

Inhalt

- 1. Aufgabe.....1
- 2. Größen, Einheiten, Definitionen.....1
- 3. Grundlagen.....2
 - 3.1. Gründe für schaltende Regelung.....2
 - 3.2. Verwendete Reglertypen.....3
 - 3.3. Die J-BCASE Versuchsumgebung.....8
- 4. Versuchsvorbereitung.....11
 - 4.1. Versuchsbedingungen.....11
 - 4.2. Versuchsprotokoll.....14
- 5. Versuchsdurchführung.....15
 - 5.1. Einfache Temperatur-Regelung.....15
 - 5.2. Verbesserte Temperatur-Regelung.....17
 - 5.3. Schaltende Neigungs-Regelung.....17
- 6. Versuchsauswertung.....19

Contents

- Scope.....1
- Variables, units, definitions.....1
- Basics.....2
 - Reasons for switching control.....2
 - Used controller types.....3
 - The J-BCASE Test-Environment.....8
- Exercise preparation.....11
 - Exercise conditions.....11
 - Exercise protocol.....14
- Exercise performance.....15
 - Simple temperature control.....15
 - Advanced temperature control.....17
 - Switching slope control.....17
- Exercise evaluation.....19

1. Aufgabe

Die Aufgabe des Laborversuchs "Schaltende Regelung" besteht im Kennenlernen und praktischen Erproben einfacher Regelungsvorgänge mit schaltenden Regeleinrichtungen. Die dabei gewählten Beispiele und Aufgabenstellungen wurden bewusst einfach gehalten und dem täglichen Erfahrungsbe- reich entlehnt, um einen gewissen Grad von Voll- ständigkeit hierbei erzielen zu können.

Scope

The aim of the exercise 'switching control' is to get knowledge and experience in simple control mechanisms by using switching controller units. The chosen examples and exercise targets have their fo- cus on simplicity and as well on daily experience.

2. Größen, Einheiten, Definitionen

Variables, units, definitions

Dargestellte Größe	Zeichen mark	Einheit unit	variable usage
Neigungswinkel	β		Slope, angle of inclination
Neigungswinkel	β, β_{soll}	$^{\circ}$	slope, angle of inclination
Spezifische Wärmekapazität	c_p	$\text{kJ/kg/}^{\circ}\text{C}$	specific heat capacity
Temperatur Überschwingweite, Unterschwingweite	$\Delta\vartheta_{over}, \Delta\vartheta_{under}$	$^{\circ}\text{C}$	temperature overshooting, -undershooting
Temperatur	$\vartheta_{fluid}, \vartheta_{soll}$	$^{\circ}\text{C}$	temperature
Verlust-Koeffizient	k_1	$\text{J/s/}^{\circ}\text{C}^2$	loss coefficient
Masse	m	kg	mass
Anzahl der Simulationsschritte	N_{step}	-	number of simulation steps
Elektrische, thermische Leistung	$P_{heiz}, P_{verlust}$	W, J/s	electrical, thermal performance

Dargestellte Größe	Zeichen mark	Einheit unit	variable usage
Zeitkonstante	T_1	s	time constant
Periodendauer	T_{cycle}	s	period length
Simulationsschrittweite	T_s	s	simulation step size
Sollwert	w	-	set point
Wärmemenge	W_m	J, Ws	heat quantity
Regelgröße	x	-	control variable
Regeldifferenz (w-x)	x_d	-	control difference
Hysteresebreite	X_{sd}	-	hysteresis width
Schaltschwelle	X_{sh}	-	threshold
Regelabweichung (x-w)	x_w	-	control deviation
Stellgröße	y	-	manipulating variable

3. Grundlagen

Im Folgenden werden nochmals kurz die notwendigen Grundlagen zur Bearbeitung des Laborversuchs dargestellt, wobei kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben werden kann. Bedingt durch den begrenzten Umfang einer Versuchsbeschreibung muss teilweise auf eine vertiefte Darstellungen verzichtet werden, sofern sie nicht unbedingt zur Bearbeitung notwendig ist.

Es sei hierfür auf die einschlägige Literatur oder maßgebliche Vorlesungsunterlagen verwiesen.

3.1. Gründe für schaltende Regelung

Warum, kann man fragen, verwendet man überhaupt schaltende Regelvorgänge, wo doch die Theorie von stetigen und insbesondere linearen Regelvorgängen mathematisch einfacher zu beschreiben ist und weitgehend bekannt ist ?

Wichtigster Grund ist zweifelsfrei die Ausführung des Stellorgans, welches sich oftmals als schaltende Einrichtung wesentlich kostengünstiger realisieren lässt.

Nehmen wir beispielsweise eine elektrische Drehstrom-Heizmanschette zur Temperierung eines Plastifizierzylinders, der eine Nennleistung von 20 kW habe. Dann ist es wesentlich billiger, diese über einen Drehstrom-Schütz jeweils nur An- oder Auszuschalten, um eine gewisse Heizleistung zu erzielen, als ein teures Thyristor-Steuerungselement für 20 kW Drehstrom für eine feinfühligte Dosierung der Heizleistung einzusetzen.

Basics

In the following we will summarize the basic topics which are necessary to workout this lab exercise. Due to the limited size of this lab documentation we disclaim deeper representations if it is not absolutely necessary for the handling.

In case of further interest, please refer to other lecture notes or external literature on system control techniques.

Reasons for switching control

Why can we ask do we use switching control at all, where it is largely known about steady and linear control processes from theory anyway ?

The most important reason is beyond all doubt the realization of the actuator unit which considerably can be realized as switching facility often more economically.

Let's take an electrical three-phase current heating unit for example to make the right temperature of a plastifying tube and which has a nominal power of 20 kW. It is, about then fundamentally cheaper to do this by a three-phase current contactor by simply turning on or off to obtain a certain amount of heating-power, than to use an expensive thyristor control element for a delicate dosage of the heat.

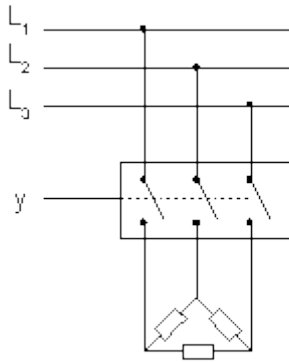


Abb./Fig. 3.1: Heizungsansteuerung über einen Schütz.
Heating control by a contactor.

Funktionieren kann diese einfachere Realisierung aber nur unter der Maßgabe, dass das Temperaturverhalten, des so beheizten Systems, recht träge ist (thermische), damit man die Schaltvorgänge (*Heizung An/Aus*) nicht oder nur unwesentlich am Temperaturverlauf (*Regelgröße*) bemerkt.

Ein weiteres Einsatzgebiet ist immer dann gegeben, wenn es nur eine schaltende Ansteuerung der Regelstrecke gibt, wie dies etwa bei der Verwendung von Motoren oder Hydraulikventilen als Stellglieder vorkommt. Diese werden beispielsweise nur über drei Betriebszustände für „Rechts“, „Links“ und „Stopp“ angesteuert.

3.2. Verwendete Reglertypen

Wenn wir allgemein von schaltenden Regelvorgängen sprechen, so sind immer die Fälle gemeint, in denen die Stellgröße (*Regler-Ausgang y*) nur **diskrete Werte** annehmen kann. Unter dieser Prämisse können wir die unterschiedlichsten Formen von Reglern einsetzen, und sie grob entsprechend dem nachfolgenden Schema einteilen.

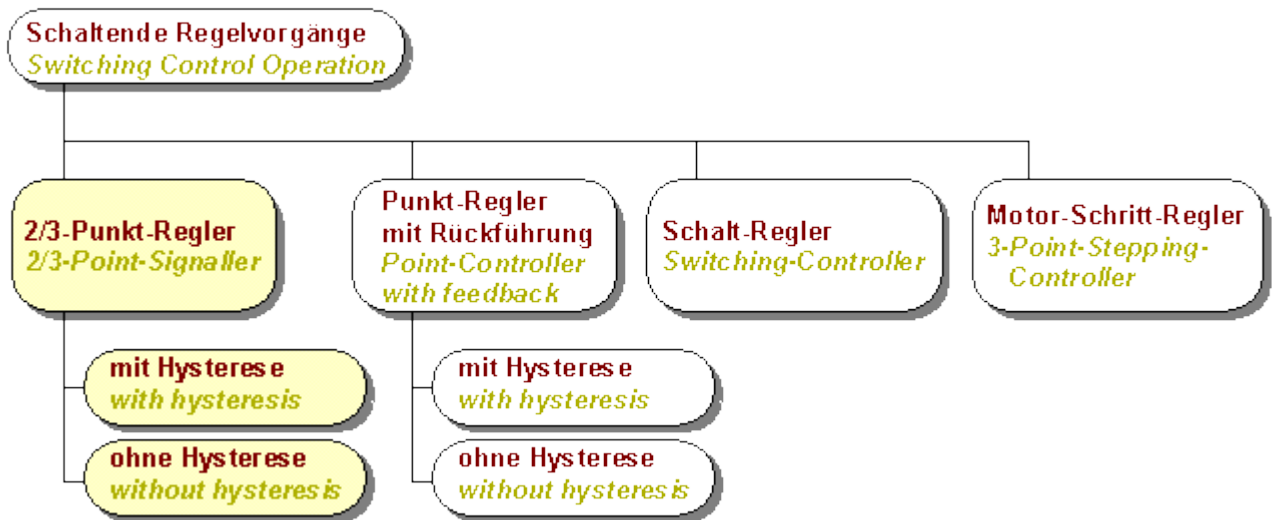


Abb./Fig. 3.3: Unterteilung der verschiedenen Reglertypen mit schaltendem Ausgang.
Subdivision of the various controller types with switching control operation.

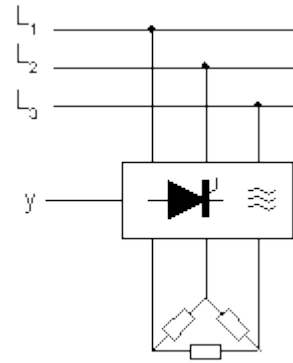


Abb./Fig. 3.2: Heizungsansteuerung über einen Thyristorsteller.
Heating control by a thyristor unit.

However this more simple realization can only work when the temperature response of the heated system behave quite sluggish (thermal) so that the switching process (heat on/off) affects only insignificantly at the temperature course (control variable).

Another field of application is always given, when there is only a switching actuation possible for the controlled system as this occurs approximately at the use of engines or hydraulics valves as actuator units. These are only steered by three operating states for "left", "right" and "stop" for example.

Used controller types

If we talk about switching control processes generally, then the cases in which the manipulated variable (controller output *y*) only can accept **discreet values** are always meant. Under this premise we can imagine several different forms of controller types, we can organize into the following scheme roughly.

Vertiefung: Die aufgeführten Bezeichnungen sind mangels eindeutig festgelegter Begriffe dem praktischen Sprachgebrauch entlehnt; sie sind jedoch weder verbindlich noch als ausschließlich anzusehen.

In detail: The listed names are borrowed for lack of standards the practical usage obviously; they still can be considered exclusive, however, obligatorily.

2/3-Punkt-Regler:

Die sog. 2/3-Punkt-Regler, die auch Gegenstand der späteren Laborversuche sein werden, sind einfache und robuste Regler, die abhängig von der Regeldifferenz x_d oder der Regelabweichung x_w einen von 2 oder 3 möglichen Stellgrößenwerte an ihrem Ausgang y generieren.

In der nachfolgenden Abbildung sind die vier möglichen Formen von solchen Reglern mit ihrer statischen Kennlinie aufgeführt, wobei der Ausgang y normiert und der Eingang allgemein mit x bezeichnet werden.

2/3-Point-Signaller:

The so called 2/3-point signalers, which will be object of the later laboratory experiments, are simple and robust controllers in industry. Depending on the control difference x_d or the control deviation x_w they generate the manipulating variable y out of the 2 or 3 possible putting quantity values.

The four possible forms of such controllers are listed with her static characteristic in the following illustration in which the output y is standardized and the input is marked by x generally.

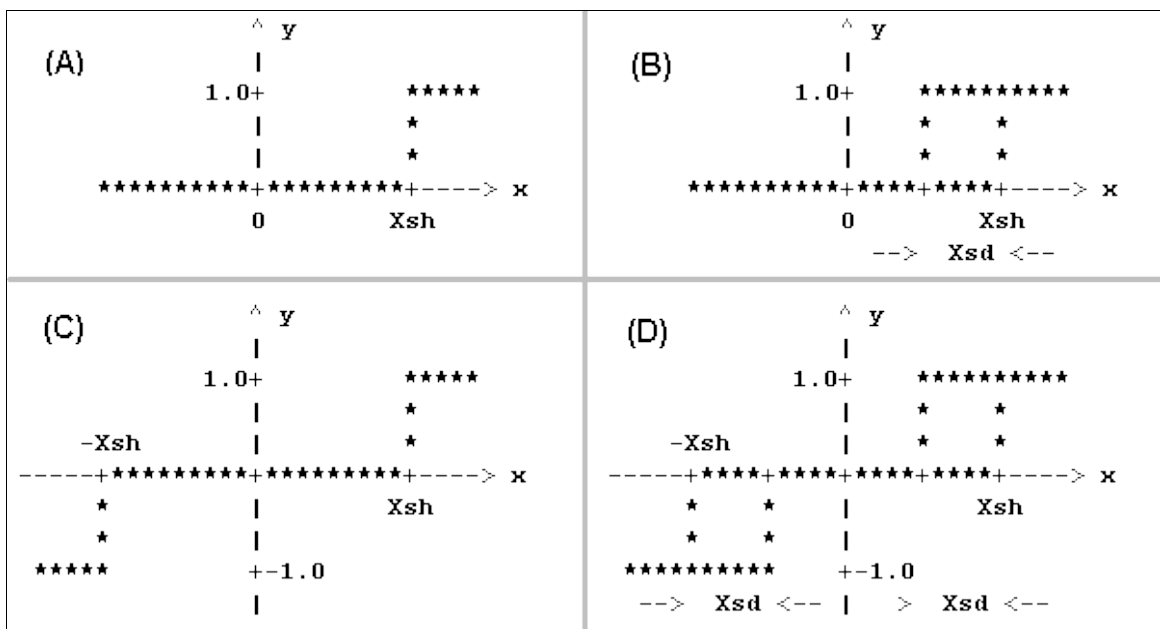


Abb./Fig. 3.4: Die möglichen Formen von 2/3-Punkt-Reglern mit und ohne Hysterese.
The possible types of 2/3-point signalers with and without hysteresis.

Die beiden Regler nach (A) und (B) benötigen nur die Vorgabe (Parameter) von X_{sh} , die für den 2-Punkt-Regler (A) häufig einfach zu Null gesetzt werden, da dies einem Schalten bei Sollwert ($x_d=0$, $x_w=0$) entspricht.

The two controllers of the form (A) and (B) do simply need the setting (parameter) of X_{sh} , which is often set to zero for the 2-point signaller, to get a switch-over at the set point ($x_d=0$, $x_w=0$).

Als ein Nachteil von solchen Reglern ohne Hysterese ist bekannt, dass sie an der Schaltschwelle häufig hin- und her schalten, was man auch als „Rattern“ bezeichnet.

As a disadvantage of such controllers without hysteresis it is known that they frequently switch to and from at the switching threshold what is described as "rattling".

Abhilfe schafft hierfür die sog. Hysterese, d.h. das Ein- und Ausschalten erfolgt nicht an der gleichen Stelle des Eingangssignals, sondern um die Hysteresebreite X_{sd} versetzt. Hierdurch erhält zwar man ein wesentlich ruhigeres Stell- und damit auch Regelverhalten, was allerdings mit einer etwas geringeren Regel-Genauigkeit erkaufte werden muss.

Vertiefung: So positiv die Einführung der Hysterese für den Praxis-Einsatz auch sein mag, so schwieriger gestaltet sich dadurch aber die mathematische Behandlung der Regelvorgänge. Denn immerhin haben wir es nicht nur mit un stetigen Funktionen zu tun, sondern vielmehr mit mehrdeutigen Funktionen, was die Behandlung als Abhängigkeit mit Gedächtnis sehr verkompliziert.

Remedy creates the so-called hysteresis for this, i.e. the switching on/off isn't carried out in the same place of the input signal but moves X_{sd} by the hysteresis width. Through this, one receives a considerably more quiet actuation and thus also control response which must be paid for with an a little lower control precision, though.

In detail: Getting this positive effect for practical usage by introducing the hysteresis this results in a tremendous increase of mathematical complexity for describing these process. Because we have not longer to do with only unsteady functions but rather with ambiguous functions what implies the much more complicated treatment as dependency with memory.

Punkt-Regler mit Rückführung:

Eine besondere Form von schaltenden Regelvorgängen erhält man bei der Verwendung von Punkt-Reglern mit einer dynamischen Rückführung. Das Verhalten ist insofern von Interesse, als es eine Bindeglied zwischen den reinen zuvor beschriebenen Kennlinien-Reglern und den stetigen Reglern (PID) darstellt. Man spricht auch in diesem Zusammenhang von stetig ähnlichen Regelvorgängen.

Point-Controller with feedback:

One gets a special form of switching control processes of point controllers with the use of a dynamic feedback repatriation. The behavior is in this respect of interest, as a link between the pure characteristic controllers described before and the steady controllers (PID.) One also talks about similar steady control processes, in connection with this.

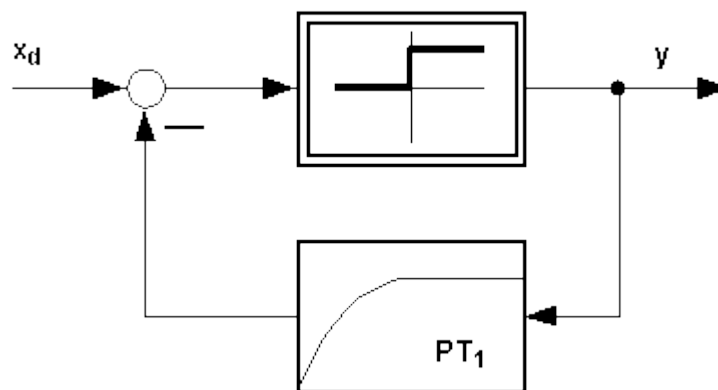


Abb./Fig. 3.5: Zweipunkt-Regler mit dynamischer Rückführung.
Two-point signaller with dynamic feedback.

Da die dargestellte Form von Regler nur noch selten eingesetzt wird, kann man sie getrost als antiquarisch bezeichnen, da sie entscheidend durch die Realisierung mit Analo schaltungen begründet war. Bei den heutigen Reglern auf Mikroprozessor-Basis, die als Abtastregler ausgeführt sind, kann eine solche Struktur nur per Iteration gelöst werden, was aber einem Einsatz in Echtzeit-Umgebungen völlig entgegen steht.

Since the represented form of controller is only seldom used, one can describe them as antiquarian since they were strongly based on the realization with analog circuits. At today's controllers on micro-processor basis which are executed as time discrete sampling data controller such a structure can be solved only by iteration. But this stands contrary to usage in a real time environment.

Schalt-Regler:

Schalt-Regler, die auch als ED-Regler (*ED* von *Einschaltdauer*) bezeichnet werden, kann man eigentlich zu den (*nicht schaltenden*) stetigen Regelvorgängen zählen, da sie ein stetiges Stellsignal zwar nicht am ihrem Reglerausgang, aber hinter dem schaltenden Stellglied erzeugen.

Switching Controller:

Switching controllers which also are described as an ED controller (*ED stands for turn-on duration*) actually since they create a steady actuating signal not at their output but behind the switching actuator unit.

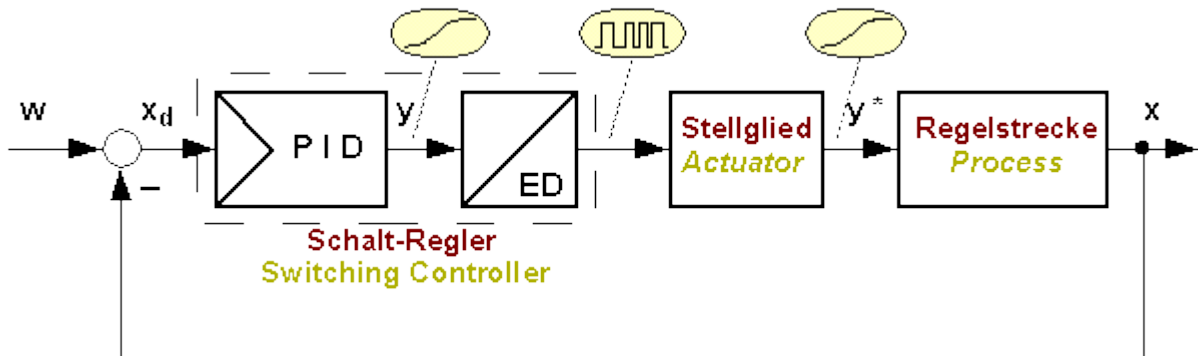


Abb./Fig.3.6: Regelung mit einem proportional wirkenden Stellglied.
Control with an actuator unit with proportional action.

D.h. ein stetiges Stellsignal y^* wird dadurch erzeugt, dass über einen ED-Wandler ein schaltendes Stellglied so angesteuert wird, dass die Stellwirkung dem gewünschten stetigen Stellsignal y annähernd entspricht. Daher können diese Regler weitgehend wie ganz normale stetige (meist PID) Regler bzgl. ihres Regelverhaltens behandelt werden.

Vorbedingung ist allerdings, dass das Stellglied proportionales Verhalten zeigen muss, d.h. es muss ein Verhalten mit Ausgleich besitzen.

Vertiefung: Der ED-Wandler setzt ein stetiges Eingangssignal in ein schaltendes Ausgangssignal mit entsprechendem Einschaltdauer Verhältnis um. Beispielsweise kann man für einen Wert von 20% den Ausgang für 2s ein- und dann 8s ausschalten und diesen Zyklus ständig wiederholen. Ebenso ginge dies aber auch für 20s und 80s Intervalle, d.h. es gibt hierfür eine mehrdeutige Abbildung. Der Wandler muss demnach zusätzlich berücksichtigen, wie häufig das Schalten erwünscht oder notwendig ist. Notwendig dahingehend, dass keine unerwünscht großen Schwankungen am Ausgang der Regelstrecke entstehen. Erwünscht insofern, als die Belastung des Stellglieds durch zu häufige Schaltvorgänge vermieden werden muss.

Concrete the steady actuator signal y^* is produced by the fact that the ED-converter steers the actuator in that way that it response nearly as the desired internal manipulating signal y . Therefore these controllers can be handled like normal steady controllers (mostly PID) according their control processing.

It is precondition, though, that the actuator unit must have proportional behavior, i.e. it must have a behavior with compensation.

In detail: The ED-converter puts a steady input signal into a switching output signal with a corresponding turn-on duration relation. To get a 20% duration relation for example, we can turn-on for 2s and turn-off for 8s and do this cycle permanently repeatedly. But this would just go for 20 s and 80 s just as well, i.e. there is an ambiguous transformation for it. The converter must therefore take into account how frequently switching is desired or necessary. Necessary to the effect that no unwanted big fluctuations result for the control variable. Desired in the way that too frequent switching results in shortened maintenance cycles for the actuator.

Vertiefung: Der beschriebene Schalt-Regler hat bei genauerer Betrachtung sogar noch Vorteile gegenüber einem stetigen PID-Regler, der sich in den geringeren Restriktionen bzgl. des D-Anteils auswirkt. Hat man häufiger den Einsatz des D-Anteils, mit dem Argument des zu unruhigen Stellgrößenverlaufs, abgelehnt und nur einen PI-Regler eingesetzt, so gilt dieses Argument bei einem schaltenden Stellglied nicht mehr. Da Unruhe im ständigen Schaltspiel untergeht, braucht man auf das verbesserte Regelverhalten durch den vorausschauenden D-Anteil nicht mehr zu verzichten. Ja es gibt sogar für diese Art von Reglern eine Steigerung in einem sog. DPID-Regler, der sich für diese Einsätze besonders gut eignen kann.

In detail: The described switching controller even has advantages over a steady PID controller which has an effect in the lower restrictions concerning the D-section of a steady PID controller. If one has more frequently declined the use of the D-section with the argument of the too restless manipulating variable course and used only a PI controller, then this argument not applies to a switching actuator unit any more. Since unrest goes down in the permanent switching process, one doesn't need to do without the improved control response by the foresighted D-section any more. Yes, there are even advanced solutions for this way of controllers in a so-called DPID controller which can be suited for these particular use quite well.

Motor-Schritt-Regler:

Für Stellglieder ohne Ausgleich, genauer gesagt mit Integral-Anteil, gibt es eine Spezialform des Schalt-Reglers, den sog. Motor-Schritt-Regler.

3-Point Stepping Controller:

For actuator units without compensation, e.g. with integral action, there exists a special form of switching controller called 3-point stepping controller.

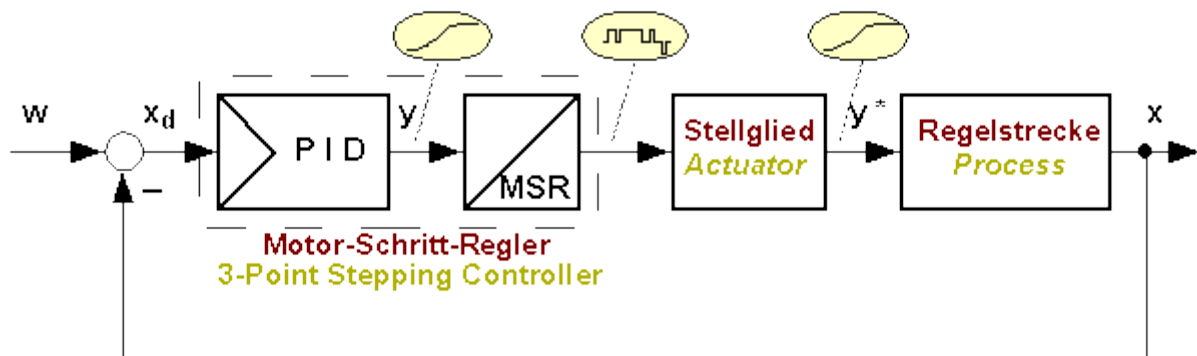


Abb./Fig. 3.7: Regelung mit einem integral wirkenden Stellglied.
Control by an actuator unit with integral action.

Hier wird nicht durch die die Einschaltdauer eine Stellwirkung vorgegeben, sondern die Inkremente der Stellgrößenbewegung dem Stellglied übermittelt. Mit der Zeitkonstanten oder Laufzeit des Stellglieds kann dann das gewünschte Inkrement in einen entsprechend langen Impuls (*Auffahren, Zufahren oder Stillstand bzw. Rechts, Links oder Stopp*) umgesetzt werden, damit am Ausgang des Stellglieds y^* wieder annähernd die gewünschte stetige Stellwirkung y erzielt wird.

Vorbedingung ist allerdings, dass das Stellglied integrales Verhalten zeigen muss und seine Zeitkonstante bekannt und konstant ist

Vertiefung: Eine interessante Variante dieses Reglers liegt darin, dass er auch für Regelstrecken ohne Ausgleich eingesetzt werden kann, deren Stellglied nicht notwendigerweise integrales Verhalten aufweisen muss. Der integrale Anteil kann durchaus in der Regelstrecke selbst liegen, er muss allerdings durch seine Zeitkonstante bekannt sein.

Within this case the actuator reaction isn't steered by a turn-on duration ratio but by increments of the manipulating variable course y . Knowing the time constant or propagation time of the actuator unit the increment can be transformed to a pulse of adequate length (*driving up, -down and still stand or left turn, right- and stop*) in order to get the comparable actuator reaction y^* for the process.

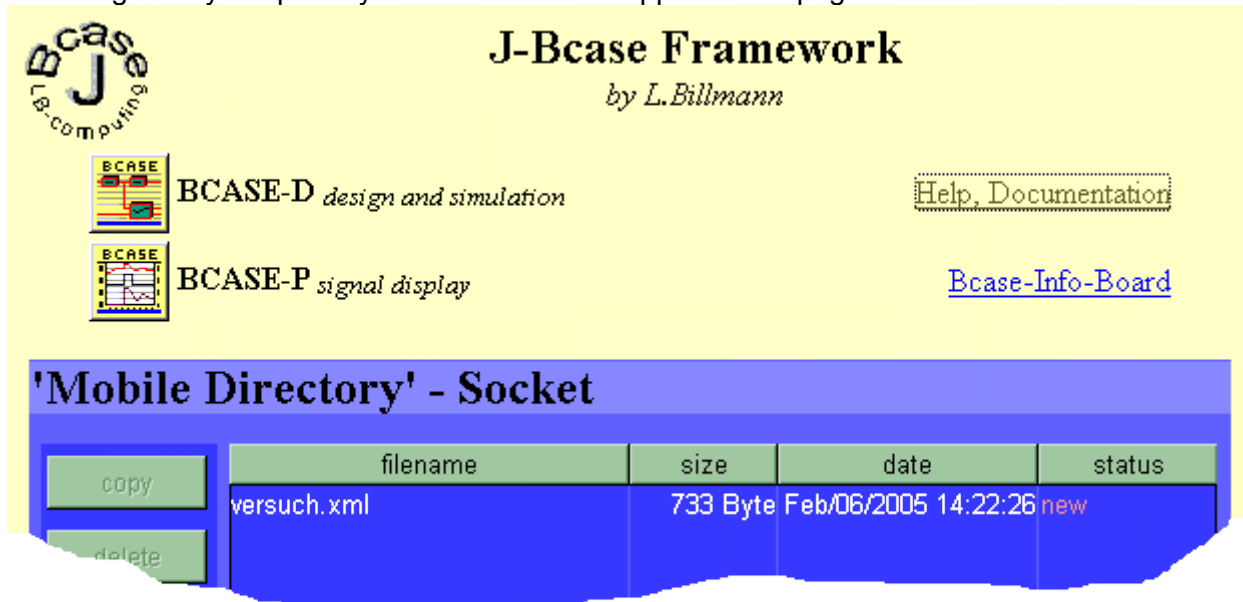
It is precondition, though, that the actuator unit must have known integral action behavior, i.e. it must have a behavior without compensation.

In detail: An interesting variant of this controller lies in it that he also can be used for controlled systems without compensation whose actuator unit doesn't have to have necessarily integral behavior. The integral quota can lie in the controlled system itself, it must be confessed by its time constant, though.

3.3. Die J-BCASE Versuchsumgebung The J-BCASE Test-Environment

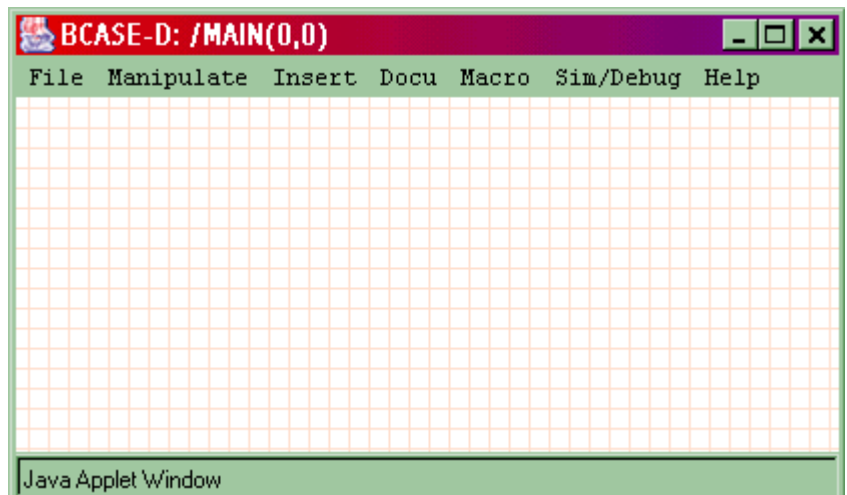
The J-BCASE test environment is a small simulation applet to give us access to model and experiment minor complex dynamic systems, as proposed for this laboratory unit. The following description will introduce into the usage of this applet as deep as needed for startup processing, while detailed knowledge can be examined only by working with this tool.

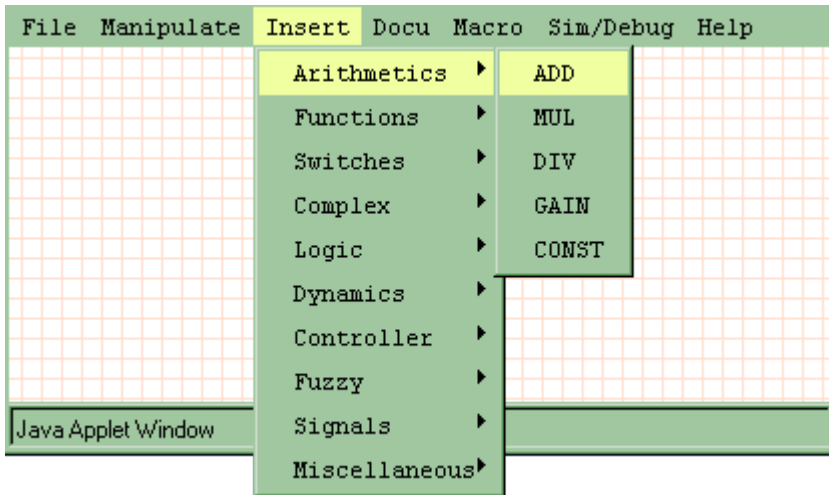
Starting our test environment, we reach our base platform, called the J-BCASE framework. This page will be the central point of our work and should not be closed to prevent data lost. Keep in mind, that we are working with an off line version of J_BCASE (we have no access to the data server !), so all data we are processing is only temporarily stored in a hidden applet in this page.



Out of this page we can reach the three major parts of the BCASE system, the design and simulation applet by a click on the BCASE-D button, the help and documentation area by the clicking on the link and perhaps the special signal display applet via the BCASE-P button. The info board so far is not active cause internal server restrictions; sorry.

So let's get started by creating a simple dynamic system with the BCASE-D applet and try to simulate it's behavior with simple display of the signals processing. Pressing the BCASE-D button, we get an empty design frame and several menu items in the top of the window. So take your time to browse the menu functions whatever their meaning might be at the moment; just to get an impression and draft overview.





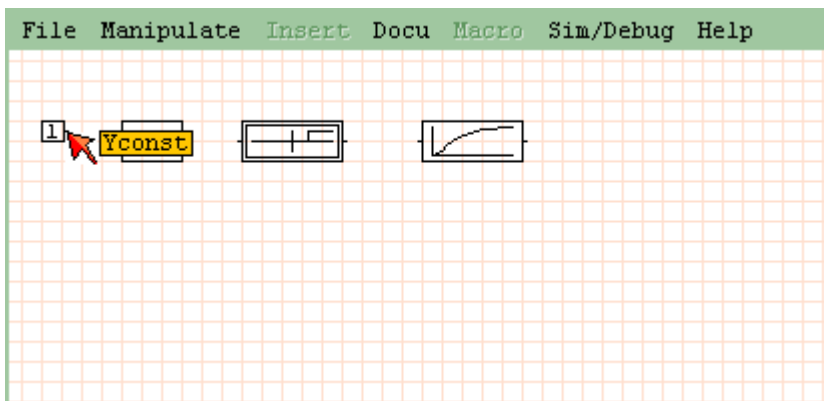
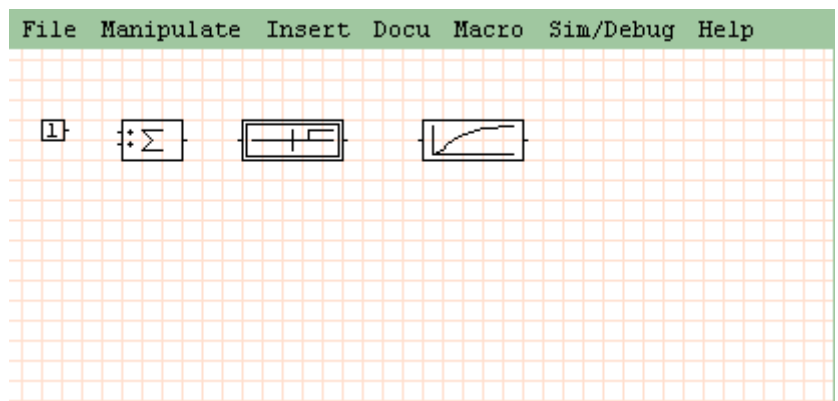
The design process starts by simply taking a function block (here a block for adding/subtracting signals) out of the library by the menu command **Insert-->ADD** as shown in the diagram.

There are about 70 functions built in and they are arranged into 10 groups. So in the group "Arithmetics" we have 5 functions, where ADD is the one we've chosen. To get more information about a special block or about the supported block types, the help/documentation gives more detailed descriptions. They can be reached by our framework page or via the functions-link on our left side of this page.

After selecting the ADD function for insertion move the cursor and with it the red colored ADD-block to the desired position and fix it by simple left click.

Doing this procedure again for the blocks (Functions-->SIG_2, Dynamics-->PT2 and Arithmetics-->CONST) we get the situation as shown besides.

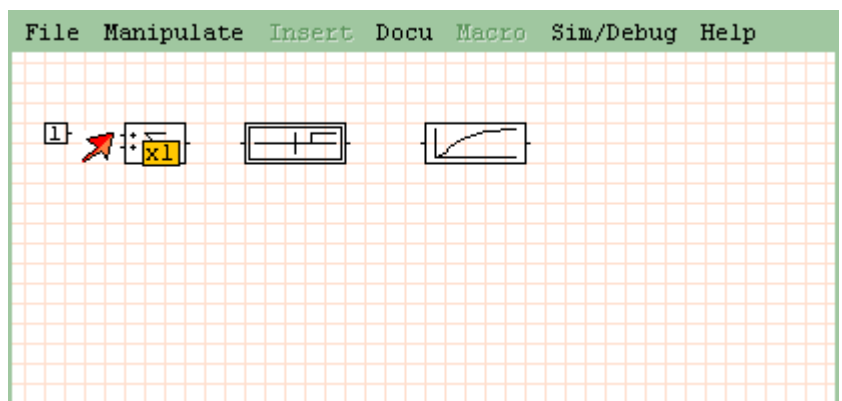
Remark: Although it would be very helpful to get detailed information about the function block by simply click or pressing F1, the applet doesn't support this yet, so leave a browser window open with the help for the function library and look at the adequate icon to click on for help.

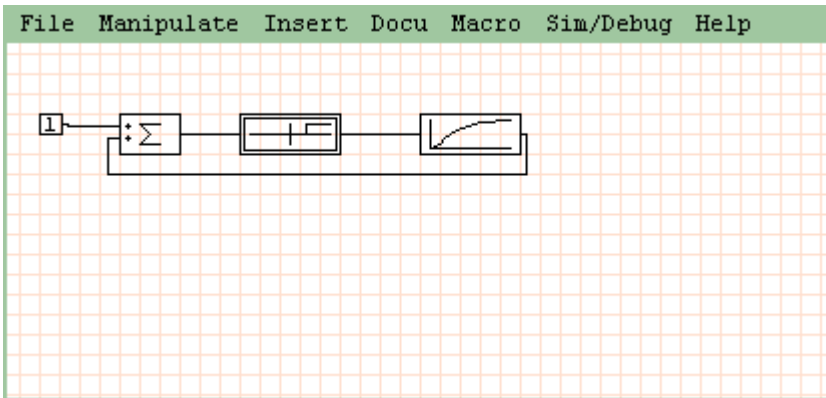


Next step of the design process is to connect the inputs and outputs of the various blocks, to get a processable dynamic system design. So simply press the "C" key to enter the connection mode, as indicated in the title area of the applet window. First is to select the desired source of a connection, e.g. an output signal of a block.

Move the cursor near the desired output and see its corresponding label, before doing a left click.

After this move to the desired destination of the connection an input signal of a block. Select it by simple left click or cancel your action by pressing "ESC" key.





Repeat this processing until you get the represented design and terminate the connecting mode by pressing the “C” key again.

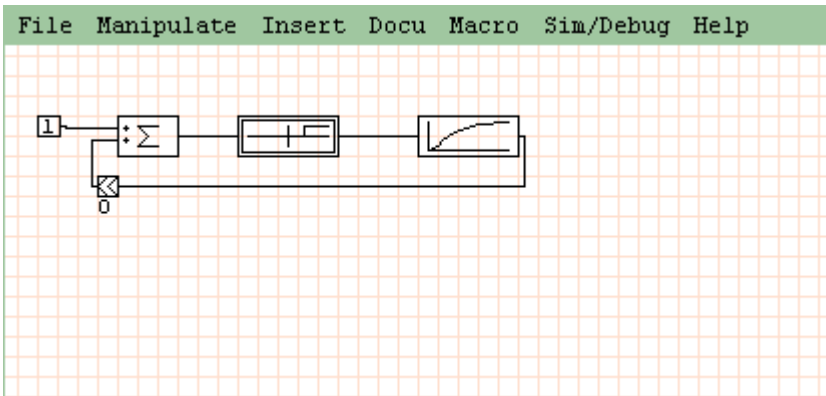
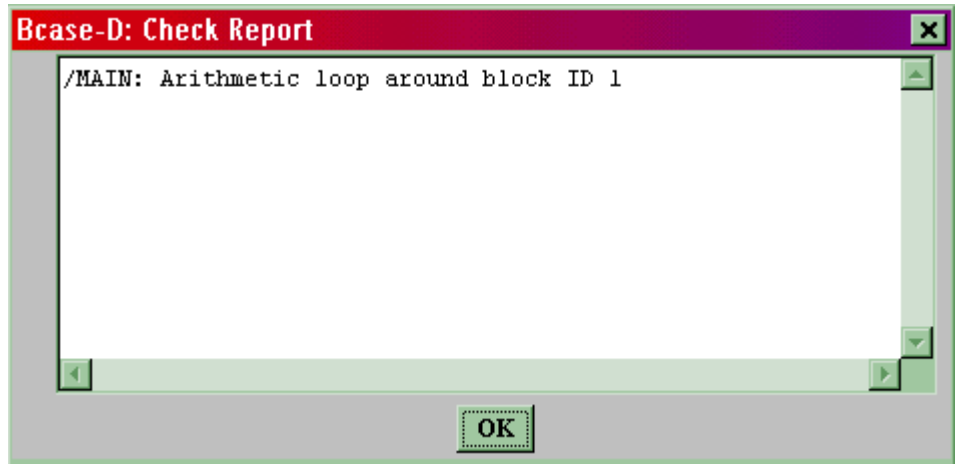
Well the design looks quite good, so we can try to simulate it for a dedicated time interval. So simply select the menu function Sim/Debug-->Simulate to get ...

Apparently this doesn't work, cause an error will occur.

Doing so again with the recommended menu function Sim/Debug-->Design-check we get the following alert message.

This typical error of an arithmetic loop occurs, when an input of a block depends directly or indirectly by its own output. Normally this leads to an iterative approach in simulation programs to solve this lack of causality. Since BCASE is a discrete simulation system and strongly related to on line applications, these problems can be solved by a so called DEL-block (one step delay).

Introducing this block in the feedback connection of our design states, that the second input of the ADD-block doesn't use the not yet known new output of the dynamic PT2-block but the last one one time step ago.

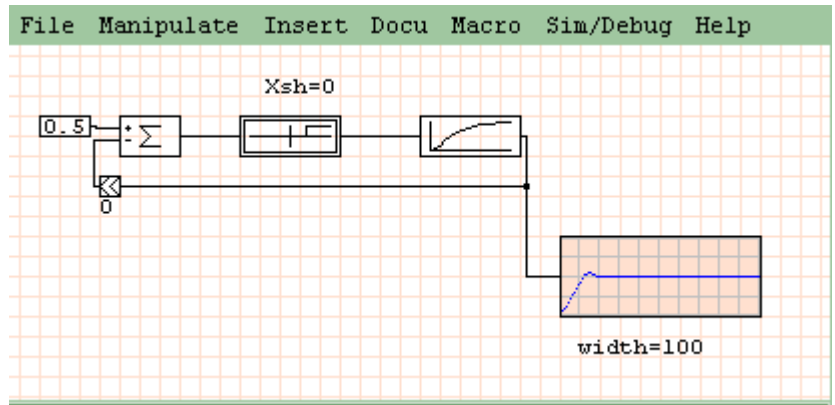


Inserting the DEL-block from the Miscellaneous-group, we have to flip the block in order to get his input on the right side and his output on his left, as typical for blocks in feed back processing lines.

The problem of interconnect the block can be only solved by first deleting the old connection (*enter deletion mode by “D” key and click on the desired destination of the connection you want to remove before terminating the mode by “D” key again*) and the making new the two connections from and to the DEL-block.

Doing so, the simulation will work without errors, but we can't see the successful performance of the signal behavior. To do so, there are two possibilities to realize a visualization. The simpler way is to insert a SIGCHART-block (as done here) which displays the signals directly in its icon area, while the advanced way is to insert a RECORDER-block which stores the signal values in a data file (temporarily) and to use the BCASE-P applet for detailed signal display.

Inserting a SIGCHART-block (from *signals group* !) doesn't satisfy our needs, because the function blocks should be also configured by parameter settings. This can be simply done by a right click upon the block enter the parameter dialog of the block. Doing so we change the set point value to 0.5 in the CONST-block, change the sign of the second input of the ADD-block to get the control difference, set the threshold X_{sh} of the SIG_2-block to 0.0 and enlarge the width of our SIGCHART-block to 100 to display the whole simulation interval in the block icon.



Having this done, a simulation run will give us the indicated representation for a simple nonlinear switching control loop process.

4. Versuchsvorbereitung

Bevor wir uns auf die einzelnen Versuche stürzen, seien hier zunächst die Versuchsgegebenheiten etwas näher beschrieben, insbesondere die Dynamik der beiden Versuchs-Regelstrecken. Darüber hinaus wird ein Vorschlag beschrieben, wie die Versuchsergebnisse geeignet zu dokumentieren sind und auf was man dabei achten sollte.

4.1. Versuchsbedingungen

Es werden insgesamt zwei verschiedene Nachbildungen von Versuchsanordnungen ("Elektrische Temperatur-Regelung", "Neigungs-Regelung eines Radioteleskops") verwendet, deren Bedienung gleich ist. Einziger Unterschied ist die Verfügbarkeit von vier Eingängen für die Induktionsschleifen.

Der elektrische Temperatur-Regelkreis:

Bei der ersten Versuchsanordnung, wie sie in Abb. 4.1 dargestellt ist, handelt es sich um einen Vorratsbehälter mit Flüssigkeit, dessen Temperatur über einen Ausdehnungsstab-Regler elektrisch geregelt wird. Wir können dabei davon ausgehen, dass das Niveau und damit die Menge m im Behälter durch einen anderen Regler ausreichend gut konstant gehalten wird.

Die Beheizung (zugeführte Wärme) erfolgt über eine elektrische Heizung mit einer Leistung von P_{heiz} und werde als ideal angesehen. Die Wärmeverluste P_{verlust} erfolgen über die Wand, die Oberfläche und selbstverständlich durch den Wärmeartrag der entnommenen Flüssigkeit, wobei alles in dem Verlust-Koeffizient k_1 zusammengefasst sei.

Exercise preparation

Before we go into detail with the several test equipments, here the attempt conditions are somewhat closer described, in particular the dynamics used for our two experimental processes. Beyond that a suggestion is described, how the test results can be documented suitably and hints are given on which one should be payed attention.

Exercise conditions

Altogether two different experimental assemblies ("electrical temperature control system", "slope control of a radio-telescope") are used, whose user interface equal and will be explained so far. The only difference is given by the availability of the four inputs for the inductance sensors.

The electrical temperature control system:

The first experimental arrangement, as represented in Fig. 4.1, shows a storage container for liquid whose temperature is controlled electrically over an extension bar controller. We can assume that the filling level and with that the amount of mass m is kept constant by another controller sufficiently well.

The heating (supplied heat) is carried out via an electrical heating unit with a power P_{heiz} and is considered ideal. The heat losses P_{verlust} are carried out via the wall, the surface and natural by the heat settlement of the taken out liquid. All this together is summarized in the loss coefficient k_1 .

Der Regler selbst nutzt die der Flüssigkeitssäule aus, sich bei steigender Temperatur auszudehnen, um damit den Kontakt und weiter die Heizung ein und auszuschalten.

The controller itself uses the expansion of the liquid bar at increasing temperature, so that the contact and further the heating unit to turn on and off.

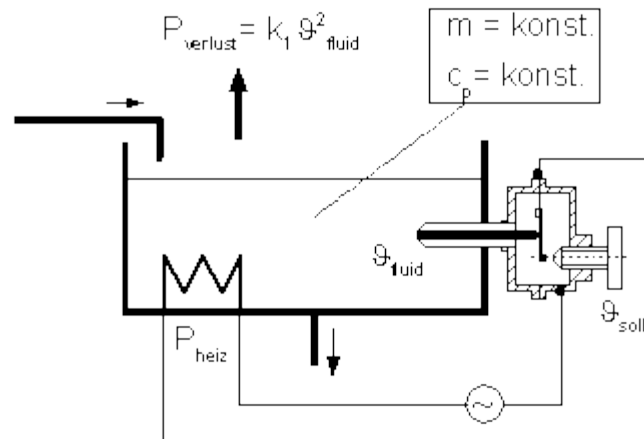


Abb./Fig. 4.1: Elektrische Temperatur-Regelung mit einem Ausdehnungsstab-Regler.
Electrical temperature control with an expansion-bar controller.

Für die mathematische Beschreibung des dynamischen Verhaltens der Regelstrecke (Eingang P_{heiz} , Ausgang ϑ_{fluid}) betrachten wir die Wärmebilanz zu:

For the mathematical description of the dynamic behavior of the process (input P_{heiz} , output ϑ_{fluid}) we regard the thermal balance of the tank as:

$$\frac{dW_{m,fluid}}{dt} = P_{heiz} - P_{verlust} \quad (4.1)$$

mit

with

$$W_{m,fluid} = m c_p \vartheta_{fluid} \quad (4.2)$$

erhalten wir

we get

$$m c_p \frac{d\vartheta_{fluid}}{dt} = P_{heiz} - k_1 \vartheta_{fluid}^2$$

$$\boxed{m c_p \frac{d\vartheta_{fluid}}{dt} + k_1 \vartheta_{fluid}^2 = P_{heiz}} \quad (4.3)$$

Es handelt sich um eine nichtlineare DGL 1. Ordnung mit dem Eingangssignal P_{heiz} und dem Ausgangssignal ϑ_{fluid} .

It is a nonlinear DE of 1st order with the input P_{heiz} and the output ϑ_{fluid} .

Vertiefung: Dividieren wir die Gl. 4.3 durch ϑ_{fluid} , so erhalten wir die Form

In detail: If we divide Eqs. 4.3 by ϑ_{fluid} we get the DE in the form

$$\frac{T_1}{\vartheta_{fluid}} \frac{d\vartheta_{fluid}}{dt} + \vartheta_{fluid} = \frac{P_{heiz}}{k_1 \vartheta_{fluid}}$$

Hieraus ist die umgekehrte Proportionalität zwischen Verstärkung und der Temperatur im Bezug zur Fluid-Temperatur ersichtlich. Qualitativ können wir damit folgendes erwarten:

- Bei höheren Temperaturen hat die Heizung einen schnelleren, aber weniger starken Einfluss auf die Temperatur.
- Bei niedrigeren Temperaturen hat die Heizung einen langsameren, aber stärkeren Einfluss auf die Temperatur.

Für eine größere Flexibilität ersetzen wir den Ausdehnungsstab-Regler durch einen Temperatursensor und einen Universal-Regler und erhalten so die modifizierte Anordnung nach Abb. 4.2. Die Ansteuerung der Heizung erfolgt dann vom Regler über einen Schütz.

From this the reversed proportionality between the amplification and the temperature in reference to the fluid temperature is better seen. We can qualitatively expect the following with that:

- The heating has faster response but less strong influence on higher temperatures.
- The heating has slower response but stronger influence on lower temperatures.

For a greater flexibility we replace the extension bar controller by a temperature sensor and a universal controller to get the modified scheme as shown in Fig. 4.2. The drive of the heating unit is then carried out via a contactor by the controller.

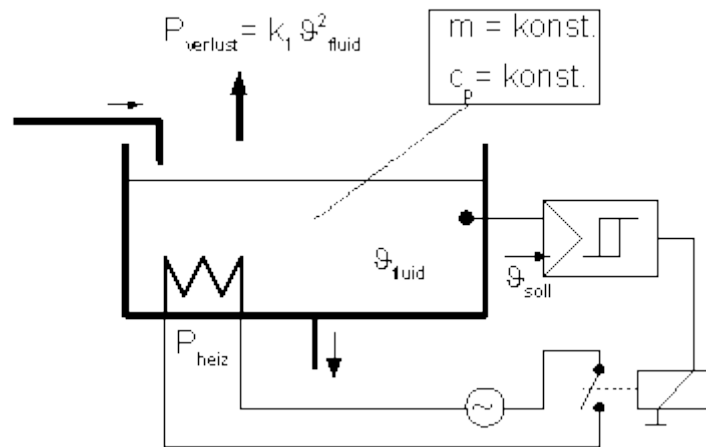


Abb./Fig. 4.2: Elektrische Temperatur-Regelung mit einem Universal-Zweipunkt-Regler.
Electrical temperature control with an universal two-point signaller.

Die Neigungs-Regelung eines Radioteleskops:

Bei der zweiten Versuchsanordnung, wie sie in Abb. 4.3 dargestellt ist, handelt es sich um ein Radioteleskop, dessen Neigungswinkel β gegen die Horizontale über einen Dreipunkt-Regler mit einem elektrischen Stellantrieb geregelt werden soll.

The slope control of a radio-telescope:

The second experimental arrangement, as represented in Fig. 4.3, shows a big radio-telescope whose angle of inclination or better slope β according the horizontal line is controlled by a 3-point signaller. This is done by an electrical driver (*electro motor*).

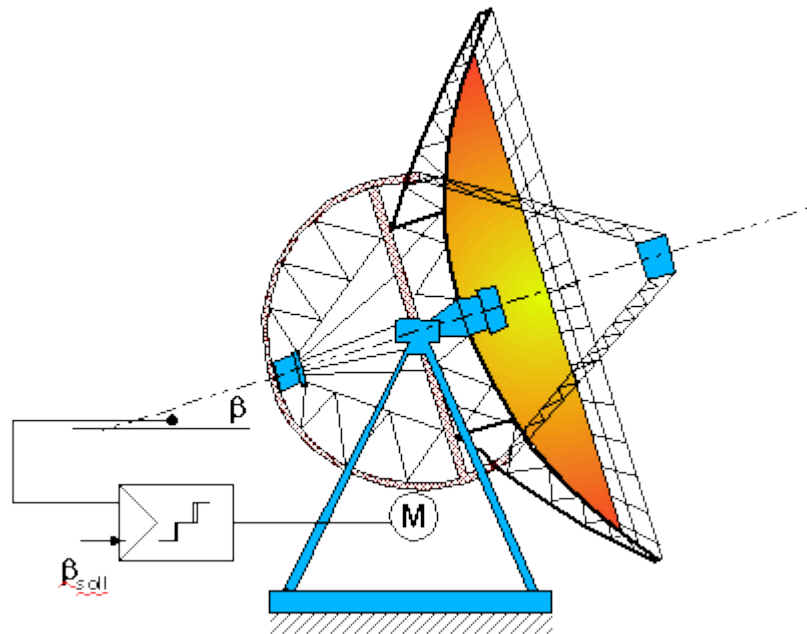


Abb./Fig. 4.3: Elektrische Neigungs-Regelung mit einem Universal-Dreipunkt-Regler.
Electrical slope control with an universal three-point signaller.

Über den Dreipunkt-Regler wird der Stellmotor **M** angesteuert, der nur Rechts-, Linkslauf oder Stillstand kennt. Durch die große Trägheit der Teleskop-Masse ist sowohl ein verzögertes Anlaufen als auch Abbremsen zu erwarten. Die maßgebliche Störgröße wird durch Windböen zu erwarten sein.

The 3-point signaller steers the driver by simply left-, right-turn or standstill actions. The great inertia of the telescope mass leads to a delayed reaction while start-up as well as during stopping movements. The substantial disturbances will have to be expected by gusts of wind.

4.2. Versuchsprotokoll

Das Versuchsprotokoll stellt die Basis des später zu erstellenden Versuchsberichts dar und ist eine Mitschrift über Randbedingungen und Ergebnisse mehrerer Teilversuche.

Da die Versuche am Rechner durchgeführt werden, empfiehlt sich das zu verwendende Textprogramm für das Protokoll parallel auszuführen, um eine aktuelle Mitschrift des Versuchsablaufs zu gewährleisten. Einige Angabe kann man auch direkt mittels Cut/Paste aus der Versuchsvorschrift übernehmen, ergänzen oder auf die besonderen Bedürfnisse anpassen. Versuchsergebnisse (z.B.: Grafiken) lassen sich am besten per Hardcopy in das Textprogramm übernehmen, indem man sie auf die interessierenden Bereiche zuschneidet und ggf. mit Text ergänzt.

Exercise protocol

The exercise protocol represents the logging of several test conditions and test results will be the basis for the later on written lab-practice report.

Since the experiments are handled at the computer it's recommended to start your text program in parallel to simply switchover between testing and logging. Some one can take over specifications out of this practice documentation or results by cut and paste function using the clipboard of the computer. Graphic results, like signal charts a applet, can be easily copied by hard-copy function of the computer and fitting them to interested areas by the text program or a individual graphic program.

5. Versuchsdurchführung

5.1. Einfache Temperatur-Regelung

Gegeben ist die Versuchsanordnungen nach Abb. 4.1 einer einfache Temperatur-Regelung eines Flüssigkeitsbehälters mit einer elektrischen Heizung.

Vorab:

- ▶ Zur Orientierung und für das bessere Verständnis ergänze man zunächst Abb. 4.1 um die Bezeichnungen für den Sollwert W , die Stellgröße Y , die Regelgröße X und die Störung Z .
- ▶ Danach erstelle man den Signalflussplan (SFP) des Regelkreises mit dem nichtlinearen Regler und der Regelstrecke entsprechend Gl. 4.3.
- ▶ Welcher fatale Fehler ist aus der Überprüfung der Wirkungskette erkennbar und wie könnte man dieses Problem konstruktiv lösen ?

Exercise performance

Simple temperature control

Given is the test environment according Fig. 4.1 of a simple temperature control of a fluid tank with an electrical heater.

First:

- ▶ At first for orientation and for the better understanding one completes Fig. 4.1 with the expressions for the set point W , the manipulated variable Y , the control variable X and the disturbance Z .
- ▶ After this one creates the signal flow plan (SFP) of the control system with the nonlinear controller and the controlled system according to Eqs. 4.3.
- ▶ Which fatal error can be found out from the check of the effect chain and how could one solve this problem constructively ?



BCASE-D Setup:

- ▶ Zum Laden der Versuchsumgebung in das Entwurfs- und Simulationsprogramm BCASE-D klicke man im „Experiments“-Bereich zunächst auf J-BCASE, um die Framework-Seite zu starten. Durch einen Klick auf das BCASE-D-Icon startet schließlich das Simulationsprogramm mit einem noch leeren Entwurf.
- ▶ Die benötigte Versuchsumgebung erhalten wir über den Menüpunkt „File-->Examples-->Temperature Control“. Wir erkennen den Regelkreis mit dem schaltenden 2-Punkt-Regler und die Regelstrecke (TANK) als unterlagertem Teilsystem (betreten mit Rechts-Klick, verlassen mit ESC). Weiterhin ist der SIGCHART-Block erkennbar, der die Signalverläufe über 200 Simulationsschritte darstellen kann, sowie der vcl3-Block, der die Signale in einer Datei vcl3.xml speichert, um sie dann genauer mit dem Darstellungsprogramm BCASE-P anzuzeigen.
- ▶ Über den Menüpunkt „Sim/Debug-->Setup...“ stelle man die Schrittweite $T_s=10s$ und die Anzahl der Simulationsschritte $N_{step}=200$ ein.

BCASE-D Setup:

- ▶ To load the test environment into the simulation program BCASE-D just click on the J-BCASE link in the “Experiments” section, to get the desired framework page. By click on the BCASE-D icon the simulation program finally starts with a still empty outline.
- ▶ We get the needed test environment via the menu “File-->Examples-->Temperature Control”. We recognize there the control system with the switching 2 point signaller and the controlled system (tank) as an underlying subsystem (enter with right click, exit with ESC). Furthermore the SIGCHART block is recognizable which can represent the signal courses for 200 simulation steps as well as which the vcl3-block to store them additionally into the file vcl3.xml for detailed representation by the BCASE-P program afterwards.
- ▶ Via the menu “Sim/Debug-->Setup...” we've to set the simulation step size $T_s=10s$ and the number of simulation steps $N_{step}=200$.

Versuchsläufe:

- ▶ Durch Simulation ermittle man für verschiedene Sollwerte $\vartheta_{\text{soll}} = \{20^\circ\text{C}, 40^\circ\text{C}, 60^\circ\text{C}, 80^\circ\text{C}\}$ die Periodendauer T_{cycle} in s, die Überschwingweite $\Delta\vartheta_{\text{over}}$ in $^\circ\text{C}$ und die Unterschwingweite $\Delta\vartheta_{\text{under}}$ in $^\circ\text{C}$ des Sollwertes, des sich einstellenden Grenzzyklus.
- ▶ Den Sollwert oder jeden anderen Block-Parameter verändert man durch einen Rechts-Klick auf den Block selbst, um dann im Parameterdialog die Werte einzustellen.
- ▶ Die Simulation erfolgt über den Menüpunkt „Sim/Debug-->Simulate“, während die Ergebnisse dann im SIGCHART-Block dargestellt werden.
- ▶ Das Ausmessen der Periodendauer und Schwingungen erfolgt besser mit dem Darstellungsprogramm BCASE-P. Dieses kann erstmalig über die Framework-Seite (Klick auf Icon) aufgerufen werden und anschließend die Messdatei über „File-->Open“ geladen werden. Mit „Display-->Scaling...“ wähle man eine geeignete Skalierung der beiden Achsen und wähle über „Display-->scan“ den Modus zum Ausmessen der Daten mit dem Cursor.
- ▶ Hat man einen neuen Versuchslauf durchgeführt, so lässt sich die Darstellung über „File-->Redraw“ einfach mit den neuen Daten erneuern.
- ▶ Für $\vartheta_{\text{soll}} = 80^\circ\text{C}$ speichere man die grafische Darstellung der Signalverläufe (von BCASE-P Darstellung), führe den Versuch nochmals für Teil last durch und speichere auch diesen Verlauf zum späteren Vergleich.

Experimental tests:

- ▶ Evaluate by simulation for the different set points $\vartheta_{\text{soll}} = \{20^\circ\text{C}, 40^\circ\text{C}, 60^\circ\text{C}, 80^\circ\text{C}\}$ the period length T_{cycle} in s, the overshooting $\Delta\vartheta_{\text{over}}$ in $^\circ\text{C}$ and the undershooting $\Delta\vartheta_{\text{under}}$ in $^\circ\text{C}$ of the final occurring cycling.
- ▶ The set point or any other block parameter can be changed by right click on the block to invoke the parameter dialog.
- ▶ Simulation is invoked by the menu function “Sim/Debug-->Simulate” while the results are then displayed in the SIGCHART block.
- ▶ The measuring out of the period length and the cycle course itself can be better done with the display program BCASE-P. Start the program by click on the icon at the framework page and loading the data by “File-->Open” menu, one can adapt the representation by the “Display-->Scaling” menu and invoke the scan mode for measuring by “Display-->Scan”.
- ▶ One has executed a new trial run then the representation can be simply updated by the “File-->Redraw” menu function.
- ▶ For $\vartheta_{\text{soll}} = 80^\circ\text{C}$ store (hard copy) the graphical representation of the signal courses (BCASE-P plot), execute the test again under partial load “Teil last” conditions and store the results for later comparison too.

5.2. Verbesserte Temperatur-Regelung

Advanced temperature control

Gegeben ist die Versuchsanordnungen nach Abb. 4.2 einer verbesserten Temperatur-Regelung eines Flüssigkeitsbehälters mit einer elektrischen Heizung. Wesentlicher Unterschied ist hier, dass durch den Universal-Regler und den Sensor ein Zweipunktverhalten mit wählbarer Hysterese verfügbar ist, deren Einfluss wir hier näher untersuchen wollen.

Given is the test environment according Fig. 4.2 of an advanced temperature control of a fluid tank with an electrical heater. Main difference herein is, that we use an universal controller and a separate sensor to get a 2-point behavior with adjustable hysteresis; whose influence we want to examine in detail.



Vorab:

- ▶ Als Versuchsumgebung nach Abb. 4.2 müssen wir lediglich den 2-Punkt-Regler durch einen 2-Punkt-Regler mit Hysterese ersetzen. Über die Menüfunktion „Insert-->Functions-->SIG_2H“ erhalten wir diesen Block, den wir an die Stelle des bisherigen (zuvor anklicken und löschen) einbauen.
- ▶ Für die Wahl der Parameter des Reglers ist zu beachten, dass für eine symmetrische Kennlinie um den Sollwert $X_{sh} = 0,5X_{sd}$ gelten muss.

First:

- ▶ For the test environment according Fig. 4.2 we've only to exchange the 2-point controller by one with hysteresis. With the menu function “Insert-->Functions-->SIG_2H” we get such a new block, which we should place at the old one's position (first click on old one and delete it).
- ▶ For correct parameter setting we have to take into account that a symmetrical characteristic around the set point assumes $X_{sh} = 0,5X_{sd}$.

Versuchsläufe:

- ▶ Durch Simulation ermittle man für verschiedene Hysterese-Breiten $X_{sd} = \{0.5^\circ\text{C}, 1^\circ\text{C}, 2^\circ\text{C}, 5^\circ\text{C}\}$ die Periodendauer T_{cycle} in s, die Überschreitung $\Delta\vartheta_{\text{over}}$ in $^\circ\text{C}$ und die Unterschreitung $\Delta\vartheta_{\text{under}}$ in $^\circ\text{C}$ des Sollwertes, des sich einstellenden Grenzzyklus bei $\vartheta_{\text{soll}} = 80^\circ\text{C}$.

Experimental tests:

- ▶ Evaluate by simulation for the different hysteresis width $X_{sd} = \{0.5^\circ\text{C}, 1^\circ\text{C}, 2^\circ\text{C}, 5^\circ\text{C}\}$ the period length T_{cycle} in s, the overshooting $\Delta\vartheta_{\text{over}}$ in $^\circ\text{C}$ and the undershooting $\Delta\vartheta_{\text{under}}$ in $^\circ\text{C}$ of the final occurring cycling for $\vartheta_{\text{soll}} = 80^\circ\text{C}$.

5.3. Schaltende Neigungs-Regelung

Switching slope control

Gegeben ist die Versuchsanordnungen nach Abb. 4.3 einer einfache Teleskop-Neigungswinkel-Regelung mit einem Antriebsmotor und einem 3-Punkt-Regler.

Given is the test environment according Fig. 4.3 of a simple telescope slope control with an electrical motor drive and a 3-point signaller.



BCASE-D Setup:

- ▶ Die benötigte Versuchsumgebung erhalten wir über den Menüpunkt „File-->Examples-->Slope Control“. Wir erkennen den Regelkreis mit dem schaltendem 3-Punkt-Regler und die Regelstrecke (TELESCOPE) als unterlagertem Teilsystem (betreten mit Rechts-Klick, verlassen mit ESC). Weiterhin ist der SIGCHART-Block erkennbar, der die Signalverläufe über 400 Simulationsschritte darstellen kann, sowie der vcl3-Block, der die Signale in einer Datei vcl3.xml speichert, um sie dann genauer mit dem Darstellungsprogramm BCASE-P anzuzeigen.
- ▶ Über den Menüpunkt „Sim/Debug-->Setup...“ stelle man die Schrittweite $T_s=1s$ und die Anzahl der Simulationsschritte $N_{step}=400$ ein.

Versuchsläufe:

- ▶ Durch Simulation ermittle man für verschiedene Schwellwerte $X_{SH}=\{10^{\circ}C, 1^{\circ}C, 0,5^{\circ}C, 0,1^{\circ}C\}$ das Regelverhalten, wobei neben dem Anregeln auf 120° zwischen 200 und 300s eine Störung in Form einer Windböe simuliert wird. Für alle vier Versuchsläufe mache man eine Kopie des SIGCHART-Blocks für die spätere Auswertung.

BCASE-D Setup:

- ▶ The test environment can be accessed by the menu function “File-->Examples-->Slope Control”. We recognize there the control system with the 3-point signaller and the controlled system (telescope) as an underlying subsystem (enter with right click, exit with ESC). Furthermore the SIGCHART block is recognizable which can represent the signal courses for 400 simulation steps as well as the vcl3-block to store them additionally into the file vcl3.xml for detailed representation by the BCASE-P program.
- ▶ Via the menu “Sim/Debug-->Setup...” we've to set the simulation step size $T_s=1s$ and the number of simulation steps $N_{step}=400$.

Experimental tests:

- ▶ Evaluate by simulation for the different threshold values $X_{SH}=\{10^{\circ}C, 1^{\circ}C, 0,5^{\circ}C, 0,1^{\circ}C\}$ the control reaction, whereas besides the startup control to 120° an wind gust occurs between 200 and 300s. For all four experiments one should store the graphical representation of the signal courses (SIGCHART block) for later comparison too.

6. Versuchsauswertung

Die Versuchsauswertung ist eine kurz gefasste Zusammenfassung der ermittelten Ergebnisse, Auswertung und Interpretation. Als Hilfestellung sind nachfolgend stichpunktartig die notwendigen Inhalte aufgeführt.

Zu 5.1.:

- Anlagenskizze mit den Bezeichnungen für die Standardgrößen
- Signalflussplan SFP und Überprüfung der Wirkungskette samt Abhilfemaßnahmen
- Versuchstabelle
- Zeitverläufe bei 80°C für Teil- und Voll last und Anmerkungen zu den Unterschieden
- Was würde sich qualitativ verändern, wenn die Simulationsschrittweite (und damit die Bearbeitungshäufigkeit des Reglers !) T_s kleiner bzw. größer gewählt würde ?

Zu 5.2.:

- Versuchstabelle
- Welchen Einfluss hat die Hysterese auf das Regelverhalten ?
- Was würde sich qualitativ verändern, wenn die Simulationsschrittweite (und damit die Bearbeitungshäufigkeit des Reglers !) T_s kleiner gewählt würde ?

Zu 5.3.:

- Anlagenskizze mit den Bezeichnungen für die Standardgrößen
- Die vier Versuchs-Verläufe als Darstellung direkt untereinander und beschreibe das Verhalten bzw. den Einfluss von X_{sh}
- Was könnte die zusätzliche Einführung einer Hysterese bewirken und für welche Anwendungsfelder erscheint sie sinnvoll ?

Abschließende Bemerkungen:

- Zusammenfassende Anmerkungen, Interpretationen und Bewertungen

Exercise evaluation

The exercise evaluation is a brief summary of the received results, evaluations and interpretations. As a support the necessary contents are listed below.

Top 5.1:

- plant scheme with the standard expressions
- signal flow plan SFP and the check of the effect chain as well as overcoming suggestions
- test table
- signal courses at 80°C under partial and full load conditions with comments
- What would qualitative happen, if the simulation step size T_s (and with this the frequency of the controller execution) is lowered or increased ?

Top 5.2:

- test table
- What is the influence of the hysteresis on the control reaction ?
- What would qualitative happen, if the simulation step size T_s (and with this the frequency of the controller execution) is lowered ?

Top 5.3:

- plant scheme with the standard expressions
- the four signal courses placed among each other and a description of the influence of X_{sh}
- What might be the benefit of introducing hysteresis and for which application fields would this be meaningful ?

Final remarks:

Summarizing comments, interpretations and assessments