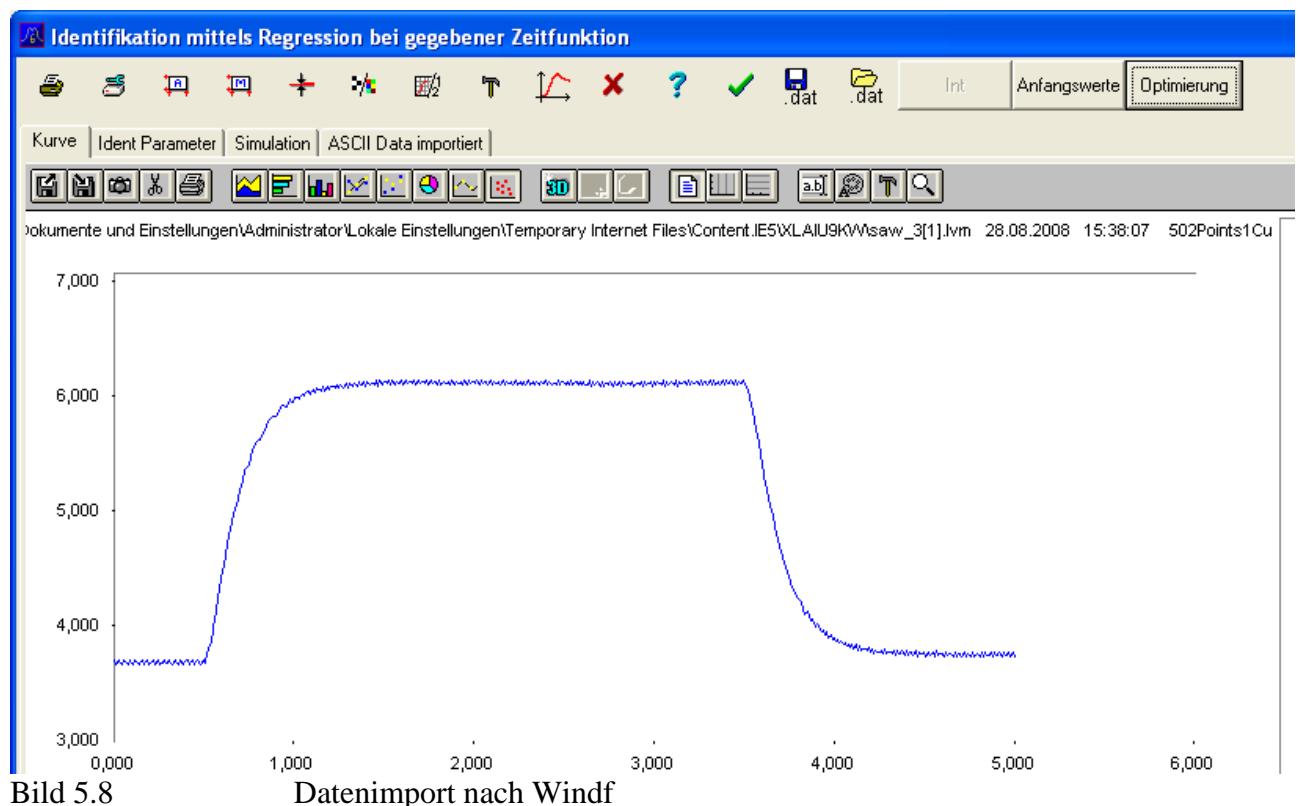


Bild 5.8 Datenimport nach Windf

Da dieses Programm Sprungantworten identifiziert, muss der rechte Teil des Abwärtsverlaufes abgeschnitten werden. Dies geschieht mit Doppelklick auf den letzten Punkt der Sprungantwort. Danach sieht die Kurve so aus:

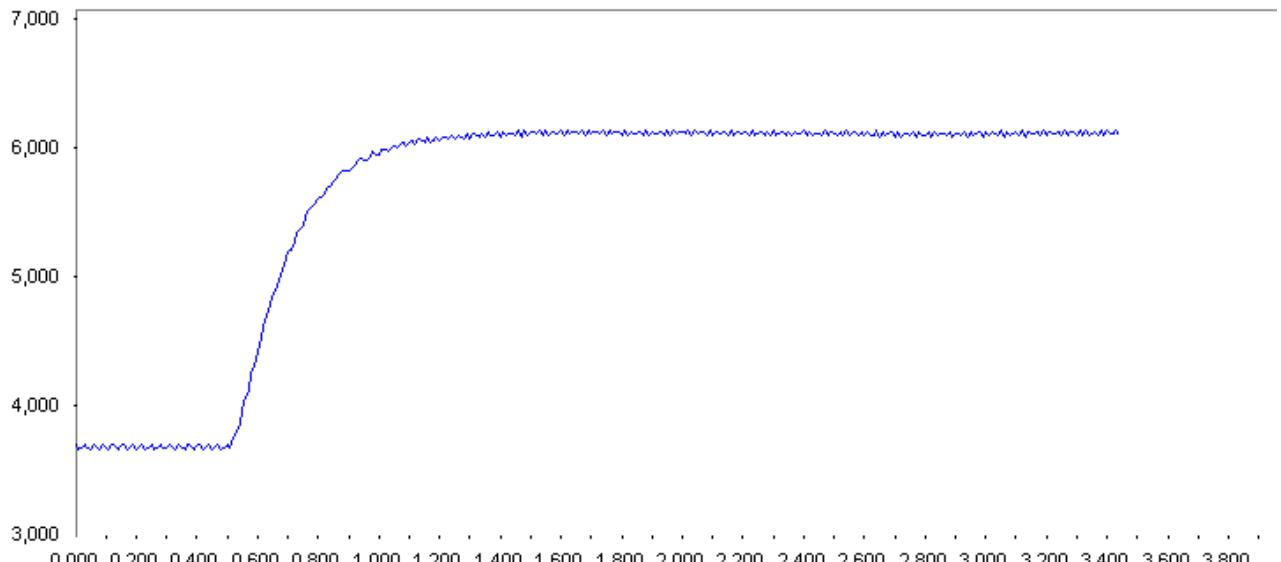


Bild5.9 Datenimport nach Zuschnitt

Jetzt gebe man auf der Seite „Ident Parameter“ folgende Startwerte ein:

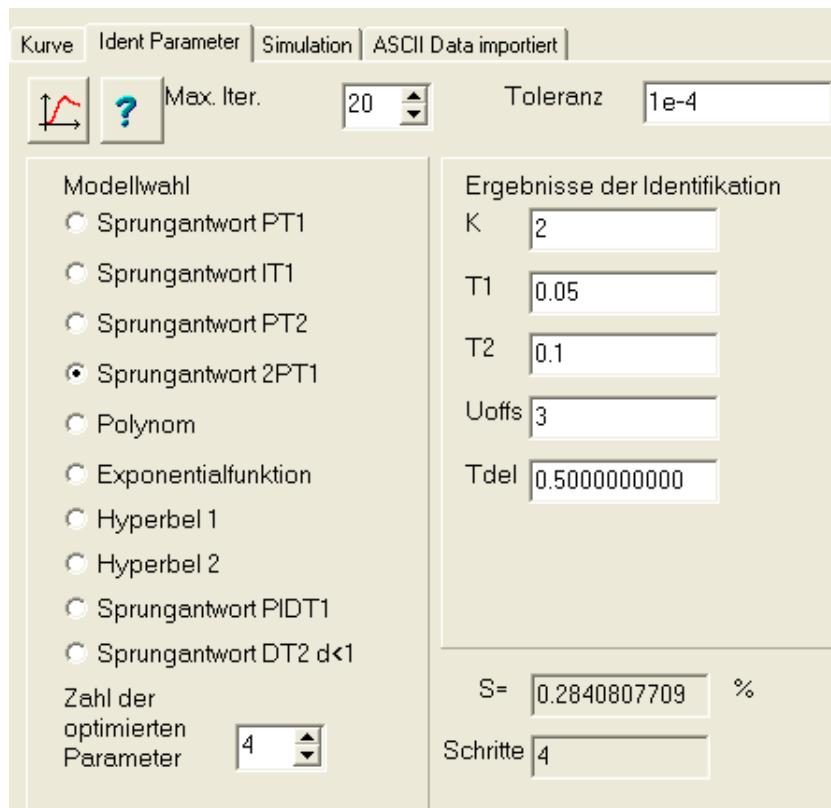


Bild 5.10

Ident Parameter

Wichtig: Bei Tdel muss 0.5s stehen, da zu diesem Zeitpunkt der Sprung erfolgte. Dann sollte nach einem Klick auf die Taste „Optimierung“ ein Modell erkannt werden. Die Modelfunktion liegt als rote Kurve hinter der Messkurve und ist manchmal komplett durch die Messkurve verdeckt. Die Daten unter der Kurve geben nun die Modellwerte wieder. Bei mir sieht es so aus:

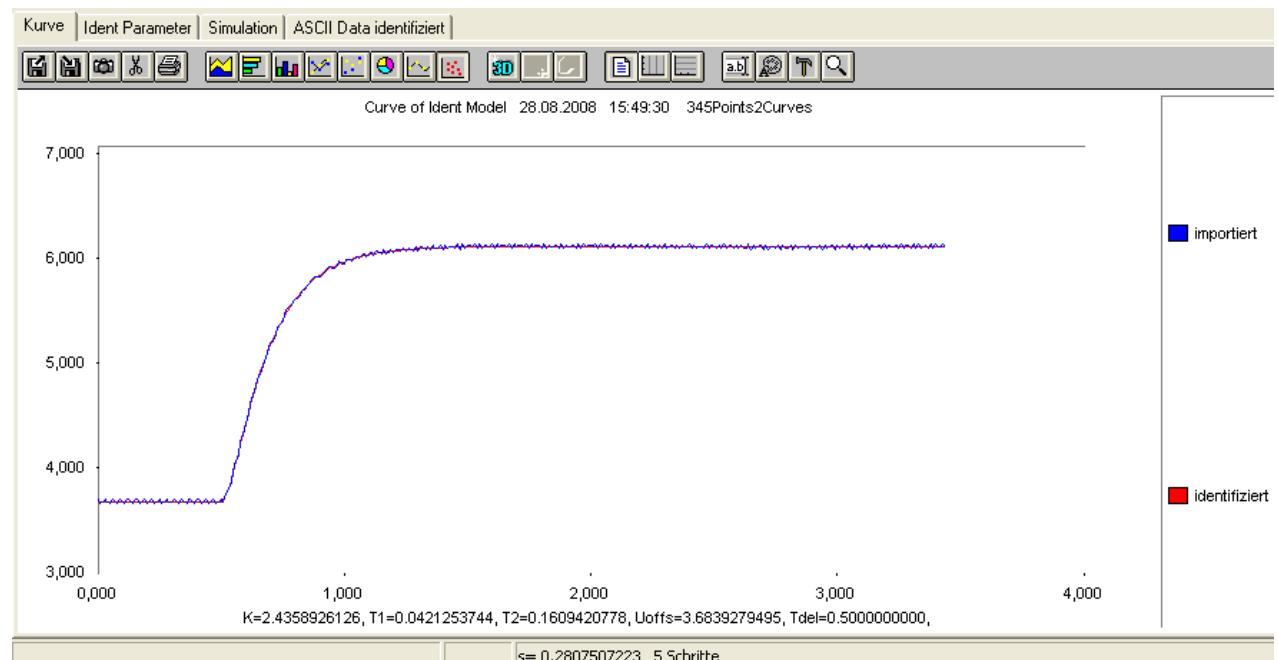


Bild 5.11

Identifizierungsergebnis

Die rote Kurve ist kaum zu sehen, die Parameter aber sind plausibel, die Fehlerquadratsumme (siehe Status Bar) ist auch sehr niedrig ( $s=0.281$ ), die Identifikation ist gelungen.

Der gemessene Motor-Generatorsatz ist also bei der Messung als 2PT1-Modell mit den Daten  $K= 2.44$ ,  $T_1=0.042$  sec und  $T_2=0.161$  sec identifiziert worden. Die 0,50 sec Totzeit gehören **nicht** zur Stecke!!! Nun muss das K noch durch Zwei dividiert werden, da die Sprungantwort mit einem 2V- Sprung aufgenommen wurde, die Identifikation davon aber nichts weiß. Sie erwartet einen Einheitssprung. Also K bei mir  $K=1.218$ .

### Reglerauslegung:

Da Sie sich gerade sowieso in WINDF6 befinden, kann das Programm auch gleich einen PIDT1-Regler und einen PI-Regler auslegen. Verlassen Sie die Identifikation mit der grünen Pfeiltaste und gehen Sie in das Menü „Regler-Entwurf→Blitzreglerentwurf“. Dort ignorieren Sie die Totzeit und erhalten bei  $60^\circ$  Phasenreserve ein Ergebnis für den PI- Regler und den PIDT1-Regler. Die Stufentiefe sollte für eine Abtastzeit von  $To=10$  ms gewählt werden zu  $st=1+ T_v/To$ , also bei meinen Zahlen  $st=5.2$ . Bei mir sehen die Zahlen dann so aus:

PI

PIDT1

Strecke: 2PT1		Strecke: 2PT1	
$K_s$	1.21795	$K_s$	1.21795
$T_1$	0.0421253744	$T_1$	0.0421253744
$T_2$	0.1609420778	$T_2$	0.1609420778
<b>Entwurfs-Parameter</b>			
Dämpfung des geschlossenen Kreises			
$d$	0.6123724357	$d$	0.6123724357
$ue$	0.08773211934	$ue$	0.08773211934
$phir$	60	$phir$	60
<b>Schnelligkeit des geschlossenen Kreises</b>			
$w_o$	19.38253588	$w_o$	100.7891866
$st$	1	$st$	5.2
$K_r$	2.091245942	$K_r$	10.8744789
$t_{max}$	0.2050214343	$t_{max}$	0.03942719889
$K_{rst}$	2.091245942	$K_{rst}$	56.54729027

Bild 5.12 Blitzreglerauslegung

Diese Zahlen notieren und gleich geht es wieder weiter mit LabVIEW.

In dem Real-Time-Modul gibt es einen PID- Regler, der jetzt verwendet werden soll. Er will die Daten aber als Summenform haben, deswegen müssen die PIDT1-Daten noch in die Summenform- parameter konvertiert werden. Dies kann auch schnell in WINDF6 durchgeführt werden. Im Menü „Reglerentwurf→ K, T--> p,q werden diese Parameter berechnet (nur beim PIDT1 nötig).

$K_r$	10.8744789	$K$	13.72079169357946
$T_N$	0.1609420778	$T_i$	0.2030674522
$T_v$	0.0421253744	$T_D$	0.03338866640364205
$st$	5.2	$T_1$	0.008101033538461538

Bild 5.13 Koeffizientenberechnung

Geben Sie jetzt folgendes VI ein:

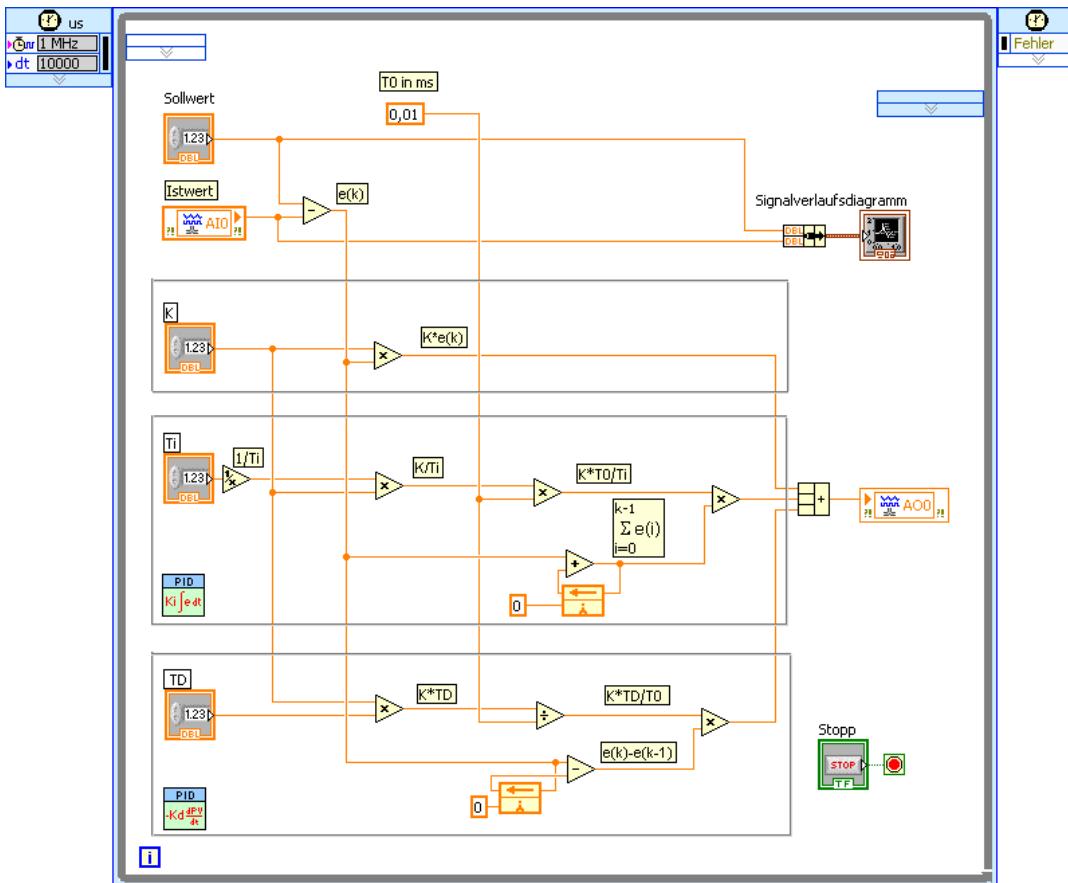


Bild 5.14 Regler.vi Blockdiagramm

Hinweise:

1. Doppelklick auf linken äußeren Datenknoten → Quellentyp und Periode ändern ( $T = 10\text{ms}$ )
2. Rückkopplungsknoten aus Funktionen → Programmierung → Strukturen

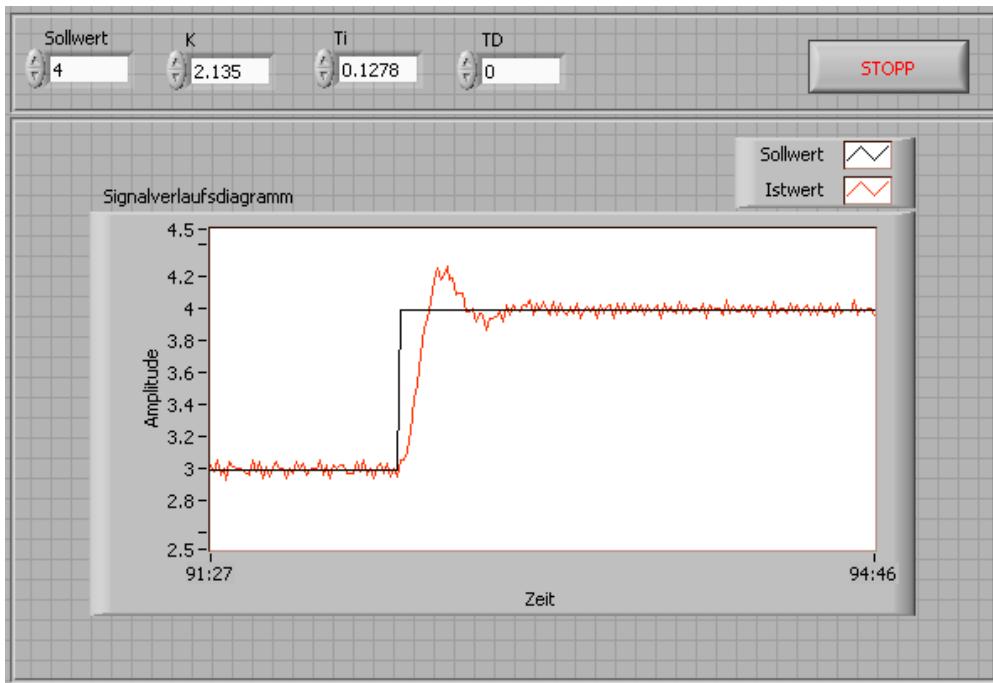


Bild 5.15 Regler.vi Panel

Zu sehen sind Soll- und Istwert eines 3-4V Sprungverlaufes in einem Zeitfenster von 5 sec.

Ermitteln Sie jetzt obiges Bild (Führungssprungantworten) sowohl für den PI als auch für den PIDT1- Regler. Beim PI- Regler muss die Zeit Td auf Null gesetzt werden!



Zusätzlich nehmen Sie bitte auch noch für beide Regler PI und PIDT1 die Störsprünge auf. Dazu arbeiten Sie mit konstantem Sollwert und erzeugen Störsprünge mit dem Lastschalter auf dem Motor- Generator- Satz.

Alle Vorgänge sollten gleich online mit screen-shots in Word dokumentiert werden.

Alle Ergebnisse sollen unter regelungstechnischen Gesichtspunkten kommentiert werden.

Bild 5.16 Belastungsschalter