

Undersökning av inställningsmetoder för PID-regulatorer

A study of methods for tuning PID-controllers

Examensarbete i Elektroingenjörsprogrammet

SUSANNE LUNDELL

Institutionen för Signaler och System
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg 2012-02-17

Examinator Bill Karlström

Handledare Bertil Thomas

Undersökning av inställningsmetoder för PID-regulatorer
A study of methods for tuning PID-controllers
Susanne Lundell

© Susanne Lundell 2012
Department of Signals and Systems
Chalmers University of Technology
SE-412 96 Göteborg
Sweden

Göteborg, Sweden 2012

Sammanfattning

Denna rapport är en jämförelse mellan olika inställningsmetoder för PID-regulatorer. Ziegler-Nichols metod har länge varit den dominerande tumregelmetoden inom processindustrin, men det finns idag ett antal andra metoder som påstås vara bättre ur det ena eller andra avseendet. Syftet med arbetet är att undersöka för- och nackdelar med de olika dimensioneringsmetoderna. De övriga metoder som undersökts är AMIGO-metoderna, Lambdametoden och Kristiansson-Lennartsons metod.

Datorprogrammet Matlab med programpaketet Simulink har använts för att simulera olika typer av processer och återkopplade system och för att presentera ett stort antal grafer över insvängningsförlopp. Dessutom har metoderna testats mot en verklig process. Metoderna har jämförts utifrån ett antal egenskaper som definierar en väl reglerad process.

Simuleringarna visar att det i dagsläget finns flera metoder som fungerar bättre än Ziegler-Nichols metoder. Det finns dock ingen metod som fungerar bra för alla typer av processer. Valet av metod bör i stället baseras på de egenskaper som önskas för systemet samt vilken typ av process det gäller. Lambdametoden visar sig ge en mycket robust reglering och passar bra för system där kravet på snabbhet är begränsat eller där en mycket försiktig reglering krävs. Önskas en mer aggressiv reglering med snabbare insvängningsförlopp kan AMIGO-metoderna eller det snarlika alternativet Kristiansson-Lennartsons metod vara att föredra.

Ett stort tack till handledare Bertil Thomas för råd och vägledning under arbetets gång.

Summary

This report is a comparison between different methods for tuning PID-controllers. Ziegler-Nichols has been the dominating method in the process industry for a long time, but there are a number of other methods that are claimed to be better from one or another aspect. The purpose of this report is to investigate the advantages and disadvantages of the different methods. The other methods that are investigated are the AMIGO methods, the Lambda method and a new method presented by Kristiansson and Lennartson.

The computer program Matlab with the software tool Simulink was used to simulate different types of processes and feedback systems and to present a number of graphs. The methods have been tested on a real process and evaluated by looking at a number of properties that define a well regulated process.

The simulations show that there are several methods that work better than Ziegler-Nichols, but there are no method that are good for all type of processes. The choice of method should be based on the system properties and on the process. The Lambda method turns out to provide a very robust regulation and fits systems that require a careful regulation. In cases where an aggressive and faster regulation is required, the AMIGO methods or the similar Kristiansson-Lennartson method may be preferred.

Thank you to Bertil Thomas for advice and guidance during the preparation of this report.

The report is written in Swedish.

Innehåll

1. Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Uppgift.....	1
1.3 Syfte.....	1
1.4 Avgränsningar.....	1
1.5 Arbetsmetod.....	1
2. Teoretisk bakgrund	2
2.1 Processer	2
2.1.1 Processer med flera tidskonstanter	4
2.1.2 Processer med dödtid.....	5
2.1.3 Processer med integration	5
2.1.4 Processer med översväng	6
2.2 Egenskaper	7
2.2.1 Stabilitet.....	7
2.2.2 Snabbhet	8
2.2.3 Noggrannhet och robusthet.....	8
2.2.4 Störningsdämpning.....	8
2.3 PID-regulatorn	9
2.3.1 Proportionell, integrerande och deriverande verkan.....	9
2.3.2 Överföringsfunktion	9
2.4 Metoder.....	10
2.4.1 Ziegler-Nichols ¹ stegsvarsmetod.....	10
2.4.2 AMIGO ¹ -metoden baserad på stegsvarsexperiment.....	10
2.4.3 Lambdametoden	11
2.4.4 Ziegler-Nichols ² självsvängningsmetod	12
2.4.5 AMIGO ² -metoden baserad på självsvängning	12
2.4.6 Kristianssons-Lennartsons metod.....	12
3. Simuleringar och resultat	14
3.1 Process med två tidskonstanter	14
3.1.1 Stegvarsbaserade metoder.....	14
3.1.2 Självsvängningsbaserade metoder.....	17
3.2 Process med tre tidskonstanter	18

3.2.1 Stegsvarsbaserade metoder.....	18
3.2.2 Självsvängningsbaserade metoder.....	21
3.3 Integrerande process	24
3.3.1 Stegsvarsbaserade metoder.....	24
3.3.2 Självsvängningsbaserade metoder.....	26
3.4 Process med översväng.....	27
3.4.1 Stegsvarsbaserade metoder.....	27
3.4.2 Självsvängningsbaserade metoder.....	30
3.5 Process med dödtid om 1 sekund	32
3.5.1 Stegsvarsbaserade metoder.....	32
3.5.2 Självsvängningsbaserade metoder.....	35
3.6 Process med dödtid om 4 sekunder.....	38
3.6.1 Stegsvarsbaserade metoder.....	38
3.6.2 Självsvängningsbaserade metoder.....	40
3.7 Process med dödtid om 8 sekunder.....	44
3.7.1 Stegsvarsbaserade metoder.....	44
3.7.2 Självsvängningsbaserade metoder.....	46
4. Verifiering på verklig process	50
4.1 Introduktion.....	50
4.2 Stegsvars- och självsvängningsexperiment	51
4.3 Resultat.....	52
4.3.1 Stegsvarsbaserade metoder.....	52
4.3.2 Självsvängningsbaserade metoder.....	56
4.4 Störningsdämpning	58
4.4.1 Stegsvarsbaserade metoder.....	58
4.4.2 Självsvängningsbaserade metoder.....	61
5. Diskussion och slutsatser	63
Källförteckning.....	66

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Ziegler-Nichols metoder har under lång tid varit de mest kända och dominerande tumregelmetoderna för inställning av PID-regulatorer inom processindustrin. Under de senare åren har det dock kommit fram en hel del nya metoder som påstås vara bättre än Ziegler-Nichols metoder i det ena eller andra avseendet. Några sådana metoder är AMIGO-metoderna, Lambdametoden och Kristianssons-Lennartsons metod.

1.2 Uppgift

Examensarbetet har gått ut på att undersöka ett antal olika metoder för dimensionering av PID-regulatorer. Fördelar och nackdelar med de olika metoderna har undersökts och en jämförelse mellan metoderna som redogör för vilken som passar bäst i olika situationer har presenterats. Slutsatser har dragits utifrån resultat och simuleringar.

Lämpliga metoder att studera har varit Ziegler-Nichols metoder, AMIGO-metoderna, Lambdametoden och Kristianssons-Lennartsons metod. Processerna som använts för att testa metoderna är de vanligast förekommande i processreglering, det vill säga processer med två eller tre tidskonstanter, processer med dödtid av olika längd, processer med integration samt processer med översväng.

Fokus har lagts på beräkningar med Matlab, simulering av resultat och att använda sig av olika typer av datorprogram för att beräkna parametrar och dra slutsatser.

1.3 Syfte

Syftet har varit att undersöka för- och nackdelar med olika nya dimensioneringsmetoder. Ett bisyfte har också varit att arbetet ska ge fördjupade kunskaper i dimensionering utifrån de grundkunskaper som utbildningen gett samt att ge praktisk erfarenhet av olika programvaror som används inom reglerteknik.

1.4 Avgränsningar

Studien inkluderade enbart ideala PID-regulatorer på parallellform. Vid simuleringar av stegsvar och störningar användes endast enhetssteg för att underlätta beräkningarna. En begränsning som uppstod vid simuleringarna och som beror på Simulinks numeriska metoder gör att insvängningsförloppet för vissa processer i figuren är ganska kort. Ritas metoderna var för sig ser man däremot att ingen metod ger kvarstående fel. Det finns ett stort antal begrepp att diskutera när egenskaper för system analyseras. Arbetet begränsades dock till ett mindre antal egenskaper.

1.5 Arbetsmetod

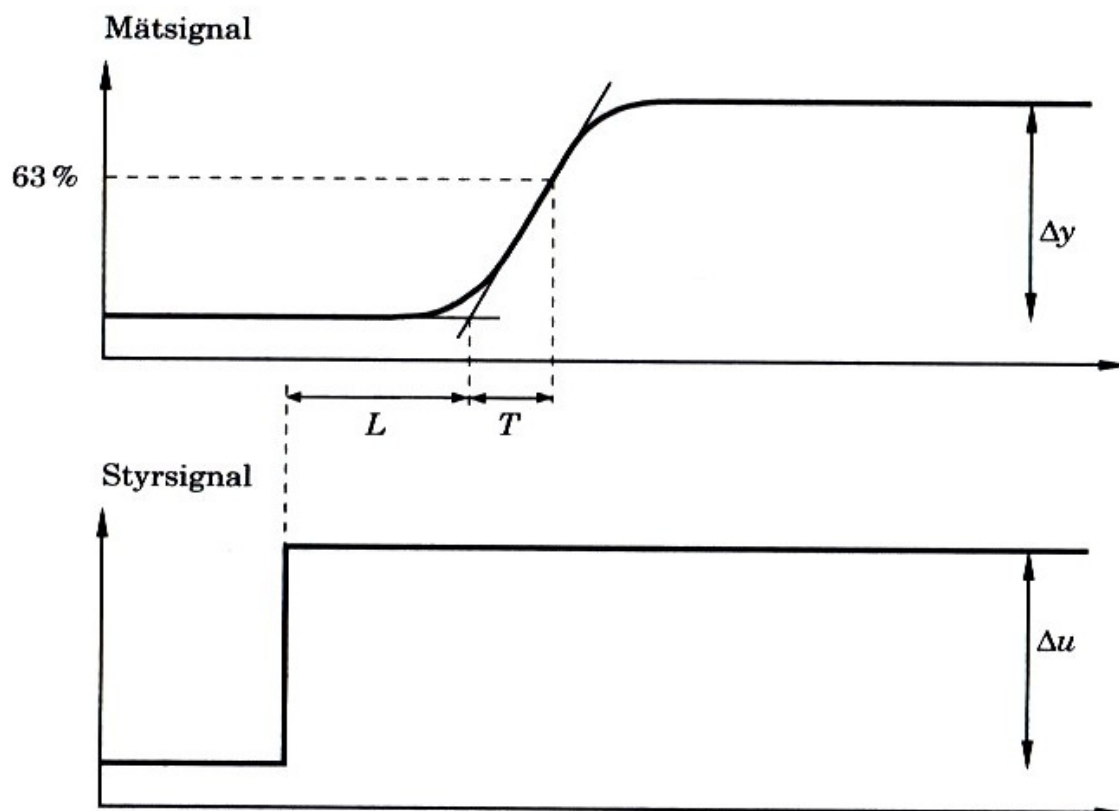
Arbetet var av teoretisk karaktär vilket krävde att en stor del kunskap inhämtades genom litteratur och internet. Datorprogrammet Matlab med tilläggspaketet Control Toolbox samt programpaketet Simulink har använts för simulering och beräkningar. En verklig process användes för att verifiera de teoretiska resultaten.

2. Teoretisk bakgrund

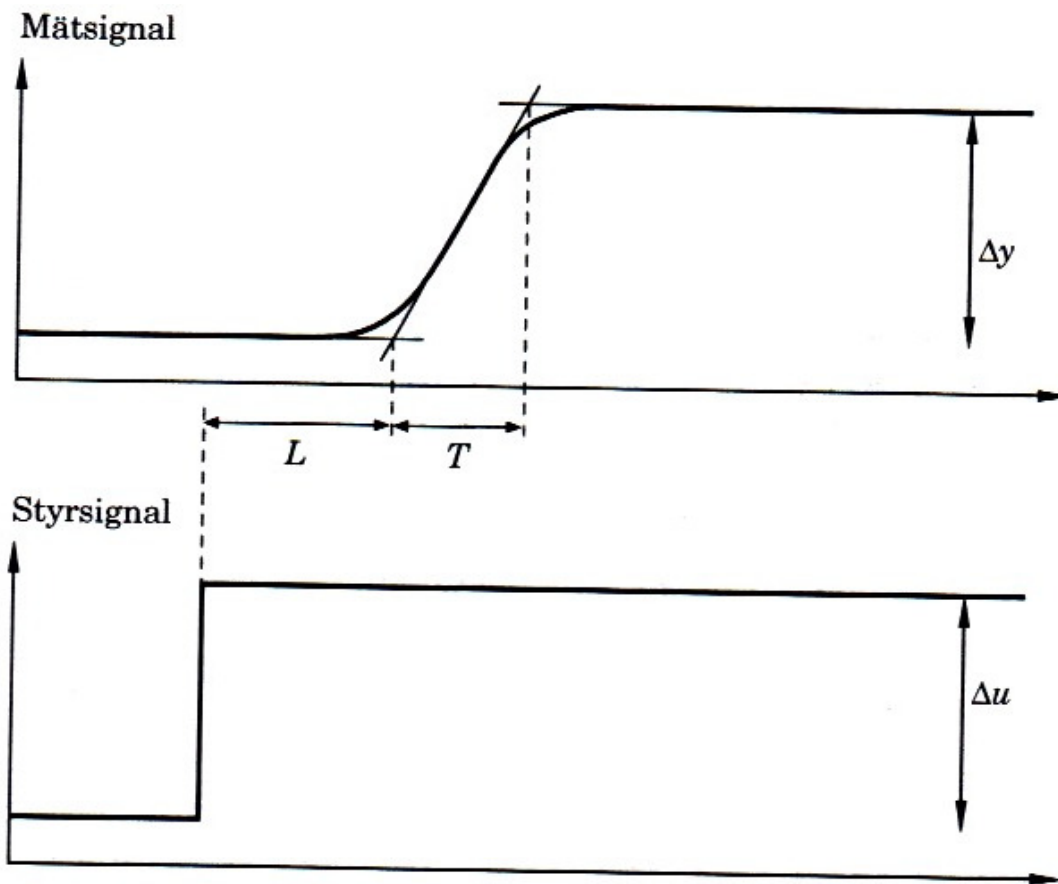
Detta avsnitt syftar till att ge läsaren en kort introduktion till olika processtyper och egenskaper för system samt en redovisning av de olika metoder som förekommer i detta arbete. Då avsnittet inte innehåller någon bakomliggande teori förutsätts att läsaren har grundläggande kunskaper i reglerteknik och linjära system.

2.1 Processer

Det är stor variation i utseendet på stegsvaret hos olika typer av processer. Den vanligaste typen av process är den självreglerande processen vilket innebär att processvärdet efter en viss tid ställer in sig på ett stabilt värde. Detta kan enkelt modelleras med hjälp av tre parametrar; K , L och T och benämns därför i fortsättningen av denna rapport KLT-processer. Processens förstärkning K_p är ett mått på kvoten mellan mätvärde och styrsignal ($\Delta y/\Delta u$). Detta arbete begränsas till användningen av enhetssteg vid simulering av stegsvar. Det betyder att förstärkningen kan läsas av direkt som mätvärdet (Δy) i stegsvaret. L definieras som processens dödtid och T är tidskonstanten. T definieras vanligtvis som den tid det tar för stegsvaret att genomföra 63 % av förändringen efter att dödtiden passerat enligt figur 2.1. I detta arbete benämns denna variabel $T_{63\%}$. Ziegler-Nichols metoder använder dock en definition på T som tiden mellan tangenternas skärning med de stationära nivåerna enligt figur 2.2. Variabeln benämns här $T_{100\%}$ (Forsman 2005).

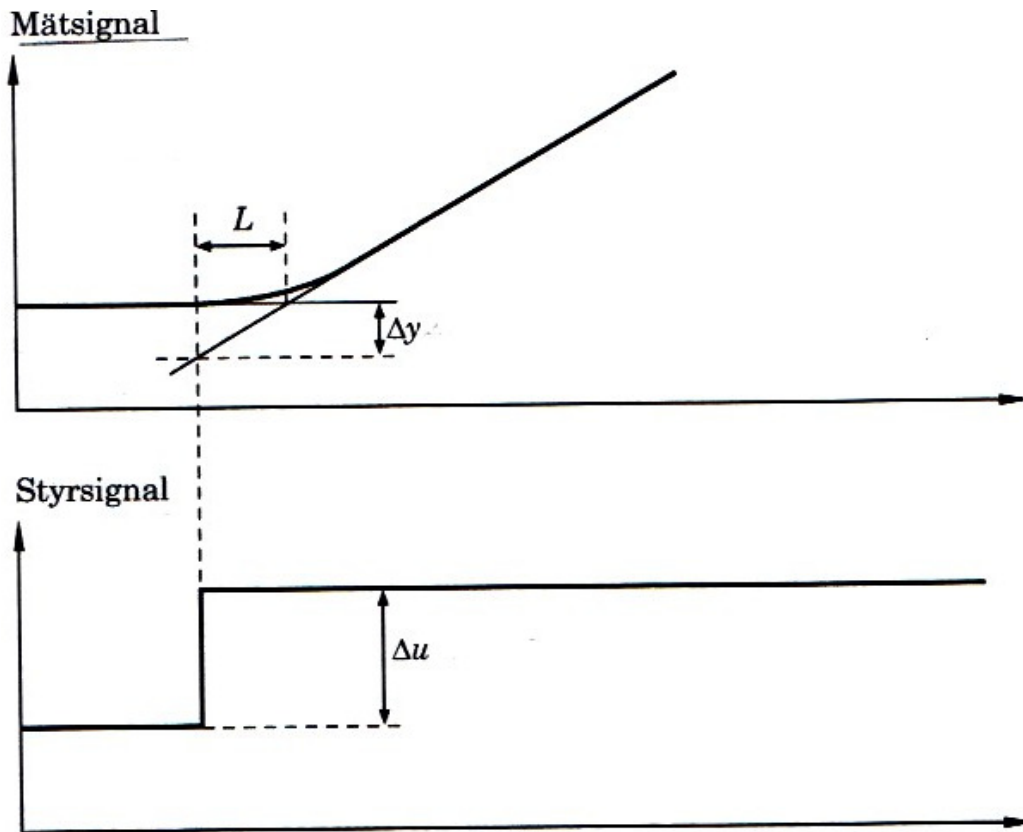


Figur 2.1: Parametrar för bestämning av K_p , L och $T_{63\%}$ ur ett stegvarsexperiment, alternativ 1



Figur 2.2: Parametrar för bestämning av K_p , L och $T_{100\%}$ ur ett stegsvarsexperiment, alternativ 2

Andra typer av processer som förekommer i det här arbetet avviker från detta utseende eftersom de inte är självreglerande och inte kan modelleras enligt ovanstående, då det inte går att mäta tidskonstanten. Ett exempel är den integrerande processen. En integrerande process har oändligt stor statisk förstärkning och man brukar därför istället ange hastighetsförstärkningen K_v , som talar om hur snabbt ärvärdet växer. K_v definieras som kvoten mellan mätvärdesförändringen och dödtiden ($\Delta y/L$) vid simulering med enhetssteg, se figur 2.3. Dödtiden går att bestämma på samma sätt som för KLT-processer (Hägglund 2008).



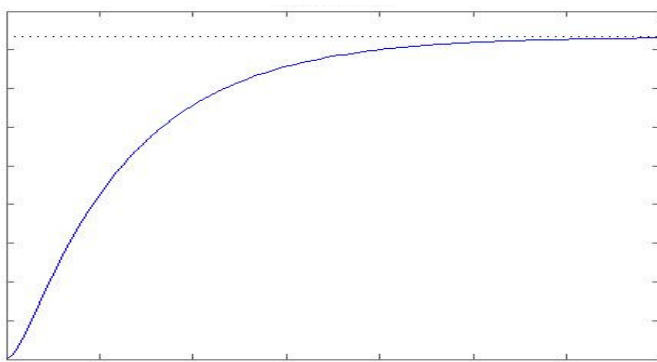
Figur 2.3: Parametrar för bestämning av K_v och L för integrerande processer

Följande typer av processer kommer att behandlas i rapporten.

2.1.1 Processer med flera tidskonstanter

Denna typ av process har stegsvar och överföringsfunktion enligt nedan. Fler tidskonstanter ger mindre lutning på stegsvaret. Detta arbete begränsas till maximalt tre tidskonstanter.

$$G(s) = \frac{K}{(1+T_1s)(1+T_2s)\dots(1+T_ns)}$$

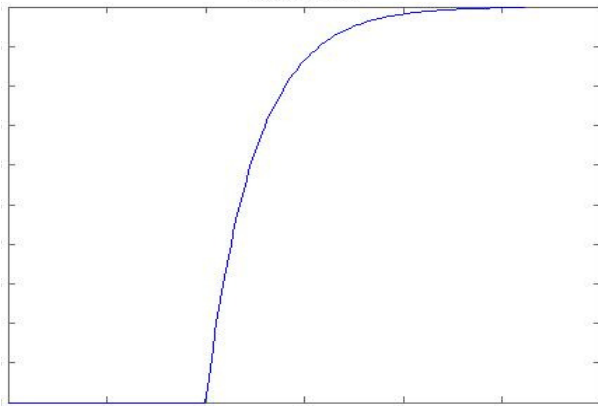


Figur 2.4: Exempel på process med två tidskonstanter

2.1.2 Processer med dödtid

Dödtid innebär att det tar en viss tid innan ändringen på insignalen märks på utsignalen. Generellt är processer med dödtid svårare att reglera än processer utan dödtid. I detta arbete simuleras en process med en tidskonstant och dödtid. Överföringsfunktion och principiellt stegsvar för denna process visas nedan.

$$G(s) = \frac{K e^{Ls}}{1+Ts}$$

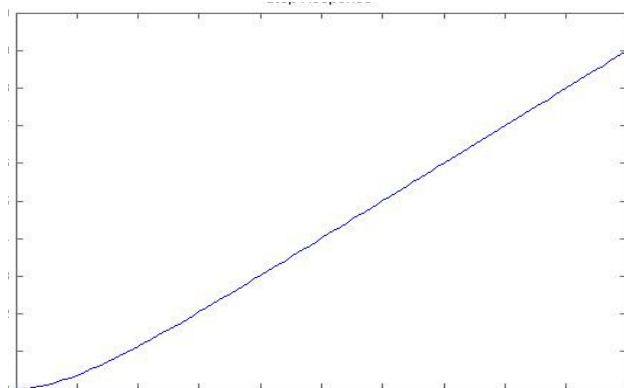


Figur 2.5: Exempel på process med dödtid

2.1.3 Processer med integration

Detta innebär att utsignalen är integralen av insignalen. Det finns alltså endast ett värde på insignalen som gör utsignalen konstant. Arbetet fokuserar på att simulera en process med integration och en tidskonstant. Överföringsfunktion och stegsvar följer nedan.

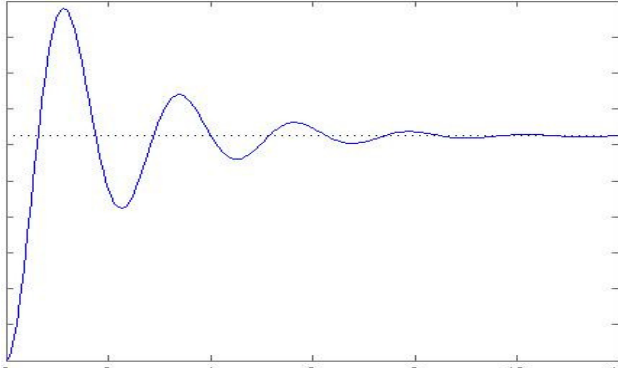
$$G(s) = \frac{K}{s(1+Ts)}$$



Figur 2.6: Exempel på integrerande process

2.1.4 Processer med översväng

Processer med översväng har ett oscillativt stegsvar. Storleken på översvängen anges i procent av jämviktsvärdet och betecknas M . Denna typ av stegsvar förekommer ofta i återkopplade system och har olika utseende och överföringsfunktion (Thomas 2008). I figur 2.7 visas ett exempel för en process med två tidskonstanter.



Figur 2.7: Exempel på process med översväng

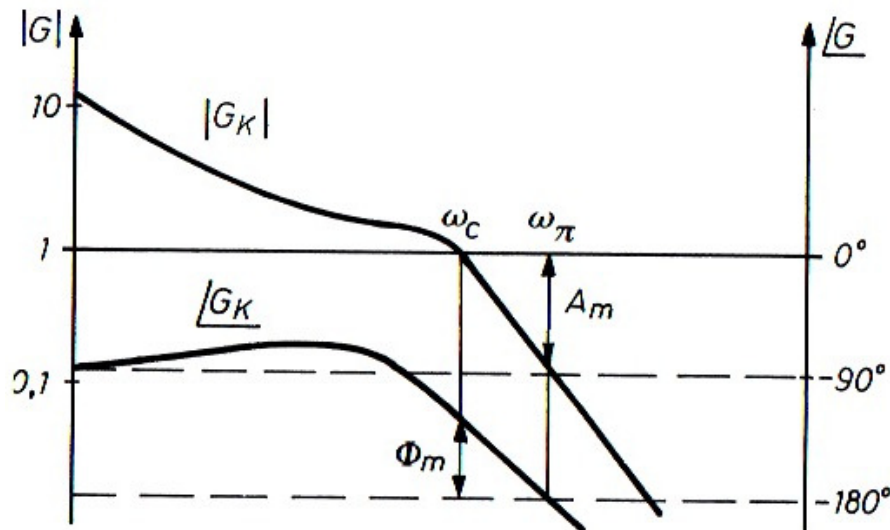
2.2 Egenskaper

För att kunna jämföra olika dimensioneringsmetoder behövs ett mått på vad som kännetecknar en bra reglerad process. I detta avsnitt förklaras de begrepp som diskuteras i den här rapporten.

2.2.1 Stabilitet

Stabilitet är ett viktigt begrepp när man behandlar återkopplade processer eftersom man måste kunna garantera att utsignalen från ett system inte plötsligt växer okontrollerat eller pendlar med växande amplitud. Felaktiga inställningar av regulatorn eller fel typ av regulator leder till instabilitet hos återkopplade system. Ett sätt att teoretiskt bestämma graden av stabilitet hos ett system är genom stabilitetsmarginaler. Ju större dessa marginaler är desto bättre stabilitet (Thomas 2008).

Amplitudmarginalen A_m anger hur mycket förstärkningen kan öka innan systemet blir instabilt. Den kan avläsas i Bodediagrammet som avståndet mellan frekvensaxeln och amplitudkurvan då faskurvan skär vid -180 grader, det vill säga vid självsvängningsfrekvensen ω_π . Normalt önskas $A_m \geq 2,5$ gånger. Fasmarginalen ϕ_m anger hur mycket extra fasvridning som kan införas innan systemet blir instabilt. Den avläses i Bodediagrammet som avståndet mellan faskurvan och -180 grader då amplitudförstärkningen är lika med ett, det vill säga vid överkorsningsfrekvensen ω_c . Normalt önskas $\phi_m \geq 45$ grader (Lennartson 2001).



Figur 2.8: Bestämning av amplitudmarginal och fasmarginal ur Bodediagram

2.2.2 Snabbhet

Snabbheten anger hur fort utsignalen svänger in efter en börvärdesändring och hur snabbt systemet eliminerar reglerfel. Ett snabbt system kräver ofta kraftiga styrsignaler vilket ofta leder till försämrad stabilitet. Det finns flera sätt att mäta systemets snabbhet, men ett problem är att snabbheten är relativ beroende på typ av system (Thomas 2008).

Insvängningstiden $t_{5\%}$ anger hur lång tid det tar för utsignalen att lägga sig inom $\pm 5\%$ av dess slutvärde efter en stegformad börvärdesändring. Insvängningstiden beror alltså på snabbheten, men även på systemets stabilitet. Systemets översväng M definieras enligt avsnitt 2.1.4 och påverkar också snabbheten (Lennartson 2001).

2.2.3 Noggrannhet och robusthet

Noggrannheten anger hur väl systemet klarar att ställa in sig efter en börvärdesändring. I det här arbetet förutsätts att stegformade börvärdesändringar inte ger upphov till kvarstående fel. Begreppet robusthet innebär systemets förmåga att klara processförändringar utan att egenskaperna försämras. Robustheten förknippas med stabilitet på så sätt att goda stabilitetsmarginaler vanligen leder till god robusthet (Thomas 2008).

2.2.4 Störningsdämpning

Reglersystemets huvuduppgift är ofta att kompensera för störningar så att dessa får liten eller ingen inverkan på utsignalen. Regulatorns uppgift är att snabbt upptäcka störningar och justera styrsignalen så att avvikelser försvinner. En nackdel är att god störningsdämpning ofta kräver kraftiga styrsignaler, vilket inte alltid kan åstadkommas i praktiken. Det finns två olika sorters störningar, mätstörningar som uppkommer vid ett återkopplat system, samt processtörningar vid olika punkter i processen. Om en regulator klarar kompensering för stegformade störningar brukar den också klara de flesta lågfrekventa och långsamma störningar (Thomas 2008). Detta arbete begränsas därför till undersökningar av stegformade processtörningar.

2.3 PID-regulatorn

I detta arbete behandlas PID-regulatorn, som är den helt dominerande regulatorn inom processindustrin. Regulatorn bygger på en kombination av proportionell, integrerande och deriverande verkan vars parametrar ställs in inom ett snävt intervall för att ge optimal reglering. PID-regulatorn kan modelleras med följande samband.

$$u(t) = K \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d e'(t) \right]$$

2.3.1 Proportionell, integrerande och deriverande verkan

Proportionell verkan innebär att variationerna i styrsignalen u är proportionella mot reglerfelet e . Förstärkningen K bestämmer hur mycket styrsignalen ska ändras då felet ökar. Ett litet värde på K ger ett stabilt men långsamt system. Ett högt värde ger ett snabbare system på bekostnad av stabiliteten. Ökande värde på K medför också kraftigare styrsignaler.

Integrerande verkan innebär att utsignalen är integralen av reglerfelet. Integreringstiden T_i bestämmer hastigheten på integreringen. För en process som själv saknar integration krävs att regulatorn har integrerande verkan för att det kvarstående felet helt ska elimineras. En regulator behöver dessutom ha en integrerande funktion för att eliminera fel då det förekommer störningar i systemet.

Deriverande verkan innebär att utsignalen beror på derivatan av insignalen e . Deriveringstiden T_d är en konstant. Deriverande verkan används aldrig ensamt utan som ett komplement till andra reglerfunktioner. Den deriverade delen i regulatorn har till uppgift att öka snabbheten och förbättra stabiliteten. En nackdel är att det krävs kraftigare styrsignaler och att regulatorn blir känslig för högfrekventa mätstörningar (Thomas 2008).

2.3.2 Överföringsfunktion

Ur sambandet mellan insignalen och utsignalen fås överföringsfunktionen

$$G_{\text{PID}}(s) = K \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

Om $T_i \gg T_d$ kan denna överföringsfunktion approximeras till

$$G_{\text{PID}}(s) = K \left(\frac{1 + T_i s + T_i T_d s^2}{T_i s} \right)$$

2.4 Metoder

Detta arbete fokuserar på olika typer av tumregelmetoder. Dessa metoder baseras på stegsvarsanalys eller på att man sätter kretsen i självsvängning och utifrån självsvängningens karaktär bestämmer regulatorparametrarna. Jämförelsen inkluderar äldre beprövade metoder och nyare moderna tekniker; Ziegler-Nichols metoder härstammar från 1940-talet och AMIGO-metoden utvecklades under tidigt 2000-tal (Hägglund 2008).

2.4.1 Ziegler-Nichols¹ stegsvarsmetod

Denna metod publicerades 1942 och togs fram genom att man gjorde ett stort antal simuleringar på pneumatiska analogmaskiner (Hägglund 2008). Parametrarna bestäms ur en stegsvarsanalys enligt alternativ 2 i figur 2.2 och sätts enligt tabell 2.1 och 2.2.

Tabell 2.1: Parametrar för KLT-processer

Regulator	K	T _i	T _d
PI	$\frac{0,9T}{K_p L}$	3L	
PID	$\frac{1,2T}{K_p L}$	2L	$\frac{L}{2}$

Tabell 2.2: Parametrar för integrerande processer

Regulator	K	T _i	T _d
PI	$\frac{0,9}{K_v L}$	3L	
PID	$\frac{1,2}{K_v L}$	2L	$\frac{L}{2}$

2.4.2 AMIGO¹-metoden baserad på stegsvarsexperiment

AMIGO står för "Approximate M-constrained Integral Gain Optimization" och denna metod är framtagen under 2000-talet. Den har likheter med Ziegler-Nichols metod, men är istället baserad på simuleringar som utförts med datorer (Hägglund 2008). Parametrarna bestäms ur ett stegsvarsexperiment enligt alternativ 1 i figur 2.1 och sätts enligt tabell 2.3 och 2.4.

Tabell 2.3: Parametrar för KLT-processer

Regulator	K	T _i	T _d
PI	$\frac{1}{K_p} (0,15 + 0,35 \frac{T}{L} - \frac{T^2}{(L+T)^2})$	$0,35L + \frac{13LT^2}{T^2 + 12LT + 7L^2}$	
PID	$\frac{1}{K_p} (0,2 + 0,45 \frac{T}{L})$	$\frac{0,4L + 0,8T}{L + 0,1T} L$	$\frac{0,5LT}{0,3L + T}$

Tabell 2.4: Parametrar för integrerande processer

Regulator	K	T _i	T _d
PI	$\frac{0,35}{K_v L}$	13,4L	
PID	$\frac{0,45}{K_v L}$	8L	0,5L

2.4.3 Lambdametoden

Lambdametoden skiljer sig från metoderna ovan genom en parameter som användaren själv kan justera. Metoden används flitigt i pappersindustrin och togs fram på 1960-talet. Den ursprungliga metoden behandlade enbart PI-regulatorn, men det går att härleda formler även för PID-regulatorer. Lambdametoden ger inga parametrar för integrerande processer (Hägglund 2008).

För PID-regulatorn på parallellform tas parametrarna fram ur ett stegsvar enligt alternativ 1 i figur 2.1 och sätts enligt tabell 2.5.

Tabell 2.5: Parametrar för KLT-processer

Regulator	K	T _i	T _d
PI	$\frac{1}{K_p} \frac{T}{L + \lambda}$	T	
PID	$\frac{1}{K_p} \frac{L/2 + T}{L/2 + \lambda}$	$\frac{L}{2} + T$	$\frac{LT}{L + 2T}$

Valet av lambda påverkar snabbheten och robustheten på systemet. Ett lågt värde på lambda ger en aggressiv och snabb reglering medan ett högre värde ger en defensiv och mer robust reglering. En allt för aggressiv reglering kan leda till instabilitet vid processförändringar (Forsman 2005).

Det finns ett antal förslag i litteraturen om hur lambda ska väljas. En vanlig tumregel är att välja lambda som en faktor gånger tidskonstanten. Följande förslag rekommenderas av Skogsindustriernas Teknik AB i rapport SSG 5253 och används vid simuleringar i det här arbetet.

$\lambda = T$ för aggressiv reglering

$\lambda = 2T$ för säker reglering

$\lambda = 3T$ för robust reglering

$\lambda = \max(T, 3L)$ för processer med lång dödtid

Denna regel medför att man får samma tidskonstant i det återkopplade systemet som i processen (Hägglund 2008).

2.4.4 Ziegler-Nichols² självsvängningsmetod

Denna metod som grundar sig på ett självsvängningsexperiment presenterades 1942 samtidigt som Ziegler och Nichols andra metod. Experimentet går ut på att man först ställer in PID-regulatorn med $T_d = 0$ och $T_i = \infty$, det vill säga som en P-regulator. Därefter ökar man förstärkningen så att systemet precis börjar självsvänga. Man läser sedan av vid vilken förstärkning K_0 detta sker och bestämmer periodtiden T_0 för svängningarna. Därefter väljer man parametrar med hjälp av tabell 2.6 (Thomas 2008).

Tabell 2.6: Parametrar för alla typer av processer

Regulator	K	T_i	T_d
PI	$0,45K_0$	$0,85T_0$	
PID	$0,6K_0$	$0,5T_0$	$0,125T_0$

2.4.5 AMIGO²-metoden baserad på självsvängning

AMIGO-metoden finns också i en variant som baseras på ett självsvängningsexperiment. Denna metod kräver dock även ett stegsvarsexperiment då man behöver veta förstärkningen K_p . K_p tas fram enligt alternativ 1 i figur 2.1. Förstärkningen K_0 och periodtiden T_0 bestäms på samma sätt som för Ziegler-Nichols självsvängningsmetod och parametrarna sätts enligt tabell 2.7. Denna variant av AMIGO-metoden fungerar inte för integrerande processer (Hägglund 2008).

Tabell 2.7: Parametrar för KLT-processer

Regulator	K	T_i	T_d
PI	$0,16K_0$	$\frac{K_p K_0}{K_p K_0 + 4,5} T_0$	
PID	$\frac{0,3(K_p K_0)^4 - 0,1}{(K_p K_0)^4} K_0$	$\frac{0,6K_p K_0}{K_p K_0 + 2} T_0$	$\frac{0,15(K_p K_0 - 1)}{K_p K_0 - 0,95} T_0$

2.4.6 Kristianssons-Lennartsons metod

Denna metod har utvecklats under de senaste åren på Chalmers och baseras på samma självsvängningsexperiment som för de två metoderna ovan. Dessutom tar man reda på processens amplitudförstärkning vid självsvängningsfrekvensen $|G(j\omega_\pi)|$ och lågfrekvensförstärkningen $|G(j0)|$. Först beräknas processens kappatal κ (Thomas 2008).

$$\kappa = \frac{|G(j\omega_\pi)|}{|G(j0)|}$$

PID-regulatorn förutsätts i denna metod ha ett justerbart lågpassfilter på derivatadeln och ska vara parametriserad på formen nedan. Eftersom den innehåller ett lågpassfilter är den inte helt jämförbar med de andra metoderna men undersöks ändå i detta arbete.

$$G_{\text{PID}}(s) = K_i \frac{1 + 1,6\tau s + (\tau s)^2}{s(1 + s\frac{\tau}{\beta})}$$

Därefter bestäms K_i , τ och β genom följande formler (Lennartson 2001).

$$K_\infty = \frac{13 - 20\kappa}{|G(j0)|} \text{ för fallet } \kappa < 0,5 \text{ eller } K_\infty = \frac{3}{|G(j0)|} \text{ för fallet } \kappa > 0,5$$

$$K_i = \frac{(1,6\kappa^2 - 2,3\kappa + 1,1)\omega_\pi}{|G(j0)|}$$

$$\tau = \frac{1}{\omega_\pi(0,37 + \kappa)}$$

$$\beta = \frac{K_\infty}{\tau K_i}$$

där ω_π avser självsvängningsfrekvensen för processen.

Genom identifiering och jämförelse med PID-regulatorns överföringsfunktion enligt avsnitt 2.3.2 kan man översätta till de tidigare använda parametrarna enligt nedan. Metoden ger inga separata förslag till inställningar vid enbart PI-reglering.

$$K = K_i * T_i$$

$$T_i = 1,6\tau$$

$$T_d = \frac{\tau^2}{T_i}$$

Termen $1 + s\frac{\tau}{\beta}$ i nämnaren motsvarar alltså lågpasfiltret.

3. Simuleringar och resultat

I detta avsnitt presenteras ett stort antal tabeller och grafer för att visa hur de olika metoderna fungerar vid PID- och PI-reglering. Simuleringarna har utförts med Matlab och Simulink. Först har stegsvaret för processen simulerats och parametrar för de olika stegsvarsbaserade metoderna har beräknats. Därefter visas stegsvaret vid en stegformad börvärdesändring för det återkopplade systemet och tabeller med stabilitetsmarginaler, insvängningstid och översväng för de simulerade systemen presenteras. För att beräkna stabilitetsmarginalerna ritades Bodediagram för kretsöverföringen. Sist visas hur det återkopplade systemet reagerar på stegformade störningar innan processen. För självsvängningsbaserade metoder har samma arbetsgång använts, med skillnaden att det även genomfördes ett självsvängningsexperiment.

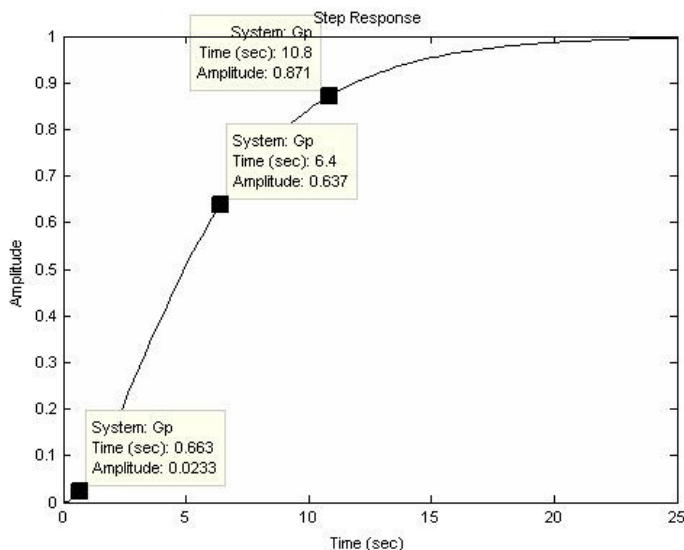
3.1 Process med två tidskonstanter

I denna simulering användes följande överföringsfunktion med tidskonstanter $T_1 = 2$ sekunder och $T_2 = 4$ sekunder.

$$G(s) = \frac{1}{(1+2s)(1+4s)}$$

3.1.1 Stegsvarsbaserade metoder

Först utfördes ett stegsvarexperiment på processen.



Figur 3.1: Stegvar för process med två tidskonstanter $T_1 = 2$ och $T_2 = 4$

I figur 3.1 kan en tangent dras för att utläsa att $T_{100\%} = 10,1$ sekunder. Dessutom syns att $T_{63\%} = 5,7$ sekunder, $K_p = 1$ gånger och $L = 0,7$ sekunder. Därmed sätts parametrarna för stegsvarsbaserade metoder enligt tabell 3.1 för PID-reglering och enligt tabell 3.2 för PI-reglering.

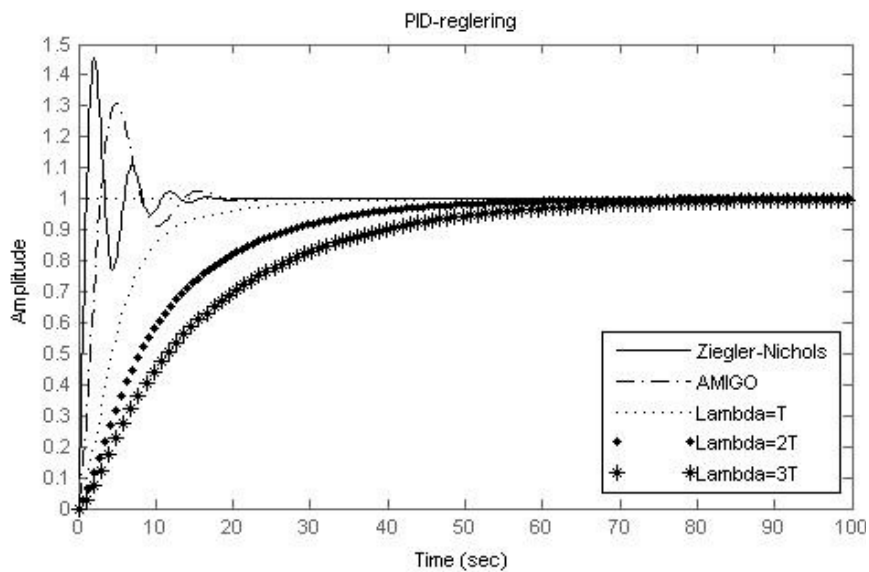
Tabell 3.1: Parameterval för PID-reglering vid stegsvarsbaserade metoder

Metod	K	T _i	T _d
Ziegler-Nichols ¹	17,31	1,40	0,35
AMIGO ¹	3,86	2,67	0,34
Lambda $\lambda = T$	1,00	6,05	0,33
Lambda $\lambda = 2T$	0,51	6,05	0,33
Lambda $\lambda = 3T$	0,35	6,05	0,33

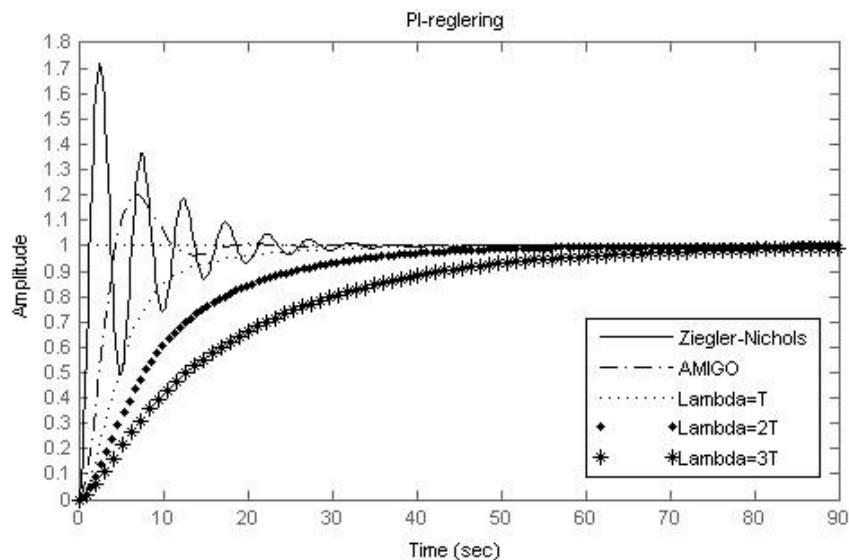
Tabell 3.2: Parameterval för PI-reglering vid stegsvarsbaserade metoder

Metod	K	T _i
Ziegler-Nichols ¹	12,99	2,10
AMIGO ¹	2,21	3,77
Lambda $\lambda = T$	0,89	5,70
Lambda $\lambda = 2T$	0,47	5,70
Lambda $\lambda = 3T$	0,32	5,70

I figur 3.2 och 3.3 visas stegsvaret för det återkopplade systemet vid olika metoder för PID- respektive PI-reglering.



Figur 3.2: Stegsvär för olika stegsvarsbaserade metoder vid PID-reglering



Figur 3.3: Stegsvär för olika stegsvärsbaserade metoder vid PI-reglering

För PID- respektive PI-reglering utfördes sedan en analys av stegsvaret för det återkopplade systemet och Bodediagrammet undersöktes för kretsöverföringen. Stabilitetsmarginaler, insvängningstid och översväng uppmättes enligt tabell 3.3 och 3.4. I detta fall blir amplitudmarginalen oändlig då systemet aldrig självsvänger teoretiskt.

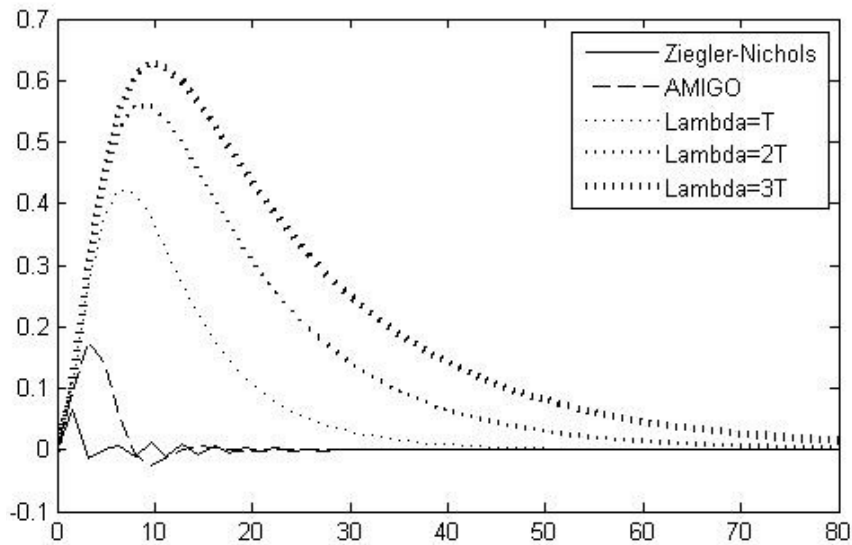
Tabell 3.3: Stabilitetsmarginaler, insvängningstid och översväng för det återkopplade systemet i figur 3.2

Metod	$A_m(\text{ggr})$	$\varphi_m(\text{grader})$	$T_{5\%}(\text{s})$	$M(\%)$
Ziegler-Nichols ¹	∞	29	9,5	46
AMIGO ¹	∞	40,1	12	31
Lambda $\lambda = T$	∞	83,5	17,5	0
Lambda $\lambda = 2T$	∞	88,9	36,2	0
Lambda $\lambda = 3T$	∞	89,6	52	0

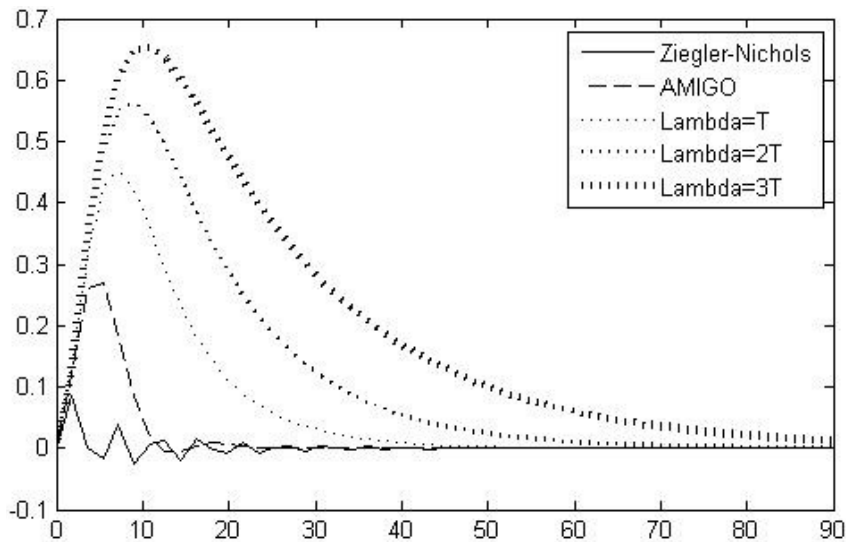
Tabell 3.4: Stabilitetsmarginaler, insvängningstid och översväng för det återkopplade systemet i figur 3.3

Metod	$A_m(\text{ggr})$	$\varphi_m(\text{grader})$	$T_{5\%}(\text{s})$	$M(\%)$
Ziegler-Nichols ¹	∞	12,2	22,5	72
AMIGO ¹	∞	48,3	10	20
Lambda $\lambda = T$	∞	80,9	18	0
Lambda $\lambda = 2T$	∞	87,1	34	0
Lambda $\lambda = 3T$	∞	88,8	56,5	0

Figur 3.4 och 3.5 visar hur metoderna fungerar vid stegformade störningar.



Figur 3.4: Störningsdämpning för stegvarsbaserade metoder vid PID-reglering



Figur 3.5: Störningsdämpning för stegvarsbaserade metoder vid PI-reglering

3.1.2 Självsvängningsbaserade metoder

En process med två tidskonstanter går inte att reglera med någon metod baserad på självsvängningsexperiment eftersom faskurvan aldrig skär -180 grader och alltså aldrig självsvänger teoretiskt. I praktiken självsvänger dock alla processer vid något tillfälle eftersom det uppstår dödtider på grund av utrustningen eller i datorerna.

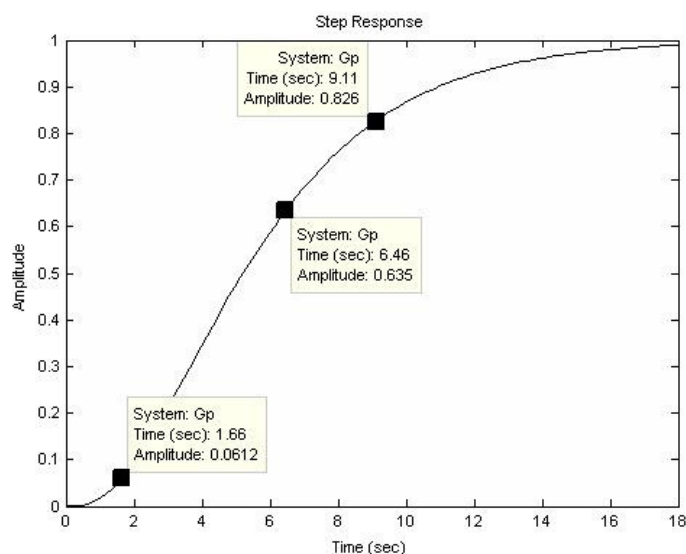
3.2 Process med tre tidskonstanter

I denna simulering användes följande överföringsfunktion med tidskonstanter $T_1 = 1$ sekund, $T_2 = 2$ sekunder och $T_3 = 3$ sekunder.

$$G(s) = \frac{1}{(1+s)(1+2s)(1+3s)}$$

3.2.1 Stegvarsbaserade metoder

Först utfördes ett stegvarsexperiment på processen.



Figur 3.6: Stegvar för process med tre tidskonstanter $T_1 = 1$, $T_2 = 2$ och $T_3 = 3$

Ur figur 3.6 kan utläsas att $T_{100\%} = 7,4$ sekunder, $T_{63\%} = 4,8$ sekunder, $K_p = 1$ gånger och $L = 1,7$ sekunder. Därmed sätts parametrarna för stegvarsbaserade metoder enligt tabell 3.5 för PID-reglering och enligt tabell 3.6 för PI-reglering.

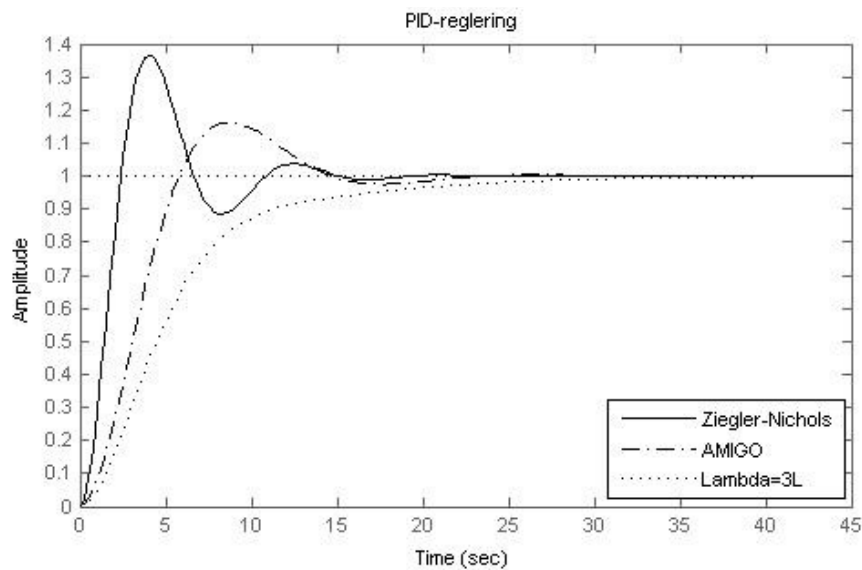
Tabell 3.5: Parameterval för PID-reglering vid stegvarsbaserade metoder

Metod	K	T_i	T_d
Ziegler-Nichols ¹	5,22	3,40	0,85
AMIGO ¹	1,47	3,52	0,77
Lambda $\lambda = 3L$	0,95	5,65	0,72

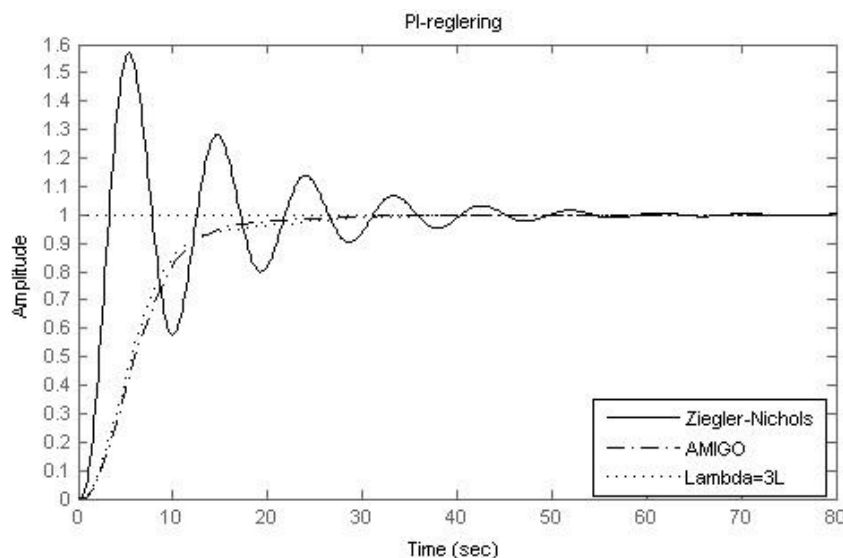
Tabell 3.6: Parameterval för PI-reglering vid stegvarsbaserade metoder

Metod	K	T_i
Ziegler-Nichols ¹	3,92	5,10
AMIGO ¹	0,59	4,20
Lambda $\lambda = 3L$	0,71	4,80

I figur 3.7 och 3.8 visas stegsvaret för det återkopplade systemet vid olika metoder för PID- respektive PI-reglering.



Figur 3.7: Stegsvär för olika stegsvärsbaserade metoder vid PID-reglering



Figur 3.8: Stegsvär för olika stegsvärsbaserade metoder vid PI-reglering

För PID- respektive PI-reglering utfördes sedan en analys av stegsvaret för det återkopplade systemet och Bodediagrammet undersöktes för kretsöverföringen. Stabilitetsmarginaler, insvängningstid och översväng uppmättes enligt tabell 3.7 och 3.8.

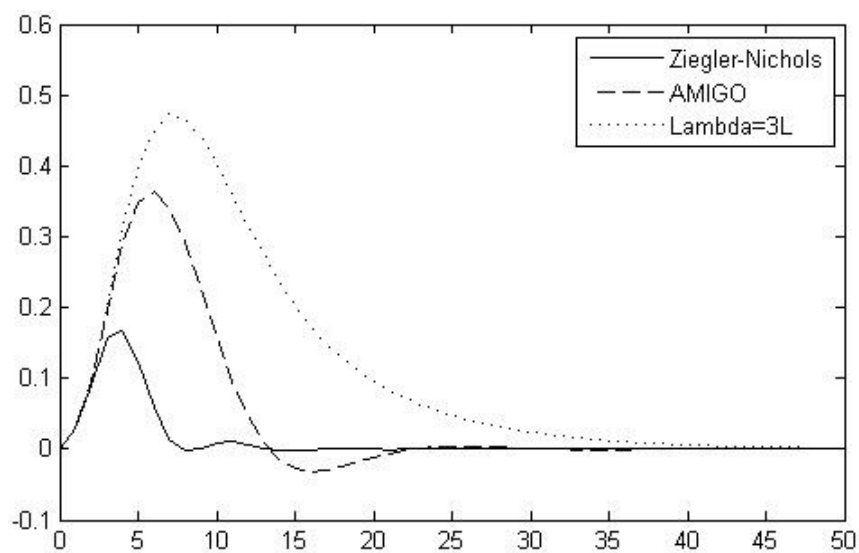
Tabell 3.7: Stabilitetsmarginaler, insvängningstid och översväng för det återkopplade systemet i figur 3.7

Metod	$A_m(\text{ggr})$	$\varphi_m(\text{grader})$	$T_{5\%}(\text{s})$	$M(\%)$
Ziegler-Nichols ¹	∞	35	9,9	36
AMIGO ¹	∞	52	12,7	16
Lambda $\lambda = 3L$	∞	80,7	17,2	0

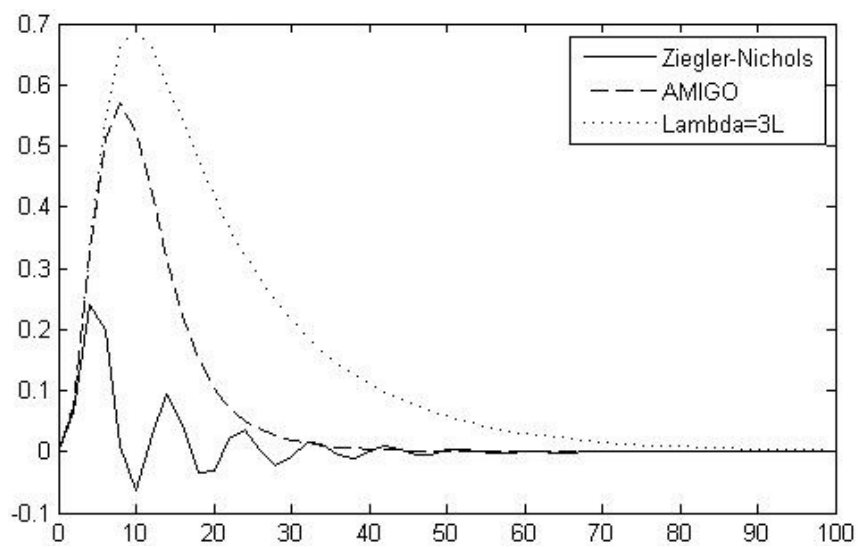
Tabell 3.8: Stabilitetsmarginaler, insvängningstid och översväng för det återkopplade systemet i figur 3.8

Metod	$A_m(\text{ggr})$	$\varphi_m(\text{grader})$	$T_{5\%}(\text{s})$	$M(\%)$
Ziegler-Nichols ¹	1,7	16,7	34,4	57
AMIGO ¹	9,8	73,3	15	0
Lambda $\lambda = 3L$	9,1	75,6	15	0

Figur 3.9 och 3.10 visar hur metoderna fungerar vid stegformade störningar.



Figur 3.9: Störningsdämpning för stegvarsbaserade metoder vid PID-reglering



Figur 3.10: Störningsdämpning för stegvarsbaserade metoder vid PI-reglering

3.2.2 Självsvängningsbaserade metoder

Ur ett självsvängningsexperiment fås att $K_0 = 8,5$ gånger och $T_0 = 6$ sekunder. För Kristianssons-Lennartsons metod gjordes även en analys med Bodediagram där parametrarna bestämdes till $|G(j\omega_\pi)| = 0,1$ gånger, $|G(j0)| = 1$ gånger, $\omega_\pi = 1$ rad/s, $\kappa = 0,1$, $K_\infty = 11$, $K_i = 0,89$, $\tau = 2,13$ och $\beta = 5,8$. Därefter räknades dessa parametrar om till motsvarande parametrar för de andra metoderna enligt avsnitt 2.4.6. Därmed sätts parametrarna för självsvängningsmetoderna enligt tabell 3.9 för PID-reglering och enligt tabell 3.10 för PI-reglering.

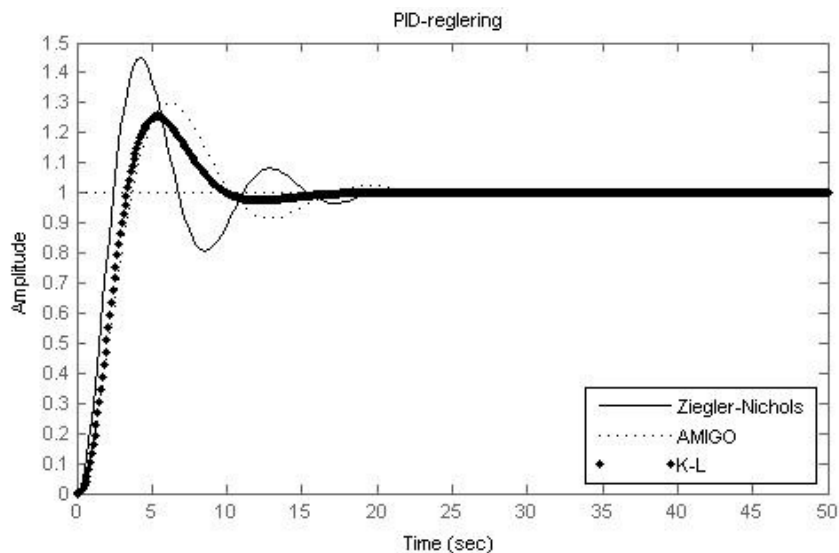
Tabell 3.9: Parameterval för PID-reglering vid självsvängningsmetoder

Metod	K	T_i	T_d
Ziegler-Nichols ²	5,10	3,00	0,75
AMIGO ²	2,55	2,91	0,89
Kristianssons-Lennartson	3,03	3,41	1,33

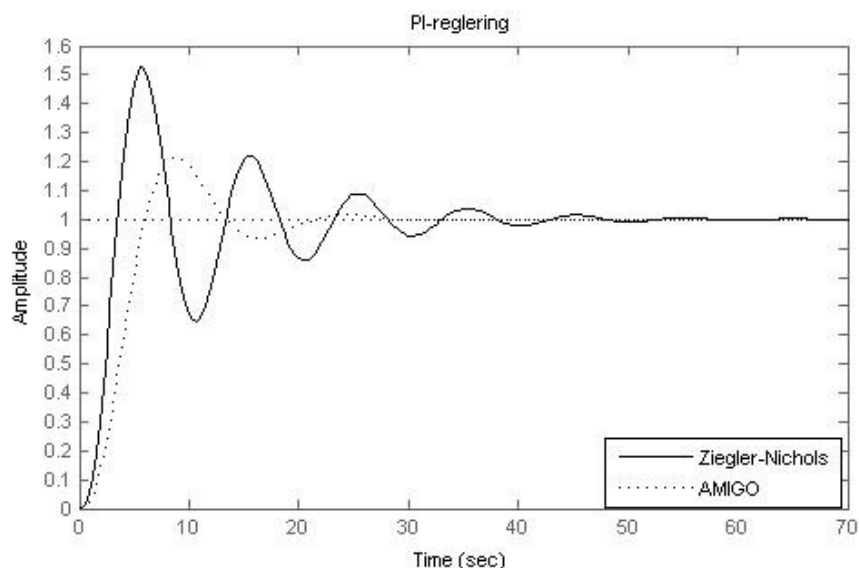
Tabell 3.10: Parameterval för PI-reglering vid självsvängningsmetoder

Metod	K	T_i
Ziegler-Nichols ²	3,83	5,10
AMIGO ²	1,36	3,92

I figur 3.11 och 3.12 visas stegsvaret för det återkopplade systemet vid olika metoder för PID-respektive PI-reglering.



Figur 3.11: Stegsvaret för självsvängningsbaserade metoder vid PID-reglering



Figur 3.12: Stegsvär för självsvängningsbaserade metoder vid PI-reglering

För PID- respektive PI-reglering utfördes sedan en analys av stegsvaret för det återkopplade systemet och Bodediagrammet undersöktes för kretsöverföringen. Stabilitetsmarginaler, insvängningstid och översväng uppmättes enligt tabell 3.11 och 3.12.

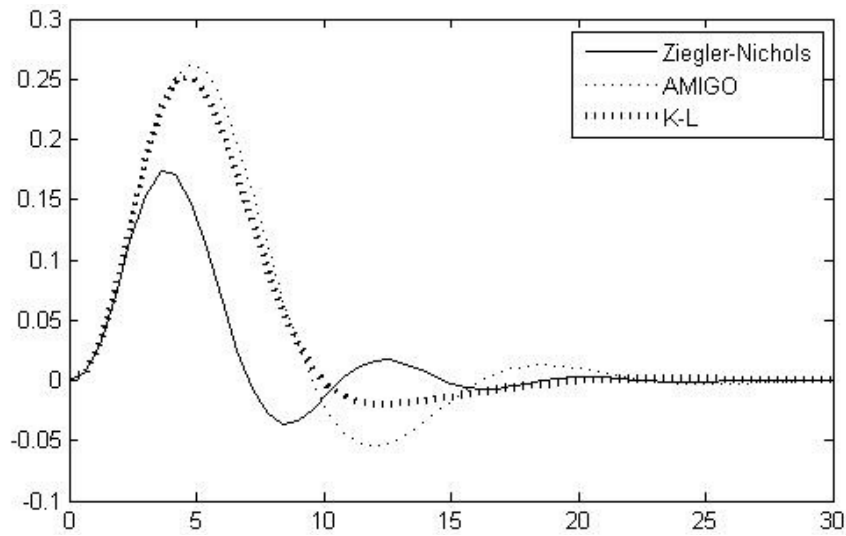
Tabell 3.11: Stabilitetsmarginaler, insvängningstid och översväng för det återkopplade systemet i figur 3.11

Metod	$A_m(\text{ggr})$	$\varphi_m(\text{grader})$	$T_{5\%}(\text{s})$	$M(\%)$
Ziegler-Nichols ²	∞	28,3	14,1	45
AMIGO ²	∞	39,5	15	30
Kristianssons-Lennartson	6,2	45,6	8,5	25

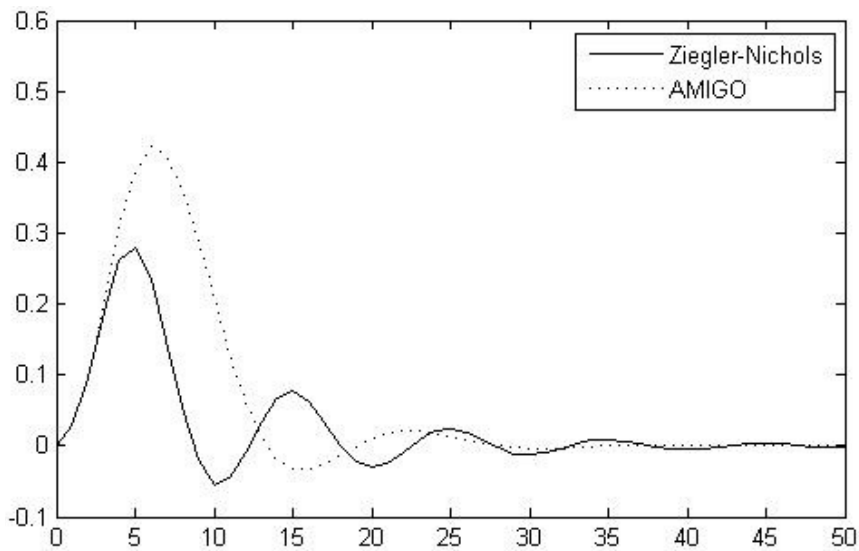
Tabell 3.12: Stabilitetsmarginaler, insvängningstid och översväng för det återkopplade systemet i figur 3.12

Metod	$A_m(\text{ggr})$	$\varphi_m(\text{grader})$	$T_{5\%}(\text{s})$	$M(\%)$
Ziegler-Nichols ²	1,9	20,2	31	53
AMIGO ²	4,2	47,1	18	21

Figur 3.13 och 3.14 visar hur metoderna fungerar vid stegformade störningar.



Figur 3.13: Störningsdämpning för självsvängningsbaserade metoder vid PID-reglering



Figur 3.14: Störningsdämpning för självsvängningsbaserade metoder vid PI-reglering

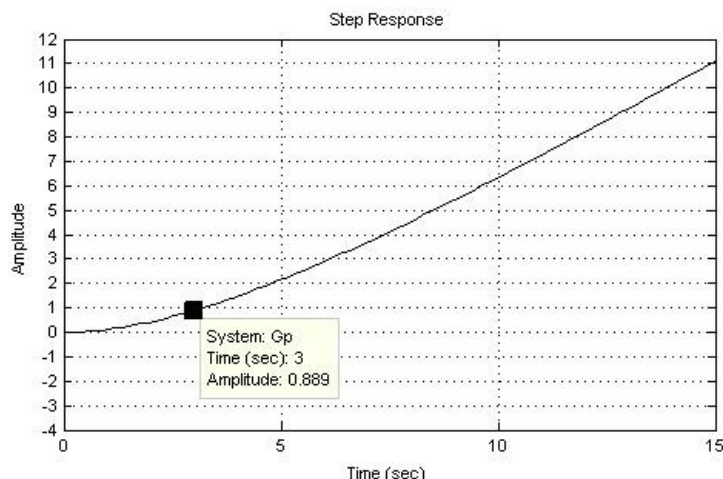
3.3 Integrerande process

I denna simulering användes följande överföringsfunktion med tidskonstant $T = 4$ sekunder.

$$G(s) = \frac{1}{s(1+4s)}$$

3.3.1 Stegvarsbaserade metoder

Först gjordes ett stegvarsexperiment på processen.



Figur 3.15: Stegvar för integrerande process med tidskonstant $T = 4$

Ur figur 3.15 kan utläsas att $K_v = 3$ gånger och $L = 3$ sekunder. Därmed sätts parametrarna för stegvarsbaserade metoder enligt tabell 3.13 för PID-reglering och enligt tabell 3.14 för PI-reglering. Lambdametoden är inte med här då den inte ger några parametrar för integrerande metoder.

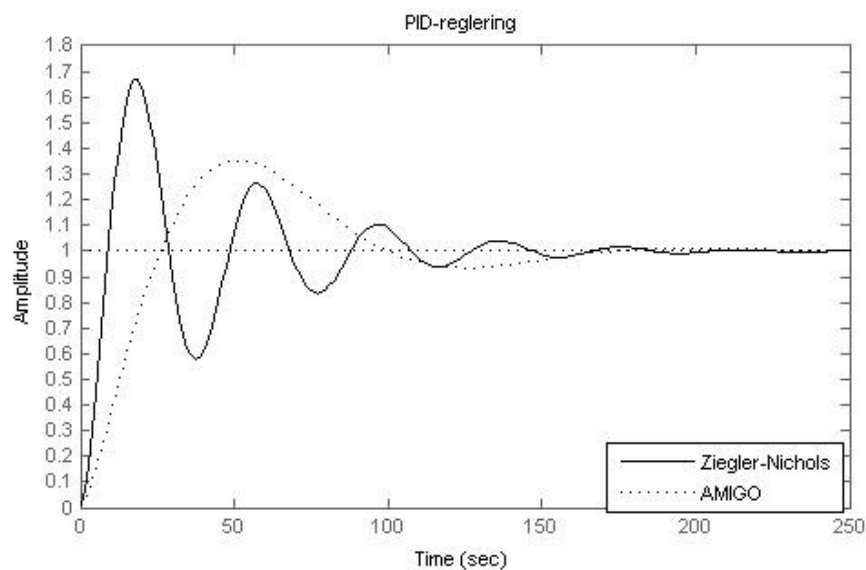
Tabell 3.13: Parametervärden för stegvarsbaserade metoder vid PID-reglering

Metod	K	T_i	T_d
Ziegler-Nichols ¹	0,13	6,00	1,50
AMIGO ¹	0,05	24,00	1,50

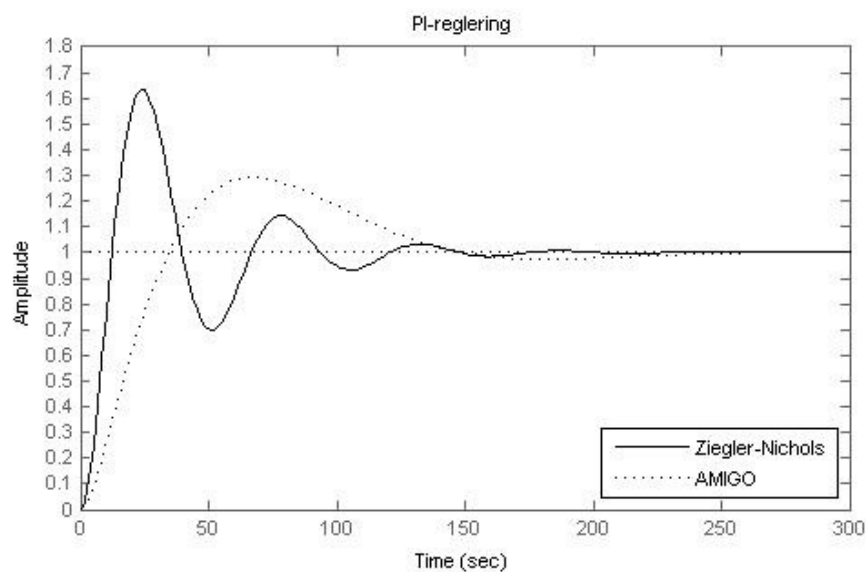
Tabell 3.14: Parametervärden för stegvarsbaserade metoder vid PI-reglering

Metod	K	T_i
Ziegler-Nichols ¹	0,10	9,00
AMIGO ¹	0,04	40,20

I figur 3.16 och 3.17 visas stegsvaret för det återkopplade systemet vid olika metoder för PID- respektive PI-reglering.



Figur 3.16: Stegsvaret för stegsvartsbaserade metoder vid PID-reglering



Figur 3.17: Stegsvaret för stegsvartsbaserade metoder vid PI-reglering

För PID- respektive PI-reglering utfördes sedan en analys av stegsvaret för det återkopplade systemet och Bodediagrammet undersöktes för kretsöverföringen. Stabilitetsmarginaler, insvängningstid och översväng uppmättes enligt tabell 3.15 och 3.16.

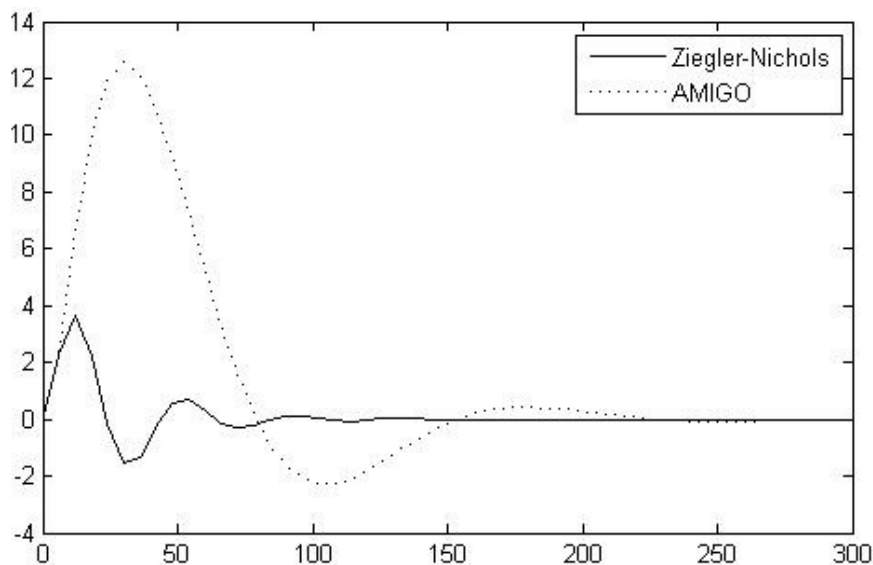
Tabell 3.15: Stabilitetsmarginaler, insvängningstid och översväng för det återkopplade systemet i figur 3.16

Metod	$A_m(\text{ggr})$	$\varphi_m(\text{grader})$	$T_{5\%}(\text{s})$	$M(\%)$
Ziegler-Nichols ¹	∞	18,8	121	67
AMIGO ¹	∞	44,6	139	36

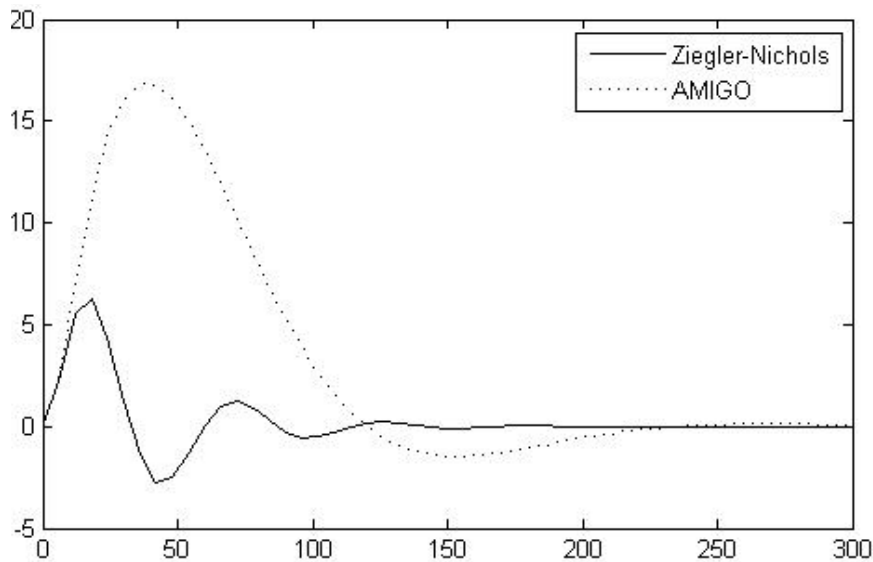
Tabell 3.16: Stabilitetsmarginaler, insvängningstid och översväng för det återkopplade systemet i figur 3.17

Metod	$A_m(\text{ggr})$	$\varphi_m(\text{grader})$	$T_{5\%}(\text{s})$	$M(\%)$
Ziegler-Nichols ¹	∞	21,6	112	63
AMIGO ¹	∞	50,9	131	29

Figur 3.18 och 3.19 visar hur metoderna fungerar vid stegformade störningar.



Figur 3.18: Störningsdämpning för stegvarsbaserade metoder vid PID-reglering



Figur 3.19: Störningsdämpning för stegvarsbaserade metoder vid PI-reglering

3.3.2 Självsvängningsbaserade metoder

Metoder som baseras på självsvängningsexperiment fungerar inte för integrerande processer av samma anledning som för processer med två tidskonstanter. Processen självsvänger aldrig teoretiskt.

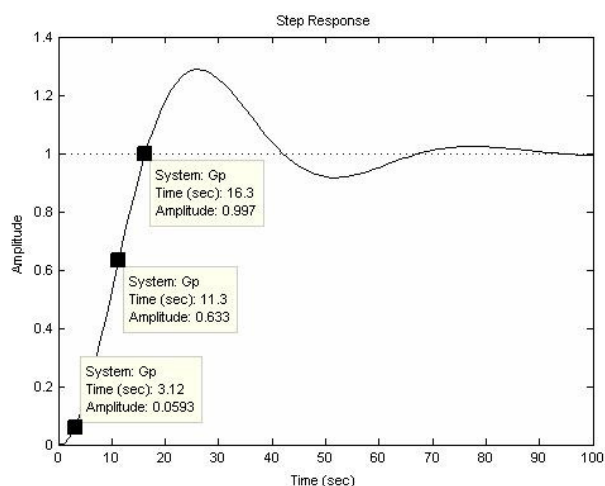
3.4 Process med översväng

I denna simulering användes följande överföringsfunktion. Processen är stabil men har lång insvängningstid och har tre poler varav två är komplexa.

$$G(s) = \frac{1}{24s^3 + 60s^2 + 6s + 1}$$

3.4.1 Stegvarsbaserade metoder

Först gjordes ett stegvarsexperiment på processen.



Figur 3.20: Stegvar för process med översväng

Ur figur 3.20 kan utläsas att $T_{100\%} = 13,2$ sekunder, $T_{63\%} = 8,2$ sekunder, $K_p = 1$ gånger och $L = 3,1$ sekunder. Processen är dock ingen typisk KLT-process på grund av översvängen och det kan diskuteras hur $T_{100\%}$ egentligen bör uppmätas. I detta fall representerar $T_{100\%}$ skärningen med slutvärdesaxeln. Därmed sätts parametrarna för stegvarsbaserade metoder enligt tabell 3.17 för PID-reglering och enligt tabell 3.18 för PI-reglering.

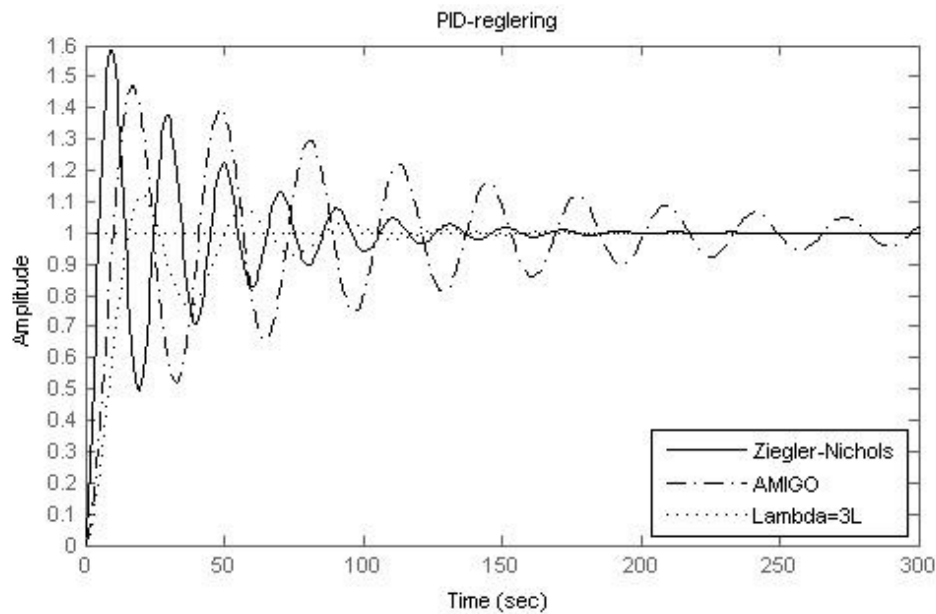
Tabell 3.17: Parameterval för PID-reglering vid stegvarsbaserade metoder

Metod	K	T_i	T_d
Ziegler-Nichols ¹	5,11	6,20	1,55
AMIGO ¹	1,39	6,17	1,39
Lambda $\lambda = 3L$	0,90	9,75	1,30

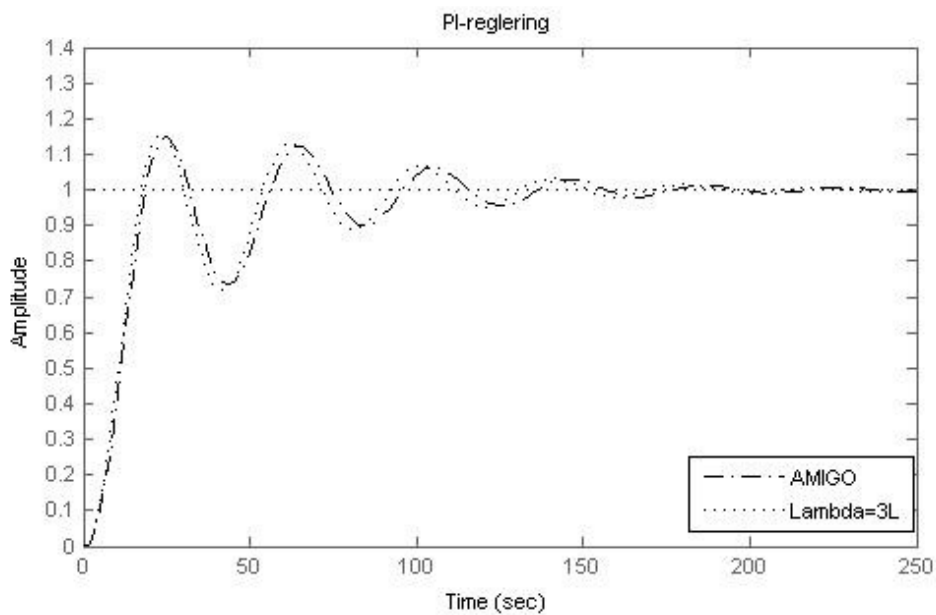
Tabell 3.18: Parameterval för PI-reglering vid stegvarsbaserade metoder

Metod	K	T_i
Ziegler-Nichols ¹	3,83	9,30
AMIGO ¹	0,55	7,25
Lambda $\lambda = 3L$	0,66	8,20

I figur 3.21 och 3.22 visas stegsvaret för det återkopplade systemet vid olika metoder för PID- respektive PI-reglering. Vid PI-reglering har Ziegler-Nichols¹ metod uteslutits eftersom simuleringar visar att dess parameterval leder till en instabil reglering.



Figur 3.21: Stegsvär för stegsvarsbaserade metoder vid PID-reglering



Figur 3.22: Stegsvär för stegsvarsbaserade metoder vid PI-reglering

För PID- respektive PI-reglering utfördes sedan en analys av stegsvaret för det återkopplade systemet och Bodediagrammet undersöktes för kretsöverföringen. Stabilitetsmarginaler, insvängningstid och översväng uppmättes enligt tabell 3.19 och 3.20.

Tabell 3.19: Stabilitetsmarginaler, insvängningstid och översväng för det återkopplade systemet i figur 3.21

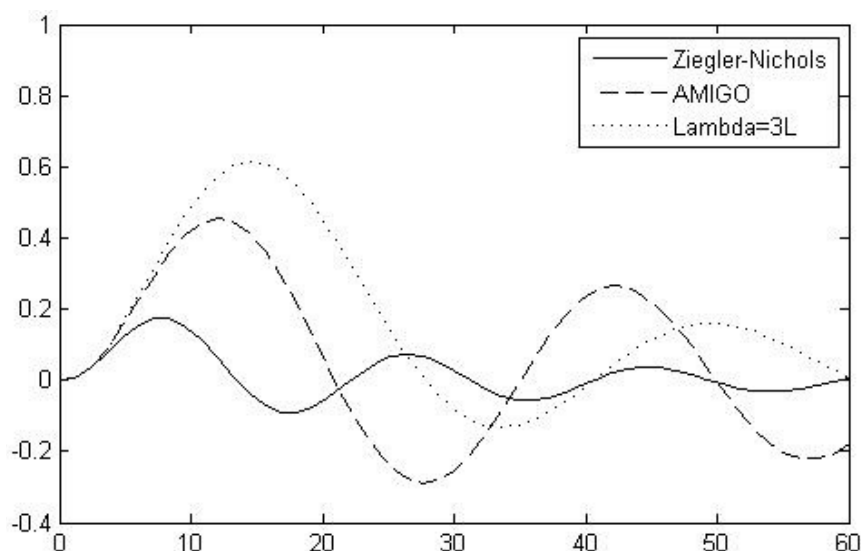
Metod	$A_m(\text{ggr})$	$\varphi_m(\text{grader})$	$T_{5\%}(\text{s})$	$M(\%)$
Ziegler-Nichols ¹	∞	11,6	111	59
AMIGO ¹	∞	8,6	275	47
Lambda $\lambda = 3L$	∞	35,9	80	12

Tabell 3.20: Stabilitetsmarginaler, insvängningstid och översväng för det återkopplade systemet i figur 3.22

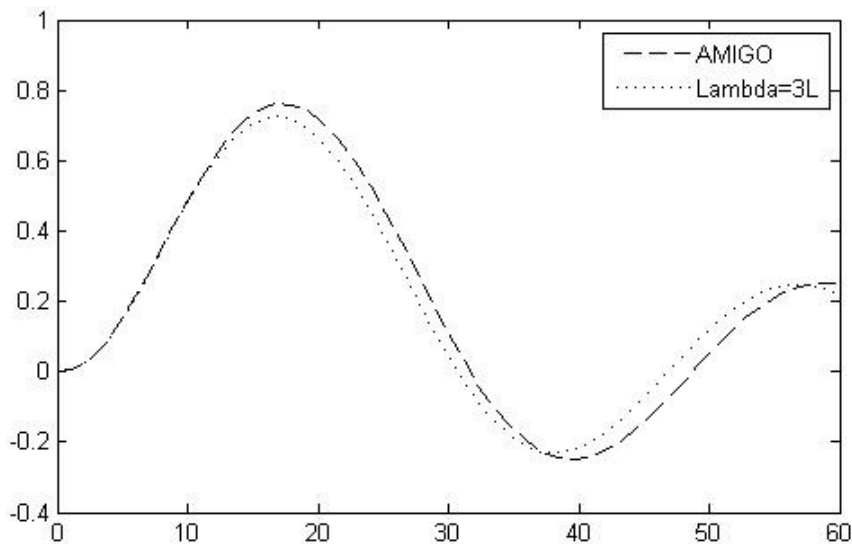
Metod	$A_m(\text{ggr})$	$\varphi_m(\text{grader})$	$T_{5\%}(\text{s})$	$M(\%)$
AMIGO ¹	2,8	34,5	109	15*
Lambda $\lambda = 3L$	3	31	106	16*

*Definitionen på översväng blir i detta fall den första positiva översväng även om den andra negativa svängningen procentuellt är större.

Figur 3.23 och 3.24 visar hur metoderna fungerar vid stegformade störningar. På grund av Simulinks numeriska metoder har det varit tvunget att begränsa simuleringstiden i figurerna. Simuleringar på metoderna var för sig visar att ingen av metoderna leder till kvarstående fel.



Figur 3.23: Störingsdämpning för stegvarsbaserade metoder vid PID-reglering



Figur 3.24: Störingsdämpning för stegsvarsbaserade metoder vid PI-reglering

3.4.2 Självsvängningsbaserade metoder

Ur ett självsvängningsexperiment fås att $K_0 = 14$ gånger och $T_0 = 12,5$ sekunder. För Kristianssons-Lennartsons metod gjordes även en analys med Bodediagram där parametrarna bestämdes till $|G(j\omega_\pi)| = 0,07$ gånger, $|G(j0)| = 1$ gånger, $\omega_\pi = 0,5$ rad/s, $\kappa = 0,07$, $K_\infty = 11,6$, $K_i = 0,47$, $\tau = 4,55$ och $\beta = 5,42$. Därefter räknades dessa parametrar om till motsvarande parametrar för de andra metoderna enligt avsnitt 2.4.6. Därefter sätts parametrarna för självsvängningsmetoderna enligt tabell 3.21 för PID-reglering och enligt tabell 3.22 för PI-reglering.

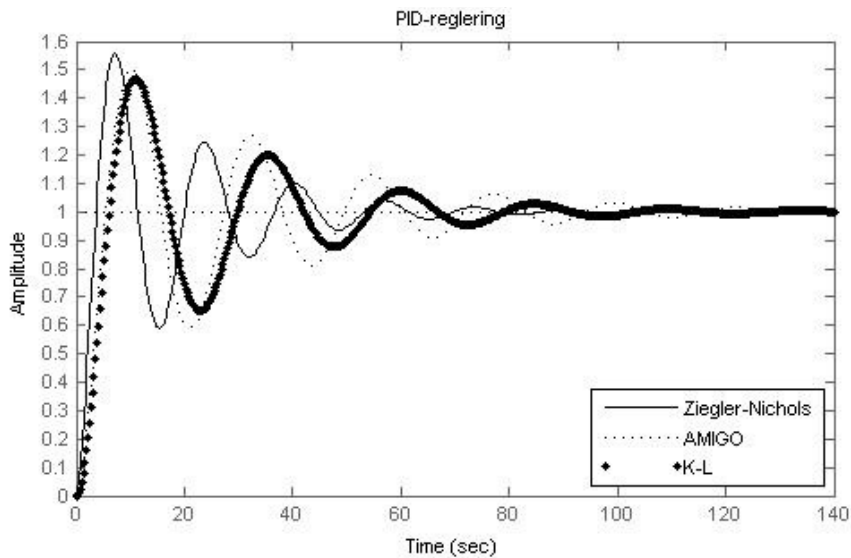
Tabell 3.21: Parameterval för PID-reglering vid självsvängningsmetoder

Metod	K	T_i	T_d
Ziegler-Nichols ²	8,40	6,25	1,56
AMIGO ²	4,20	6,56	1,87
Kristianssons-Lennartson	3,42	7,28	2,84

Tabell 3.22: Parameterval för PI-reglering vid självsvängningsmetoder

Metod	K	T_i
Ziegler-Nichols ²	6,3	10,62
AMIGO ²	2,24	9,46

I figur 3.25 visas stegsvaret för det återkopplade systemet vid olika metoder för PID-reglering. Ingen av metoderna leder till ett stabilt system vid PI-reglering.



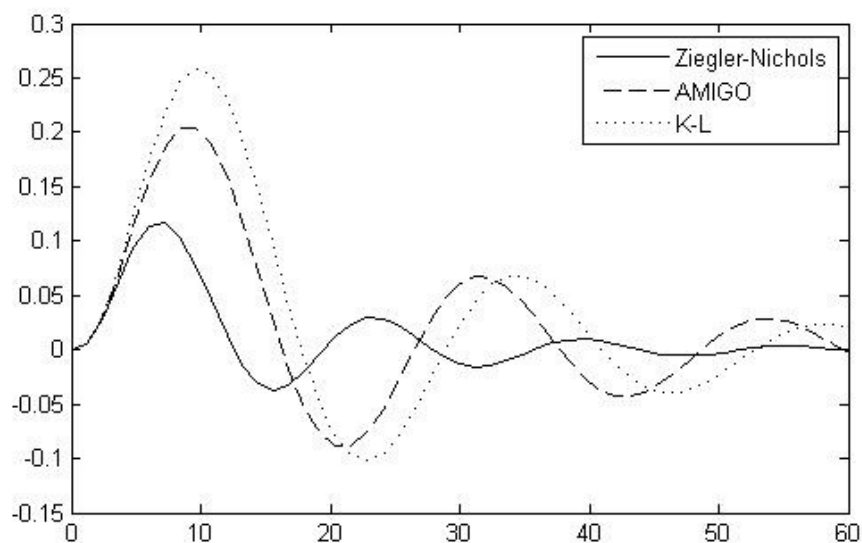
Figur 3.25: Stegsvaret för självsvängningsbaserade metoder vid PID-reglering

För PID-reglering utfördes sedan en analys av stegsvaret för det återkopplade systemet och Bodediagrammet undersöktes för kretsöverföringen. Stabilitetsmarginaler, insvängningstid och översväng uppmättes enligt tabell 3.23.

Tabell 3.23: Stabilitetsmarginaler, insvängningstid och översväng för det återkopplade systemet i figur 3.25

Metod	$A_m(\text{ggr})$	$\varphi_m(\text{grader})$	$T_{5\%}(\text{s})$	$M(\%)$
Ziegler-Nichols ²	∞	18,1	50	56
AMIGO ²	∞	16,5	80	50
Kristianssons-Lennartson	14,5	20,3	63,5	47

Figur 3.26 visar hur metoderna fungerar vid stegformade störningar. Återigen begränsas simuleringstiden på grund av Simulinks numeriska metoder.



Figur 3.26: Störningsdämpning för självsvängningsbaserade metoder vid PID-reglering

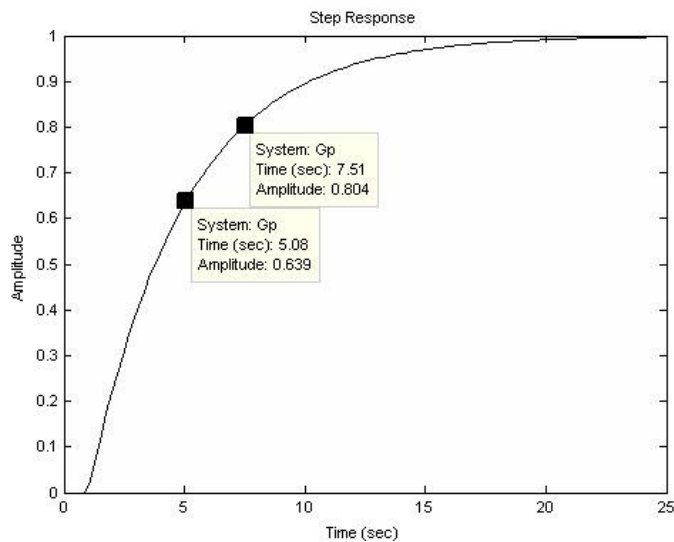
3.5 Process med dödtid om 1 sekund

I denna simulering användes följande överföringsfunktion. Processen har tidskonstant $T = 4$ sekunder och dödtid $L = 1$ sekund.

$$G(s) = \frac{e^{-s}}{1+4s}$$

3.5.1 Stegsvarsbaserade metoder

Först utfördes ett stegsvarexperiment på processen.



Figur 3.27: Stegsvär för process med dödtid $L = 1$ och tidskonstant $T = 4$

Ur figur 3.27 kan utläsas att $T_{100\%} = 6,5$ sekunder, $T_{63\%} = 4$ sekunder, $K_p = 1$ gånger och $L = 1$ sekund. Därmed sätts parametrarna för stegsvarsbaserade metoder enligt tabell 3.24 för PID-reglering och enligt tabell 3.25 för PI-reglering.

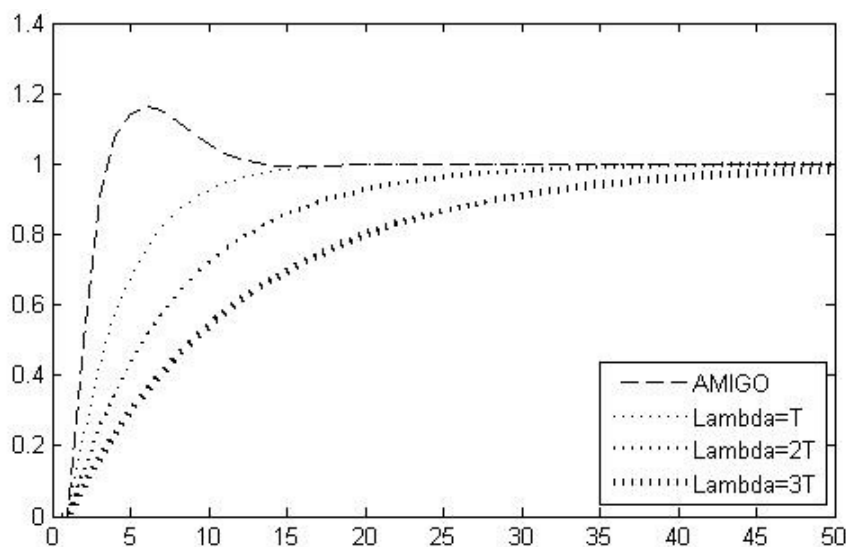
Tabell 3.24: Parameterval för PID-reglering vid stegsvarsbaserade metoder

Metod	K	T_i	T_d
Ziegler-Nichols ¹	7,80	2,00	0,50
AMIGO ¹	2,00	2,57	0,47
Lambda $\lambda = T$	1,00	4,50	0,44
Lambda $\lambda = 2T$	0,53	4,50	0,44
Lambda $\lambda = 3T$	0,36	4,50	0,44

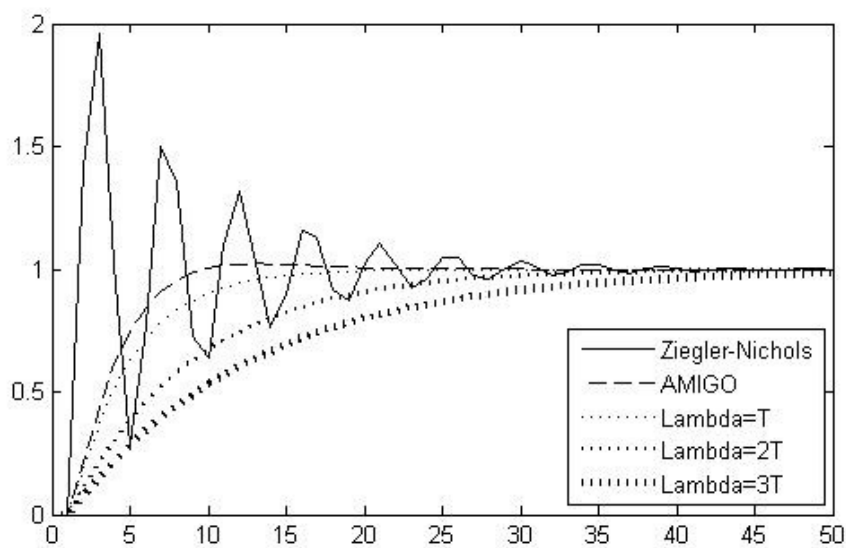
Tabell 3.25: Parameterval för PI-reglering vid stegsvarsbaserade metoder

Metod	K	T_i
Ziegler-Nichols ¹	5,85	3,00
AMIGO ¹	0,91	3,28
Lambda $\lambda = T$	0,80	4,00
Lambda $\lambda = 2T$	0,44	4,00
Lambda $\lambda = 3T$	0,31	4,00

I figur 3.28 och 3.29 visas stegsvaret för det återkopplade systemet vid olika metoder för PID-respektive PI-reglering. Vid PID-reglering har Ziegler-Nichols¹ metod uteslutits eftersom dess parametrar leder till ett instabilt system.



Figur 3.28: Stegsvaret för stegvarsbaserade metoder vid PID-reglering



Figur 3.29: Stegsvaret för stegvarsbaserade metoder vid PI-reglering

För PID- respektive PI-reglering utfördes sedan en analys av stegsvaret för det återkopplade systemet och Bodediagrammet undersöktes för kretsöverföringen. Stabilitetsmarginaler, insvängningstid och översväng uppmättes enligt tabell 3.26 och 3.27.

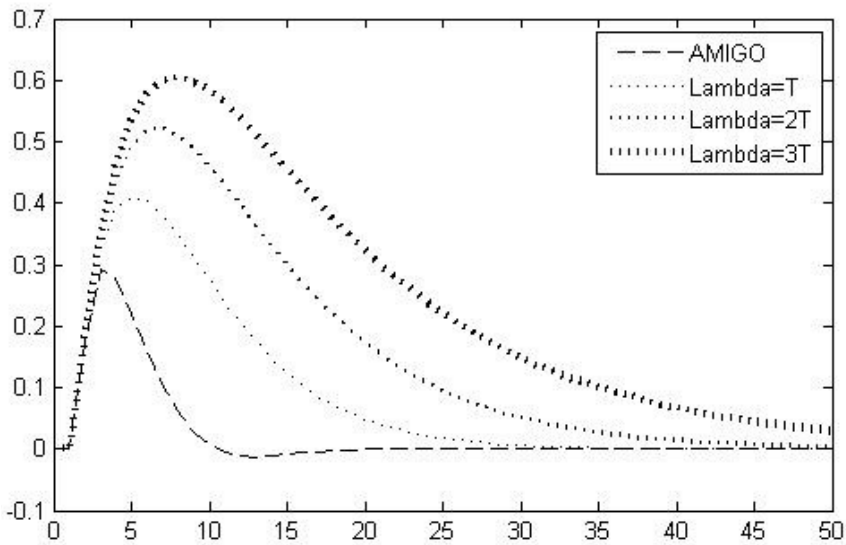
Tabell 3.26: Stabilitetsmarginaler, insvängningstid och översväng för det återkopplade systemet i figur 3.28

Metod	$A_m(\text{ggr})$	$\varphi_m(\text{grader})$	$T_{5\%}(\text{s})$	$M(\%)$
AMIGO ¹	3,6	58,5	10,5	18
Lambda $\lambda = T$	6,9	83,6	11	0
Lambda $\lambda = 2T$	12,6	86,5	23	0
Lambda $\lambda = 3T$	20	87,8	37	0

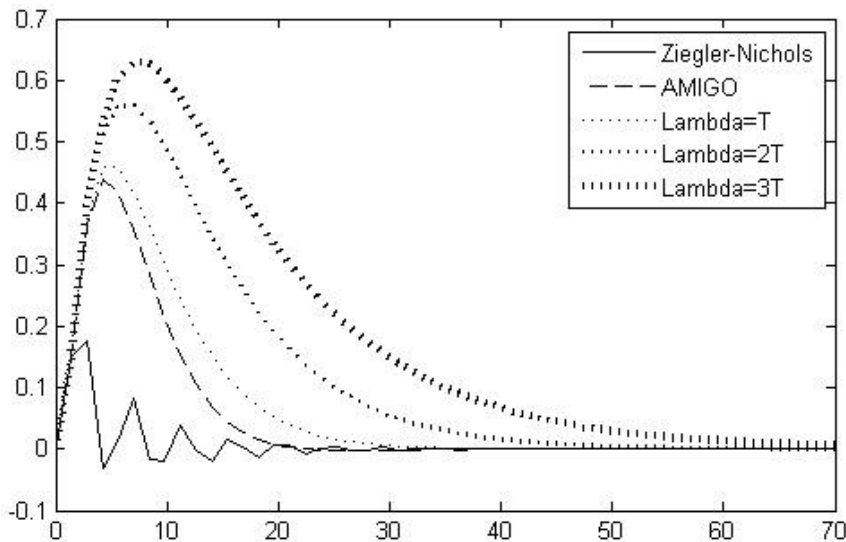
Tabell 3.27: Stabilitetsmarginaler, insvängningstid och översväng för det återkopplade systemet i figur 3.29

Metod	$A_m(\text{ggr})$	$\varphi_m(\text{grader})$	$T_{5\%}(\text{s})$	$M(\%)$
Ziegler-Nichols ¹	1	2,2	24	96
AMIGO ¹	6,8	70,2	8	2
Lambda $\lambda = T$	7,9	78,5	12,5	0
Lambda $\lambda = 2T$	14	83,6	24,5	0
Lambda $\lambda = 3T$	20,9	85,7	37	0

Figur 3.30 och 3.31 visar hur metoderna fungerar vid stegformade störningar.



Figur 3.30: Störingsdämpning för stegvarsbaserade metoder vid PID-reglering



Figur 3.31: Störingsdämpning för stegvarsbaserade metoder vid PI-reglering

3.5.2 Självsvängningsbaserade metoder

Ur ett självsvängningsexperiment fås att $K_0 = 4,5$ gånger och $T_0 = 4$ sekunder. För Kristianssons-Lennartsons metod gjordes även en analys med Bodediagram där parametrarna bestämdes till $|G(j\omega_\pi)| = 0,14$ gånger, $|G(j0)| = 1$ gånger, $\omega_\pi = 1,72$ rad/s, $\kappa = 0,14$, $K_\infty = 10,2$, $K_i = 1,39$, $\tau = 1,14$ och $\beta = 6,44$. Därefter räknades dessa parametrar om till motsvarande parametrar för de andra metoderna enligt avsnitt 2.4.6. Därmed sätts parametrarna för självsvängningsmetoderna enligt tabell 3.28 för PID-reglering och enligt tabell 3.29 för PI-reglering.

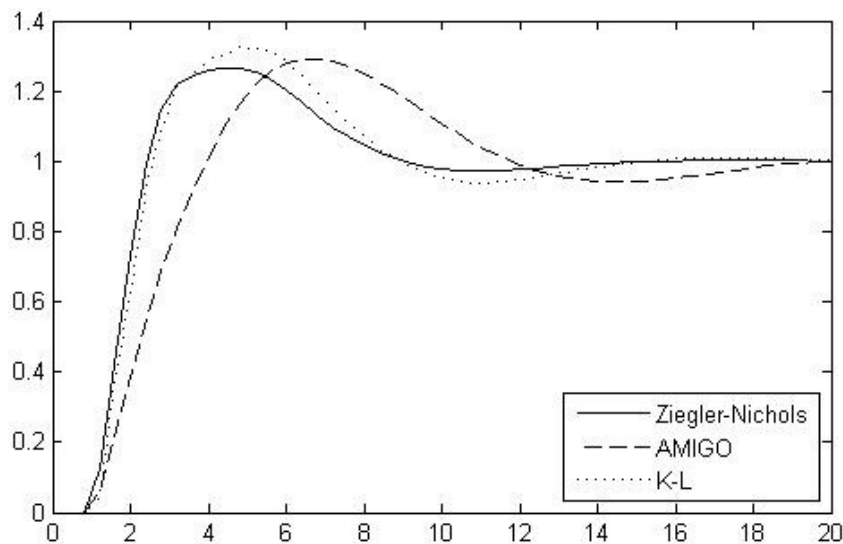
Tabell 3.28: Parameterval för PID-reglering vid självsvängningsmetoder

Metod	K	T_i	T_d
Ziegler-Nichols ²	2,70	2,00	0,50
AMIGO ²	1,34	1,66	0,59
Kristianssons-Lennartson	2,53	1,82	0,71

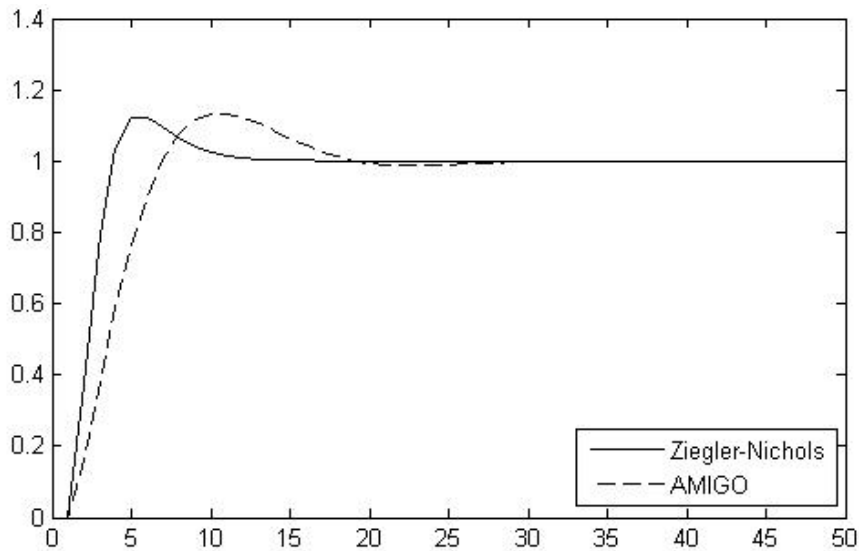
Tabell 3.29: Parameterval för PI-reglering vid självsvängningsmetoder

Metod	K	T_i
Ziegler-Nichols ²	2,03	3,40
AMIGO ²	0,72	2,00

I figur 3.32 och 3.33 visas stegsvaret för det återkopplade systemet vid olika metoder för PID-respektive PI-reglering.



Figur 3.32: Stegsvaret för självsvängningsbaserade metoder vid PID-reglering



Figur 3.33: Stegsvär för självsvängningsbaserade metoder vid PI-reglering

För PID- respektive PI-reglering utfördes sedan en analys av stegsvaret för det återkopplade systemet och Bodediagrammet undersöktes för kretsöverföringen. Stabilitetsmarginaler, insvängningstid och översväng uppmättes enligt tabell 3.30 och 3.31.

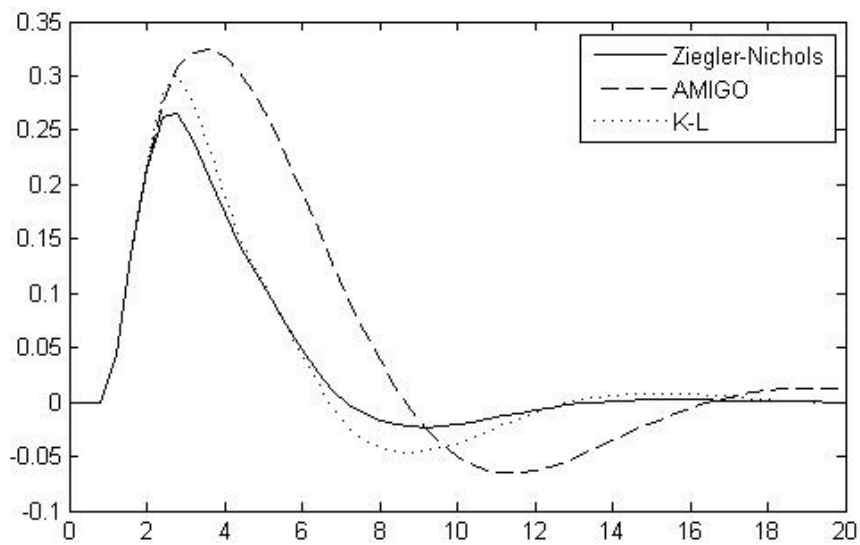
Tabell 3.30: Stabilitetsmarginaler, insvängningstid och översväng för det återkopplade systemet i figur 3.32

Metod	$A_m(\text{ggr})$	$\varphi_m(\text{grader})$	$T_{5\%}(\text{s})$	$M(\%)$
Ziegler-Nichols ²	2,6	49,6	8	24
AMIGO ²	4,7	46,3	16	28
Kristianssons-Lennartson	2,3	46,4	12	32

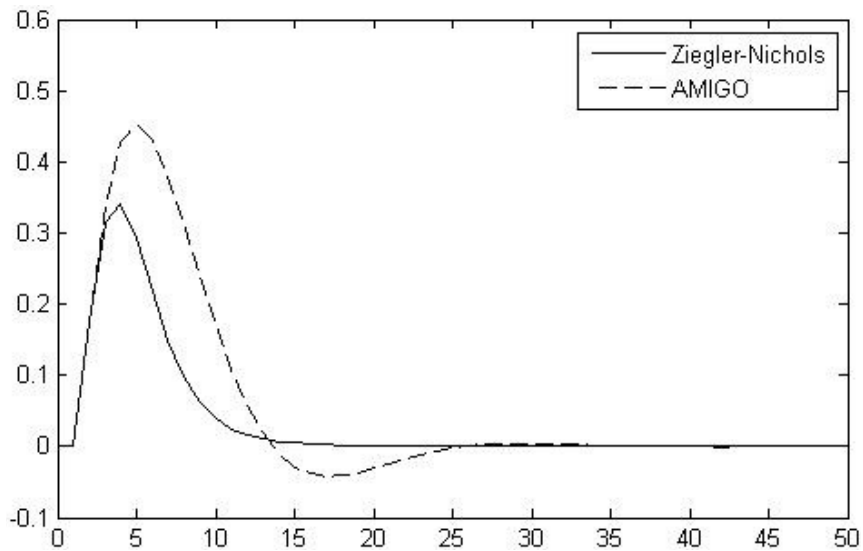
Tabell 3.31: Stabilitetsmarginaler, insvängningstid och översväng för det återkopplade systemet i figur 3.33

Metod	$A_m(\text{ggr})$	$\varphi_m(\text{grader})$	$T_{5\%}(\text{s})$	$M(\%)$
Ziegler-Nichols ²	3,4	57,1	7,5	9
AMIGO ²	7,7	55,7	15,5	12

Figur 3.34 och 3.35 visar hur metoderna fungerar vid stegformade störningar.



Figur 3.34: Störingsdämpning för självvängningsbaserade metoder vid PID-reglering



Figur 3.35: Störingsdämpning för självvängningsbaserade metoder vid PI-reglering

3.6 Process med dödtid om 4 sekunder

I denna simulering användes följande överföringsfunktion. Processen har tidskonstant $T = 4$ sekunder och dödtid $L = 4$ sekunder.

$$G(s) = \frac{e^{-4s}}{1+4s}$$

3.6.1 Stegsvarsbaserade metoder

Först utfördes ett stegsvarexperiment. Stegsvaret får samma utseende som i fallet ovan. Det är endast dödtiden som förändras.

Alltså blir $T_{100\%} = 6,5$ sekunder, $T_{63\%} = 4$ sekunder, $K_p = 1$ gånger och $L = 4$ sekunder. Därmed sätts parametrarna för stegsvarsbaserade metoder enligt tabell 3.32 för PID-reglering och enligt tabell 3.33 för PI-reglering.

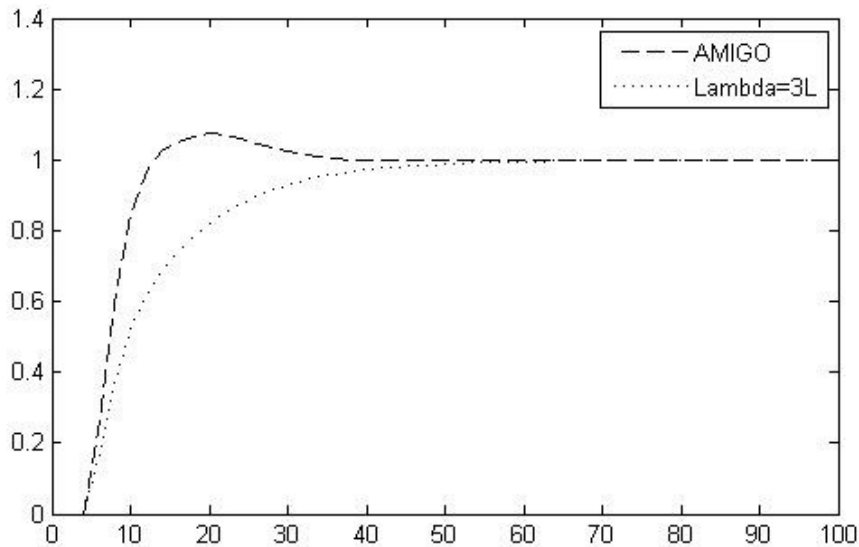
Tabell 3.32: Parameterval för PID-reglering vid stegsvarsbaserade metoder

Metod	K	T_i	T_d
Ziegler-Nichols ¹	1,95	8,00	2,00
AMIGO ¹	0,65	4,36	1,54
Lambda $\lambda = 3L$	0,43	6,00	1,33

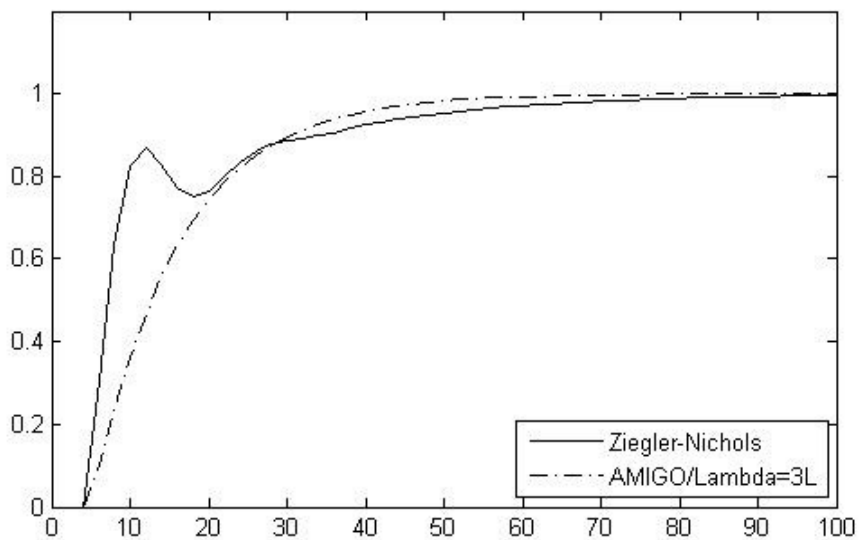
Tabell 3.33: Parameterval för PI-reglering vid stegsvarsbaserade metoder

Metod	K	T_i
Ziegler-Nichols ¹	0,90	12,00
AMIGO ¹	0,25	4,00
Lambda $\lambda = 3L$	0,25	4,00

I figur 3.36 och 3.37 visas stegsvaret för det återkopplade systemet vid olika metoder för PID- respektive PI-reglering. Vid PID-reglering är Ziegler-Nichols¹ metod utelämnad eftersom dess parametrar leder till ett instabilt system.



Figur 3.36: Stegsvär för stegsvärsbaserade metoder vid PID-reglering



Figur 3.37: Stegsvär för stegsvärsbaserade metoder vid PI-reglering

För PID- respektive PI-reglering utfördes sedan en analys av stegsvaret för det återkopplade systemet och Bodediagrammet undersöktes för kretsöverföringen. Stabilitetsmarginaler, insvängningstid och översväng uppmättes enligt tabell 3.34 och 3.35.

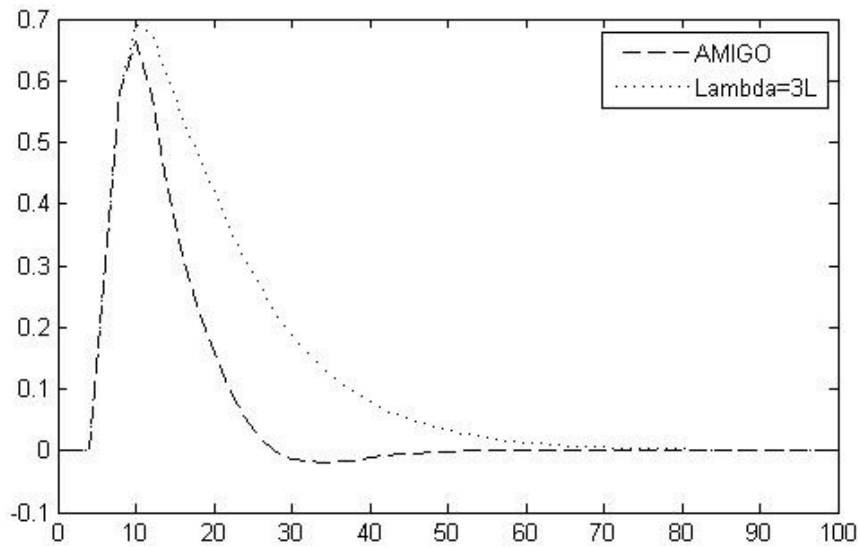
Tabell 3.34: Stabilitetsmarginaler, insvängningstid och översväng för det återkopplade systemet i figur 3.36

Metod	$A_m(\text{ggr})$	$\varphi_m(\text{grader})$	$T_{5\%}(\text{s})$	$M(\%)$
AMIGO ¹	3,5	64	25	8
Lambda $\lambda = 3L$	5,1	81,3	34	0

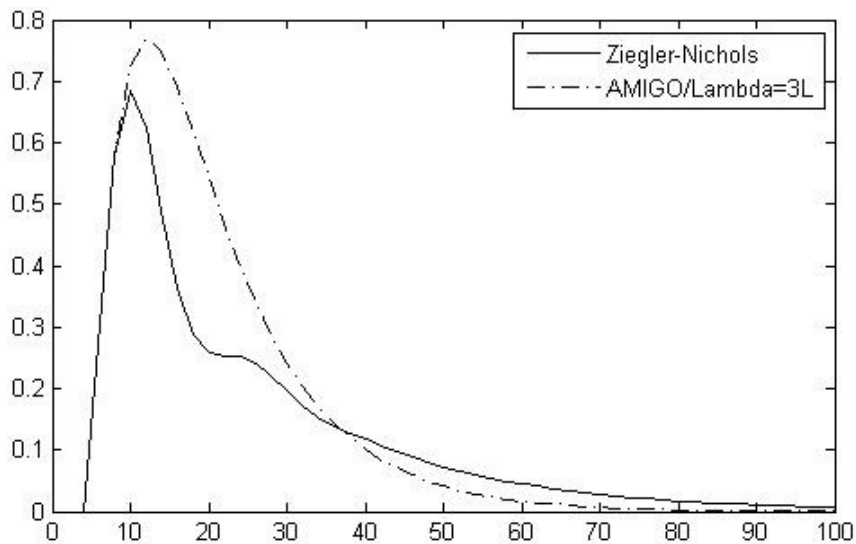
Tabell 3.35: Stabilitetsmarginaler, insvängningstid och översväng för det återkopplade systemet i figur 3.37

Metod	$A_m(\text{ggr})$	$\varphi_m(\text{grader})$	$T_{5\%}(\text{s})$	$M(\%)$
Ziegler-Nichols ¹	2,3	92,6	49	0
AMIGO ¹	6,3	75,7	38	0
Lambda $\lambda = 3L$	6,3	75,7	38	0

Figur 3.38 och 3.39 visar hur metoderna fungerar vid stegformade störningar.



Figur 3.38: Störningsdämpning för stegsvarsbaserade metoder vid PID-reglering



Figur 3.39: Störningsdämpning för stegsvarsbaserade metoder vid PI-reglering

3.6.2 Självsvängningsbaserade metoder

Ur ett självsvängningsexperiment fås att $K_0 = 2,4$ gånger och $T_0 = 12$ sekunder. För Kristianssons-Lennartsons metod gjordes även en analys med Bodediagram där parametrarna bestämdes till $|G(j\omega_\pi)| = 0,44$ gånger, $|G(j0)| = 1$ gånger, $\omega_\pi = 0,507$ rad/s, $\kappa = 0,44$, $K_\infty = 4,2$, $K_1 = 0,2$, $\tau = 2,44$ och $\beta = 8,6$. Därefter räknades dessa parametrar om till motsvarande parametrar för de andra metoderna enligt avsnitt 2.4.6. Därmed sätts parametrarna för självsvängningsmetoderna enligt tabell 3.36 för PID-reglering och enligt tabell 3.37 för PI-reglering.

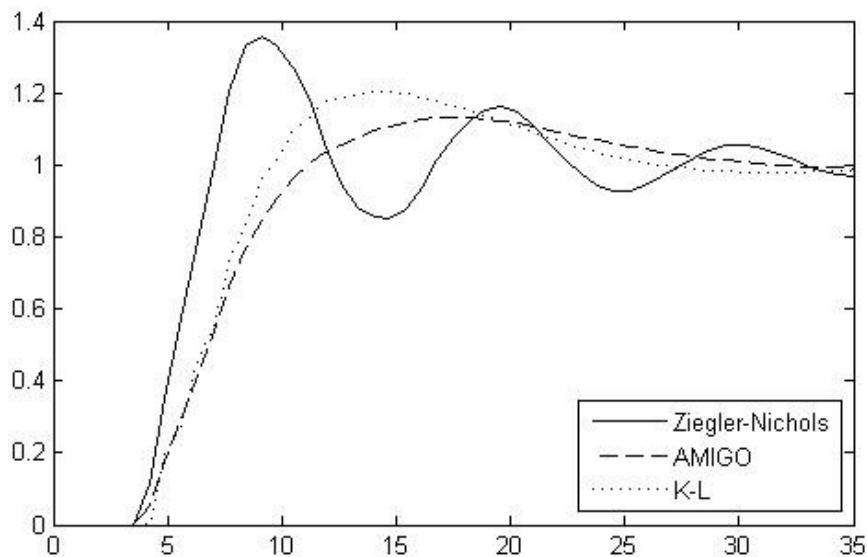
Tabell 3.36: Parameterval för PID-reglering vid självvängningsmetoder

Metod	K	T _i	T _d
Ziegler-Nichols ²	1,44	6,00	1,50
AMIGO ²	0,65	3,93	1,74
Kristianssons-Lennartson	0,78	3,90	1,53

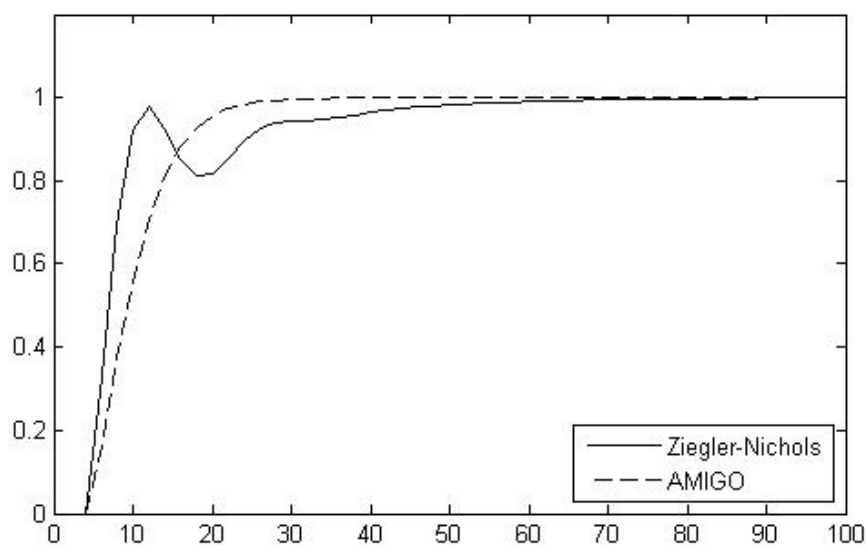
Tabell 3.37: Parameterval för PI-reglering vid självvängningsmetoder

Metod	K	T _i
Ziegler-Nichols ²	1,08	10,2
AMIGO ²	0,38	4,17

I figur 3.40 och 3.41 visas stegsvaret för det återkopplade systemet vid olika metoder för PID-respektive PI-reglering.



Figur 3.40: Stegsvaret för självvängningsbaserade metoder vid PID-reglering



Figur 3.41: Stegsvaret för självvängningsbaserade metoder vid PI-reglering

För PID- respektive PI-reglering utfördes sedan en analys av stegsvaret för det återkopplade systemet och Bodediagrammet undersöktes för kretsöverföringen. Stabilitetsmarginaler, insvängningstid och översväng uppmättes enligt tabell 3.38 och 3.39.

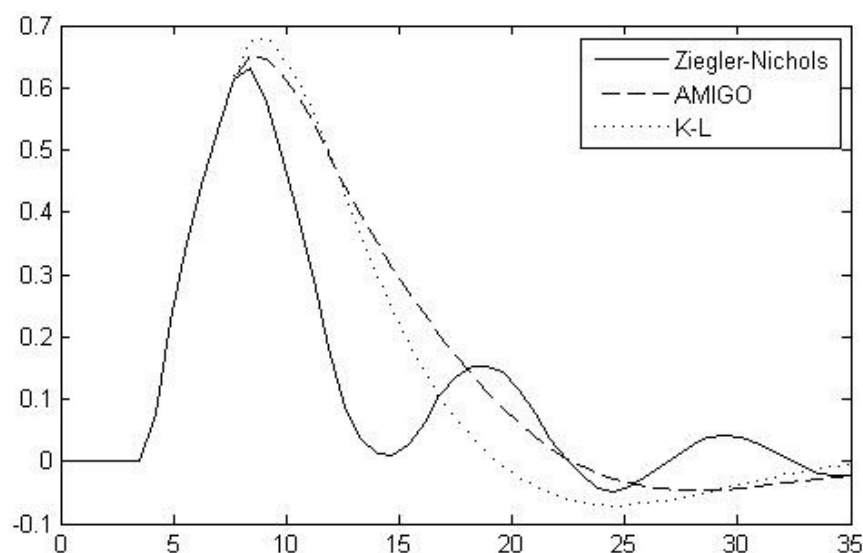
Tabell 3.38: Stabilitetsmarginaler, insvängningstid och översväng för det återkopplade systemet i figur 3.40

Metod	$A_m(\text{ggr})$	$\varphi_m(\text{grader})$	$T_{5\%}(\text{s})$	$M(\%)$
Ziegler-Nichols ²	1,6	58,6	32	35
AMIGO ²	3,2	58,2	25,5	14
Kristianssons-Lennartson	2,9	52	23	20

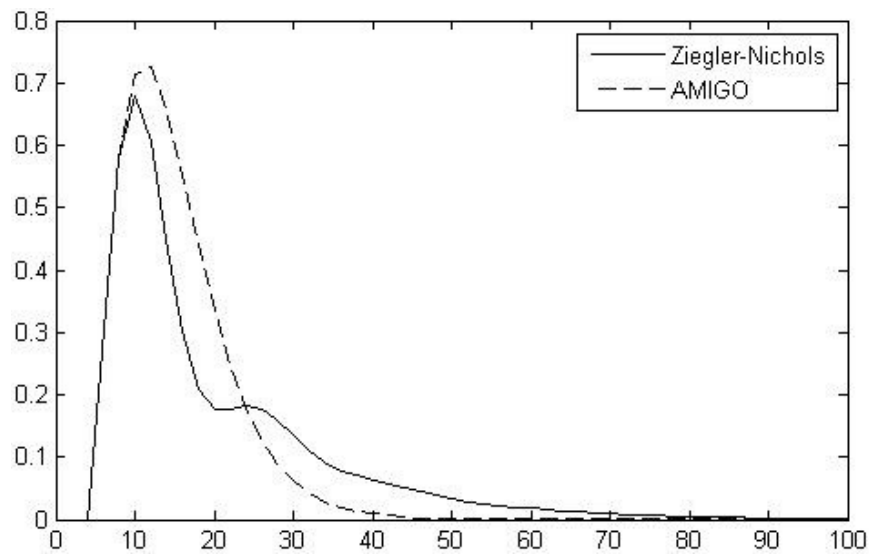
Tabell 3.39: Stabilitetsmarginaler, insvängningstid och översväng för det återkopplade systemet i figur 3.41

Metod	$A_m(\text{ggr})$	$\varphi_m(\text{grader})$	$T_{5\%}(\text{s})$	$M(\%)$
Ziegler-Nichols ²	2,2	80,3	36	0
AMIGO ²	4	68,5	20	0

Figur 3.42 och 3.43 visar hur metoderna fungerar vid stegformade störningar.



Figur 3.42: Störningsdämpning för självsvängningsbaserade metoder vid PID-reglering



Figur 3.43: Störingsdämpning för självvängningsbaserade metoder vid PI-reglering

3.7 Process med dödtid om 8 sekunder

I denna simulering användes följande överföringsfunktion. Processen har tidskonstant $T = 4$ sekunder och dödtid $L = 8$ sekunder.

$$G(s) = \frac{e^{-8s}}{1+4s}$$

3.7.1 Stegvarsbaserade metoder

Först utfördes ett stegvarsexperiment. Stegsvaret får samma utseende som i fallen ovan. Det är endast dödtiden som förändras.

Alltså blir $T_{100\%} = 6,5$ sekunder, $T_{63\%} = 4$ sekunder, $K_p = 1$ gånger och $L = 8$ sekunder. Därmed sätts parametrarna för stegvarsbaserade metoder enligt tabell 3.40 för PID-reglering och enligt tabell 3.41 för PI-reglering.

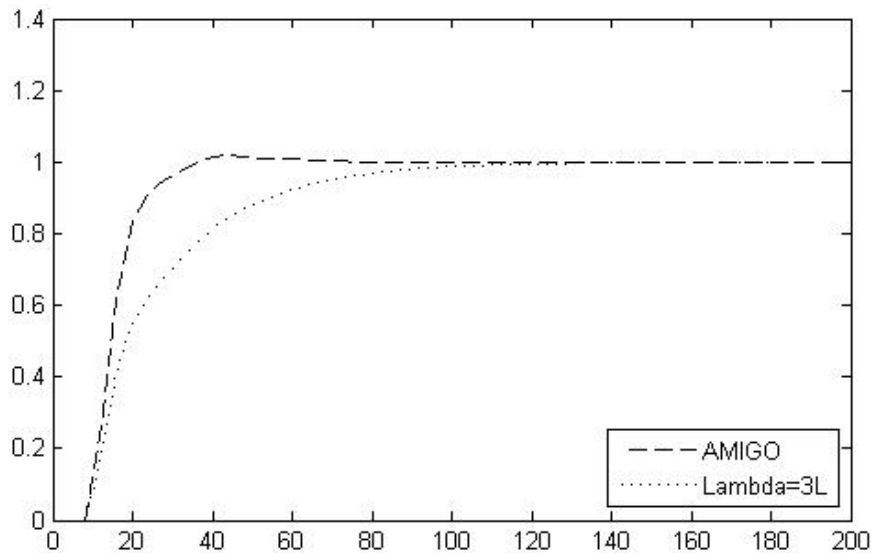
Tabell 3.40: Parameterval för PID-reglering vid stegvarsbaserade metoder

Metod	K	T_i	T_d
Ziegler-Nichols ¹	0,98	16,00	4,00
AMIGO ¹	0,43	6,10	2,50
Lambda $\lambda = 3L$	0,29	8,00	2,00

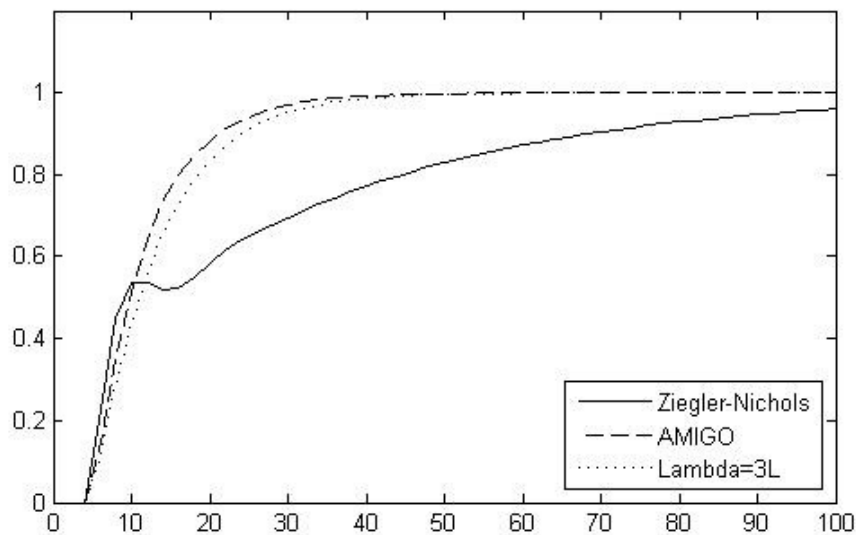
Tabell 3.41: Parameterval för PI-reglering vid stegvarsbaserade metoder

Metod	K	T_i
Ziegler-Nichols ¹	0,45	24,00
AMIGO ¹	0,21	4,76
Lambda $\lambda = 3L$	0,13	4,00

I figur 3.44 och 3.45 visas stegsvaret för det återkopplade systemet vid olika metoder för PID- respektive PI-reglering. Vid PID-reglering har Ziegler-Nichols¹ metod uteslutits eftersom dess parametrar ger ett instabilt system.



Figur 3.44: Stegsvär för stegsvärsbaserade metoder vid PID-reglering



Figur 3.45: Stegsvär för stegsvärsbaserade metoder vid PI-reglering

För PID- respektive PI-reglering utfördes sedan en analys av stegsvaret för det återkopplade systemet och Bodediagrammet undersöktes för kretsöverföringen. Stabilitetsmarginaler, insvängningstid och översväng uppmättes enligt tabell 3.42 och 3.43.

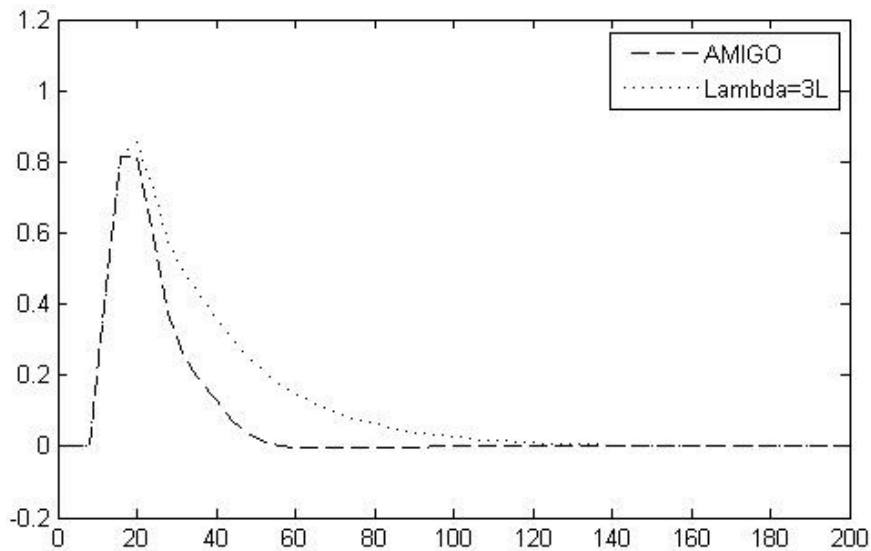
Tabell 3.42: Stabilitetsmarginaler, insvängningstid och översväng för det återkopplade systemet i figur 3.44

Metod	$A_m(\text{ggr})$	$\varphi_m(\text{grader})$	$T_{5\%}(\text{s})$	$M(\%)$
AMIGO ¹	3,9	68,8	29	1
Lambda $\lambda = 3L$	5,2	81,2	70	0

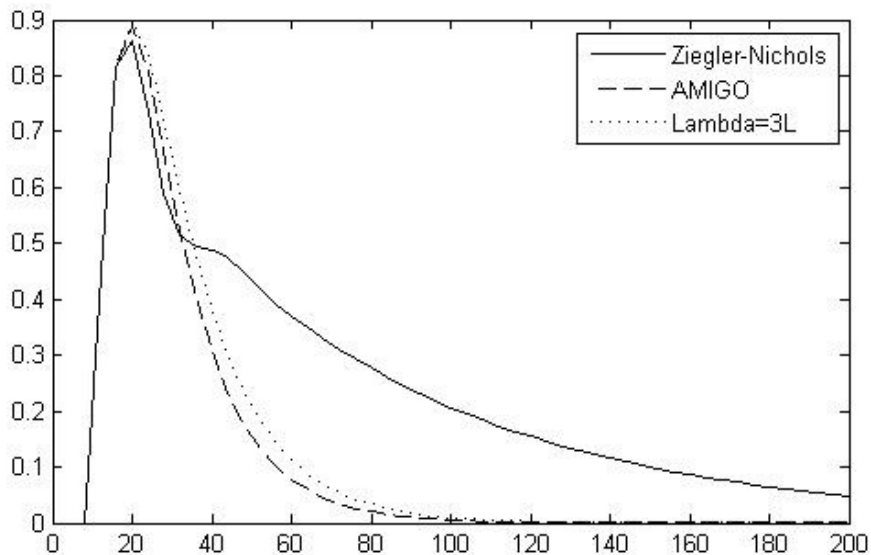
Tabell 3.43: Stabilitetsmarginaler, insvängningstid och översväng för det återkopplade systemet i figur 3.45

Metod	$A_m(\text{ggr})$	$\varphi_m(\text{grader})$	$T_{5\%}(\text{s})$	$M(\%)$
Ziegler-Nichols ¹	3,2	102	184	0
AMIGO ¹	4,6	72,3	53	0
Lambda $\lambda = 3L$	5,2	72,8	59	0

Figur 3.46 och 3.47 visar hur metoderna fungerar vid stegformade störningar.



Figur 3.46: Störningsdämpning för stegsvarsbaserade metoder vid PID-reglering



Figur 3.47: Störningsdämpning för stegsvarsbaserade metoder vid PI-reglering

3.7.2 Självsvängningsbaserade metoder

Ur ett självsvängningsexperiment fås att $K_0 = 1,5$ gånger och $T_0 = 21,5$ sekunder. För Kristianssons-Lennartsons metod gjordes även en analys med Bodediagram där parametrarna bestämdes till $|G(j\omega_\pi)| = 0,66$ gånger, $|G(j0)| = 1$ gånger, $\omega_\pi = 0,286$ rad/s, $\kappa = 0,66$, $K_\infty = 3$, $K_i = 0,08$, $\tau = 3,45$ och $\beta = 10,87$. Därefter räknades dessa parametrar om till motsvarande parametrar för de andra metoderna enligt avsnitt 2.4.6. Därmed sätts parametrarna för självsvängningsmetoderna enligt tabell 3.44 för PID-reglering och enligt tabell 3.45 för PI-reglering.

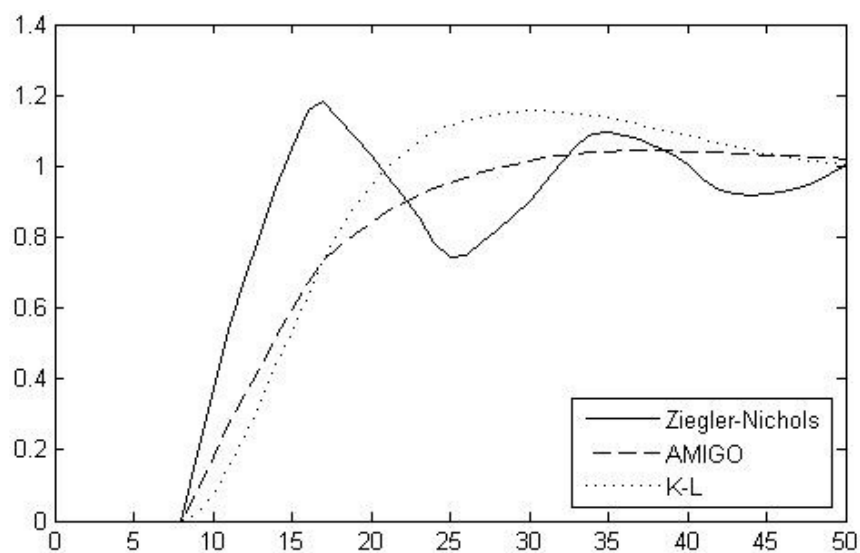
Tabell 3.44: Parameterval för PID-reglering vid självvängningsmetoder

Metod	K	T _i	T _d
Ziegler-Nichols ²	0,90	10,75	2,69
AMIGO ²	0,42	5,53	2,93
Kristianssons-Lennartson	0,44	5,52	2,16

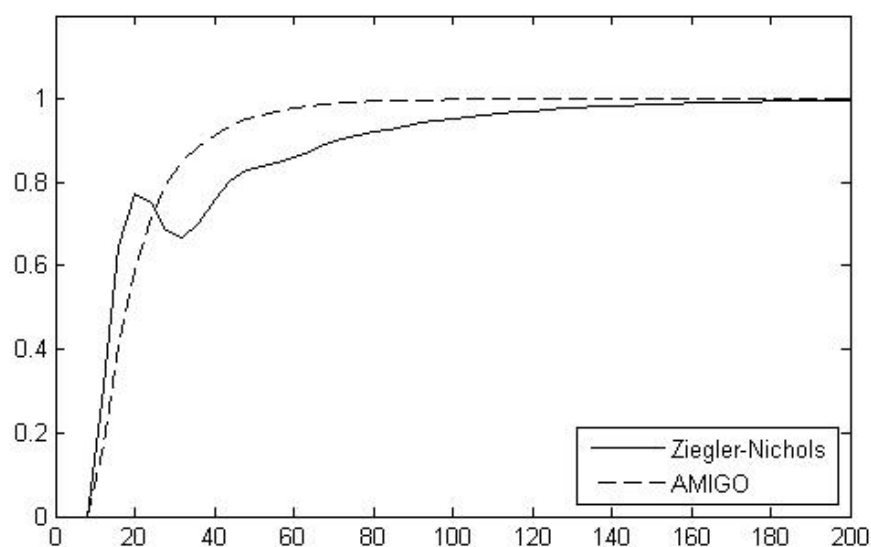
Tabell 3.45: Parameterval för PI-reglering vid självvängningsmetoder

Metod	K	T _i
Ziegler-Nichols ²	0,68	18,28
AMIGO ²	0,24	5,38

I figur 3.48 och 3.49 visas stegsvaret för det återkopplade systemet vid olika metoder för PID-respektive PI-reglering.



Figur 3.48: Stegsvart för självvängningsbaserade metoder vid PID-reglering



Figur 3.49: Stegsvart för självvängningsbaserade metoder vid PI-reglering

För PID- respektive PI-reglering utfördes sedan en analys av stegsvaret för det återkopplade systemet och Bodediagrammet undersöktes för kretsöverföringen. Stabilitetsmarginaler, insvängningstid och översväng uppmättes enligt tabell 3.46 och 3.47.

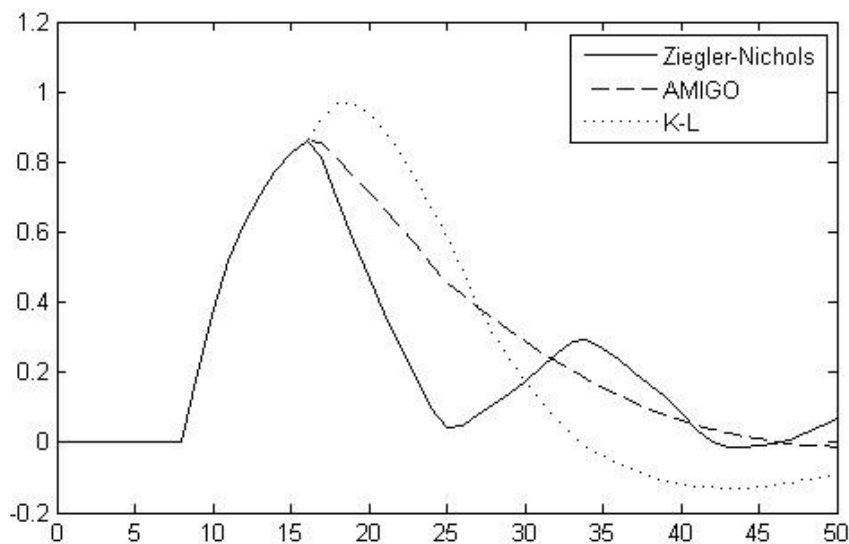
Tabell 3.46: Stabilitetsmarginaler, insvängningstid och översväng för det återkopplade systemet i figur 3.48

Metod	$A_m(\text{ggr})$	$\varphi_m(\text{grader})$	$T_{5\%}(\text{s})$	$M(\%)$
Ziegler-Nichols ²	1,6	78,9	68	18
AMIGO ²	3,4	65,4	25,5	4
Kristianssons-Lennartson	3,3	60,4	43	15

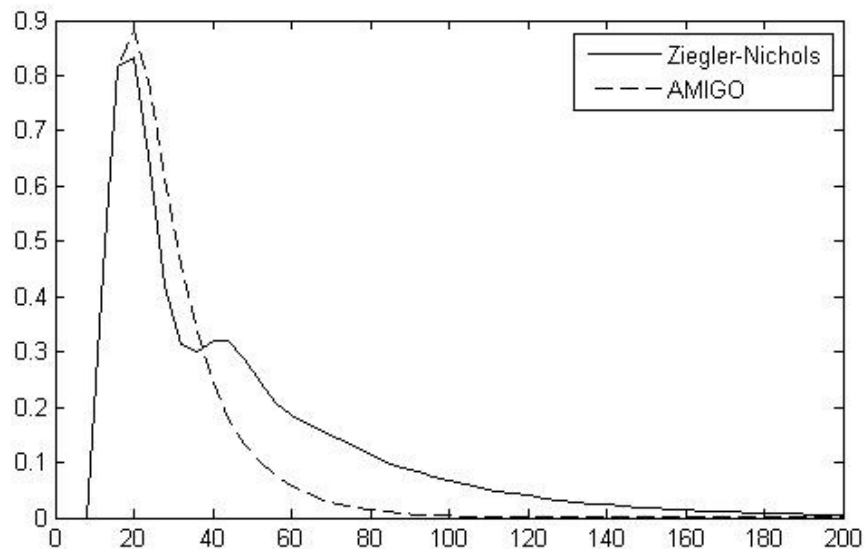
Tabell 3.47: Stabilitetsmarginaler, insvängningstid och översväng för det återkopplade systemet i figur 3.49

Metod	$A_m(\text{ggr})$	$\varphi_m(\text{grader})$	$T_{5\%}(\text{s})$	$M(\%)$
Ziegler-Nichols ²	2,4	97	98	0
AMIGO ²	4	72,1	48	0

Figur 3.50 och 3.51 visar hur metoderna fungerar vid stegformade störningar.



Figur 3.50: Störingsdämpning för självsvängningsbaserade metoder vid PID-reglering



Figur 3.51: Störingsdämpning för självvängningsbaserade metoder vid PI-reglering

4. Verifiering på verklig process

I detta avsnitt presenteras ett experiment som genomfördes i laborationssalen Loggen på Chalmers Tekniska Högskola. I laborationssalen finns en process i form av en dubbeltank där vattennivån kan regleras. Syftet med detta experiment var att undersöka om de metoder som simulerats i föregående avsnitt fungerar på liknande sätt då de tillämpas på en verklig process.

4.1 Introduktion

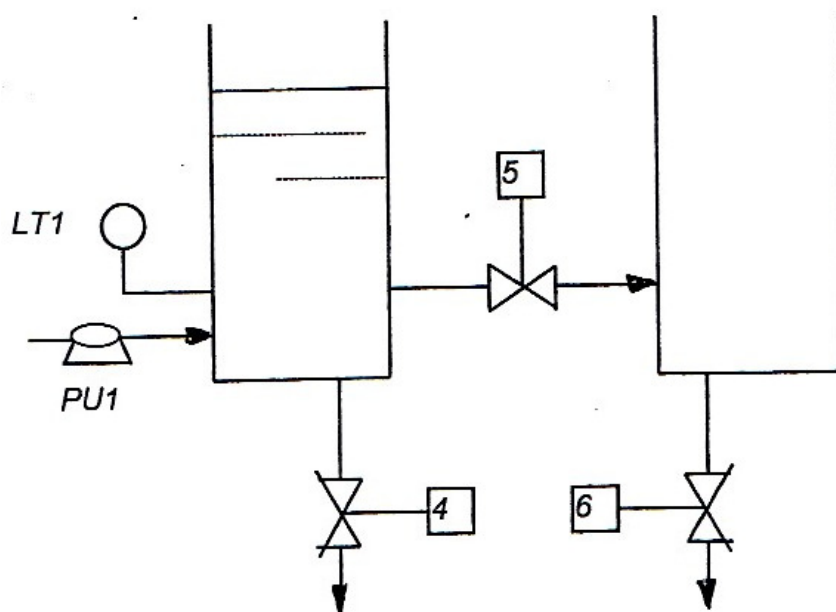
Processen utgörs av en dubbeltank som har ett inflöde och två utflöden enligt figur 4.1. I experimentet används endast det vänstra röret. Inflödet (PU1) styrs av en elektrisk pump vars varvtal i sin tur styrs av en elektrisk signal från en PID-enhet. Utflödet sker genom handmanövrerade ventiler (4, 5 och 6) som kan ställas i halvöppet eller helöppet läge. Ventil 6 används i helöppet läge genom hela experimentet. Tanken har även ett översvämningrör om nivån överfylls. En nivågivare (LT1) av piezoelektrisk typ ger den aktuella vattennivån. PID-enheten innehåller en PID-regulator och en omkopplare som gör det möjligt att styra processen manuellt. På enheten visas aktuellt börvärde, styrsignal och nivå. Det finns tre rattar för att ställa in parametrarna K , T_i och T_d och de kan väljas i följande intervall:

K : [1 1,5 2 3 5 7 10 15 20 30 50]

T_i : [1 1,5 2 3 5 7 10 15 20 30 OFF]

T_d : [OFF 0,15 0,2 0,3 0,5 0,7 1 1,5 2 3 5]

Tankprocessen i laborationssalen har ingen egen dödtid, men det går att simulera en dödtid av valfri storlek. Det finns även möjlighet att simulera en extra tidskonstant på en sekund mellan regulator och pump. Den senare funktionen används dock inte i detta experiment.



Figur 4.1: Dubbeltanken som användes vid nivåreglering

4.2 Stegsvars- och självsvängningsexperiment

Först utfördes ett stegsvarsexperiment på processen. Ventil 4 var helt öppen och ventil 5 var stängd. En död tid på 1 sekund simulerades. Följande parametrar uppmättes:

$$T_{100\%} = 35 \text{ sekunder}$$

$$T_{63\%} = 30 \text{ sekunder}$$

$$K_p = 4$$

$$L = 1 \text{ sekund}$$

Därefter utfördes ett självsvängningsexperiment enligt avsnitt 2.4.4 och följande parametrar uppmättes:

$$K_0 = 10$$

$$T_0 = 6,5 \text{ sekunder}$$

Parametrarna för de olika metoderna kan därefter beräknas och de presenteras i tabell 4.1, 4.2, 4.3 och 4.4. Lambdametoden begränsas här av att det inte går att använda lägre förstärkning än 1 på denna PID-regulator och därför undersöks endast ett fall. Siffrorna i parentes i tabellerna representerar de (möjliga) inställningar som använts på tankprocessens PID-regulator.

Tabell 4.1: Beräknade och använda parametrar för stegsvarsbaserade metoder vid PID-reglering

Metod	K	T_i	T_d
Ziegler-Nichols ¹	10,50 (10)	2,00 (2)	0,50 (0,5)
AMIGO ¹	3,43 (3)	6,10 (7)	0,50 (0,5)
Lambda $\lambda = T$	0,25 (1)	30,5 (30)	0,49 (0,5)
Lambda $\lambda = 2T$	0,125	30,5	0,49
Lambda $\lambda = 3T$	0,09	30,5	0,49

Tabell 4.2: Beräknade och använda parametrar för stegsvarsbaserade metoder vid PI-reglering

Metod	K	T_i
Ziegler-Nichols ¹	7,88 (7)	3,00 (3)
AMIGO ¹	2,43 (2)	9,58 (10)
Lambda $\lambda = T$	0,24 (1)	30,00 (30)
Lambda $\lambda = 2T$	0,12	30,00
Lambda $\lambda = 3T$	0,08	30,00

Tabell 4.3: Beräknade och använda parametrar för självsvängningsbaserade metoder vid PID-reglering

Metod	K	T_i	T_d
Ziegler-Nichols ²	6,00 (5)	3,25 (3)	0,81 (0,7)
AMIGO ²	3,00 (3)	3,71 (3)	0,97 (1)

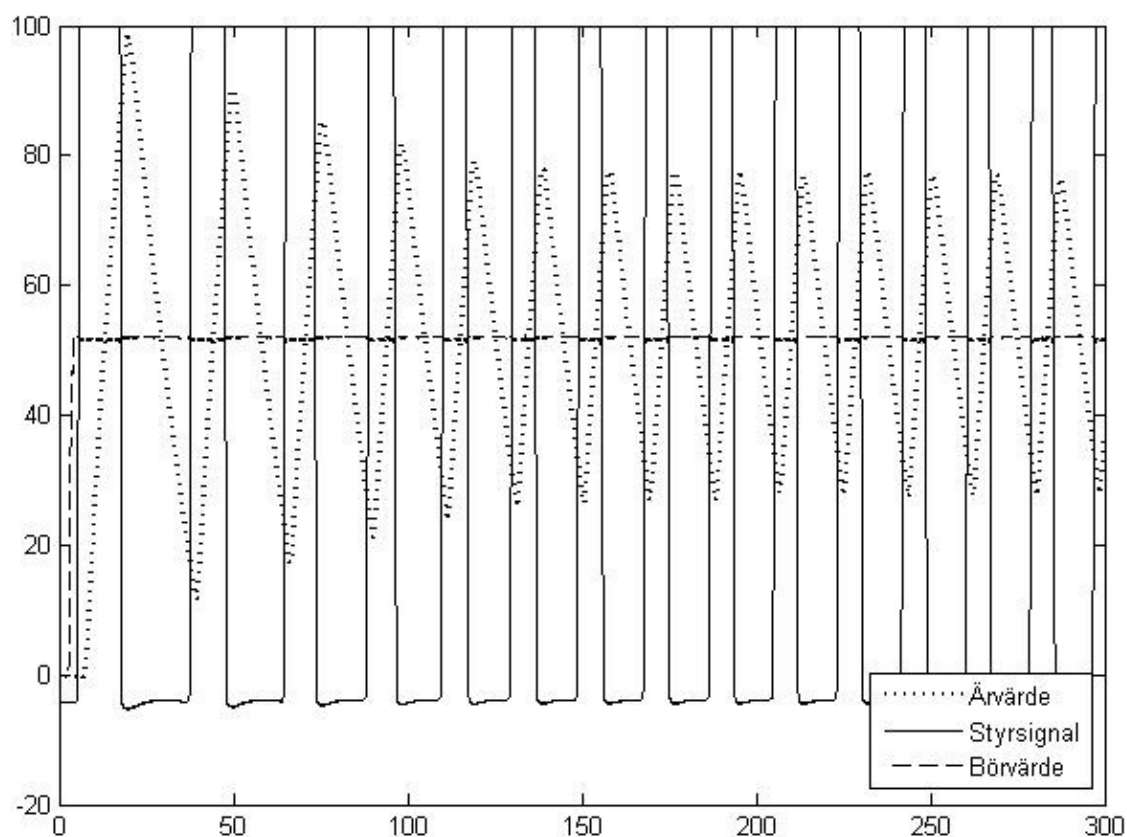
Tabell 4.4: Beräknade och använda parametrar för självsvängningsbaserade metoder vid PI-reglering

Metod	K	T _i
Ziegler-Nichols ²	4,50 (5)	5,53 (5)
AMIGO ²	1,60 (1,5)	5,84 (5)

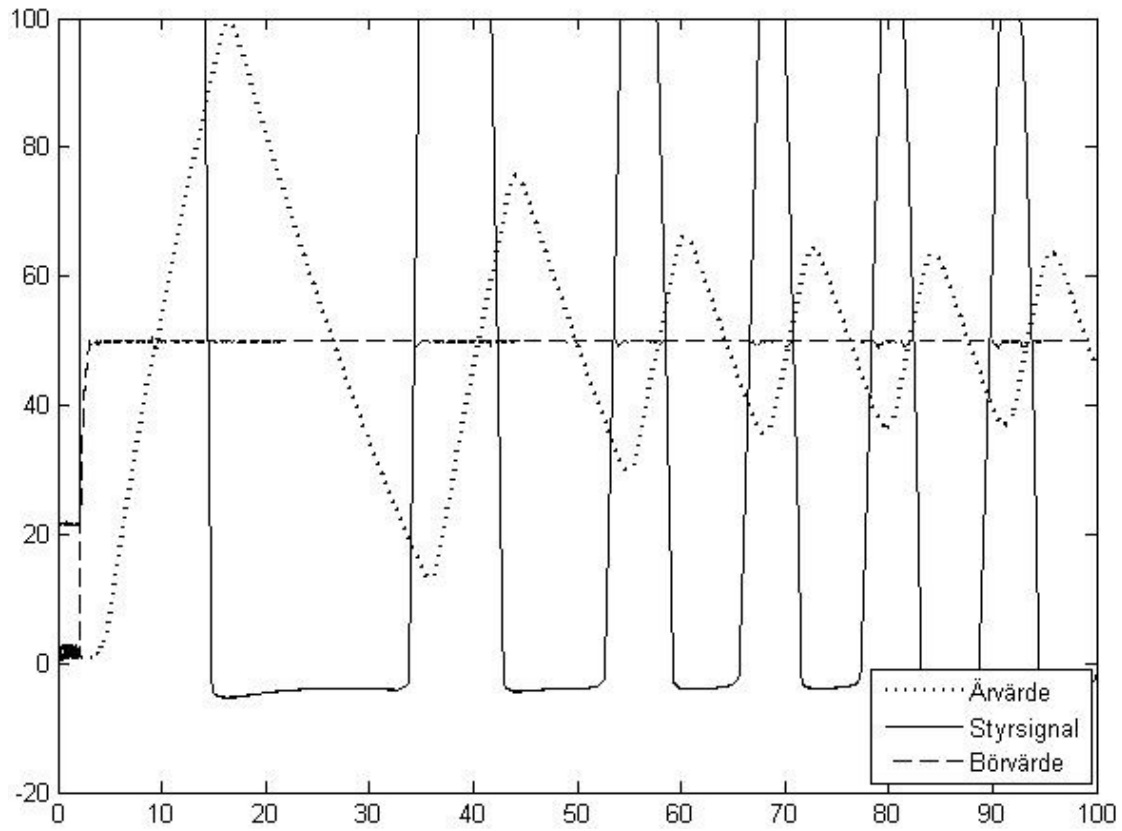
4.3 Resultat

Följande insvängningsförlopp skedde för de olika metoderna vid en stegformad börvärdesändring med ventil 4 helt öppen och ventil 5 stängd. I kurvorna visas styrsignal, ärvärde och börvärde och förloppet har mätts upp med hjälp av Simulink.

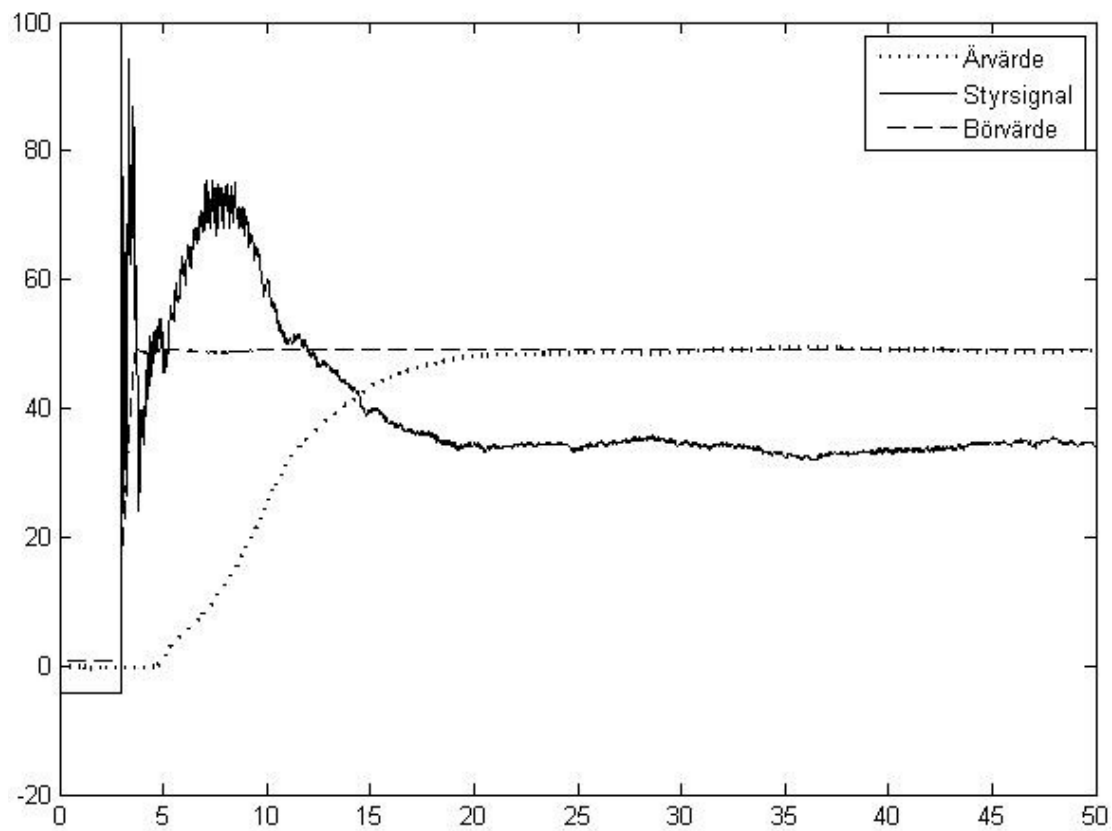
4.3.1 Stegvarsbaserade metoder



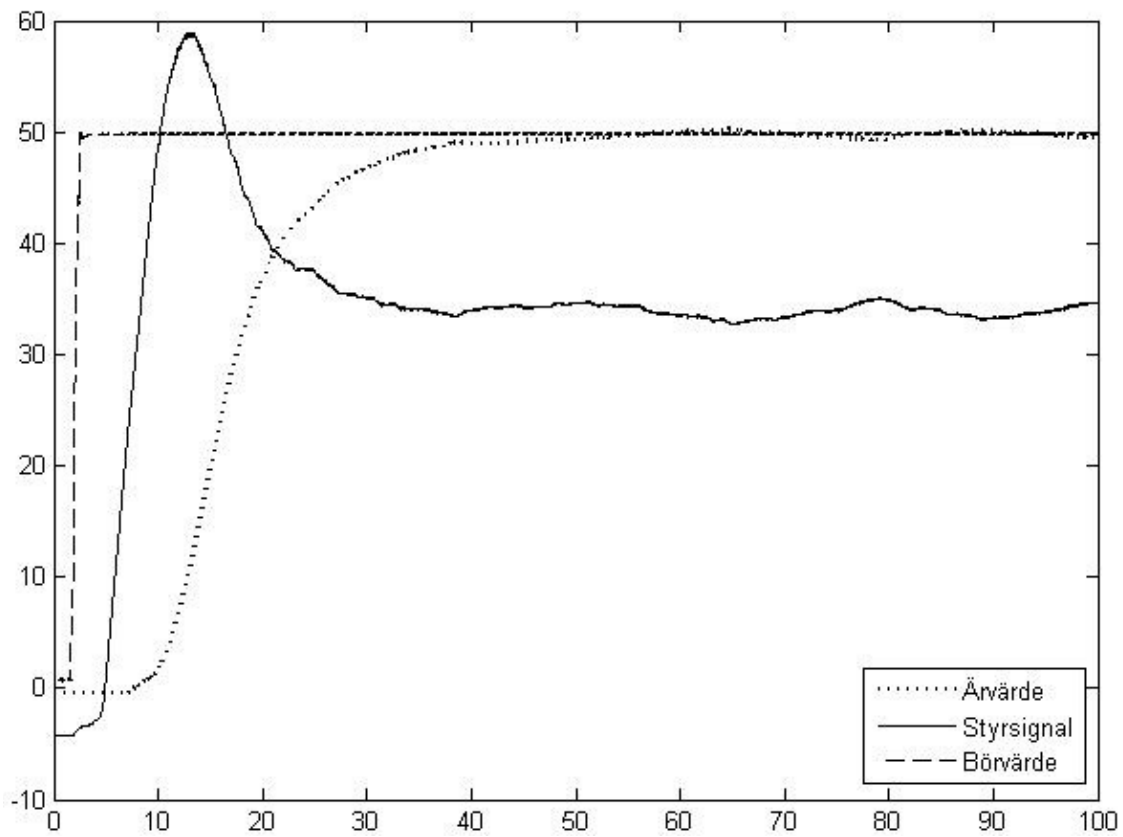
Figur 4.2: Insvängningsförlopp för Ziegler-Nichols¹ stegvarsbaserade metod vid PID-reglering



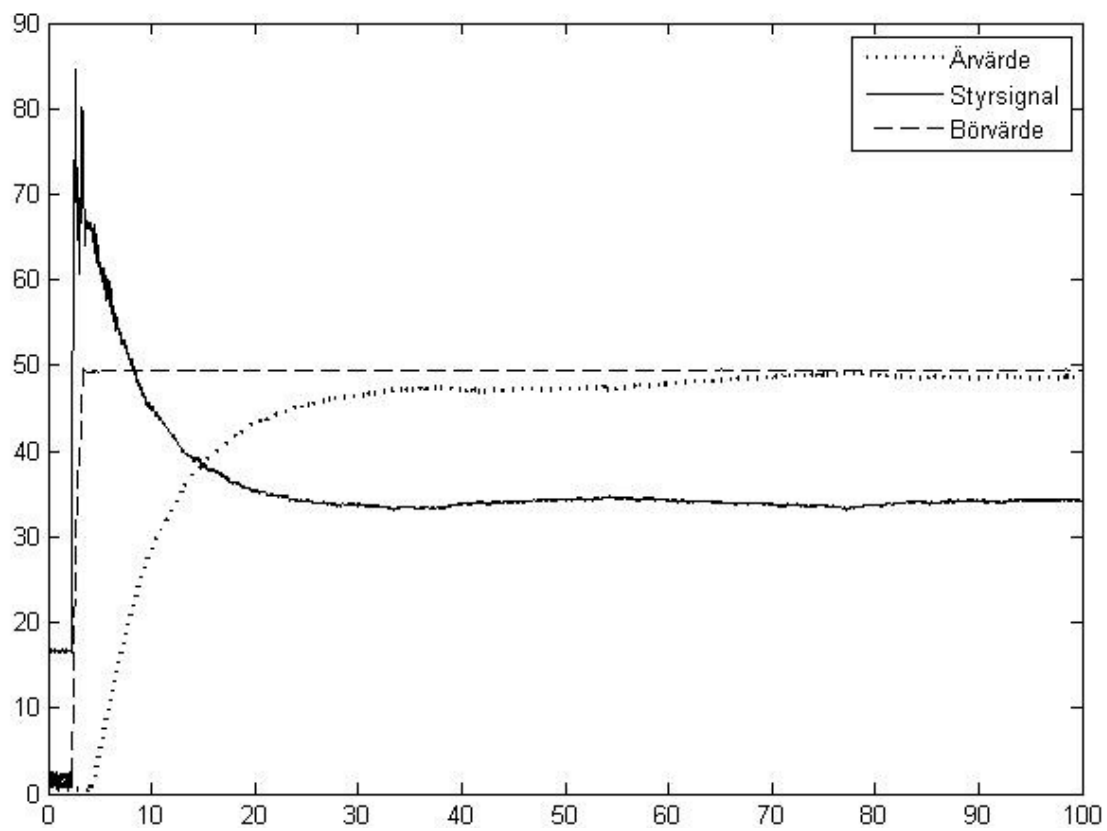
Figur 4.3: *Insvängningsförlopp för Ziegler-Nichols¹ stegvarsbaserade metod vid PI-reglering*



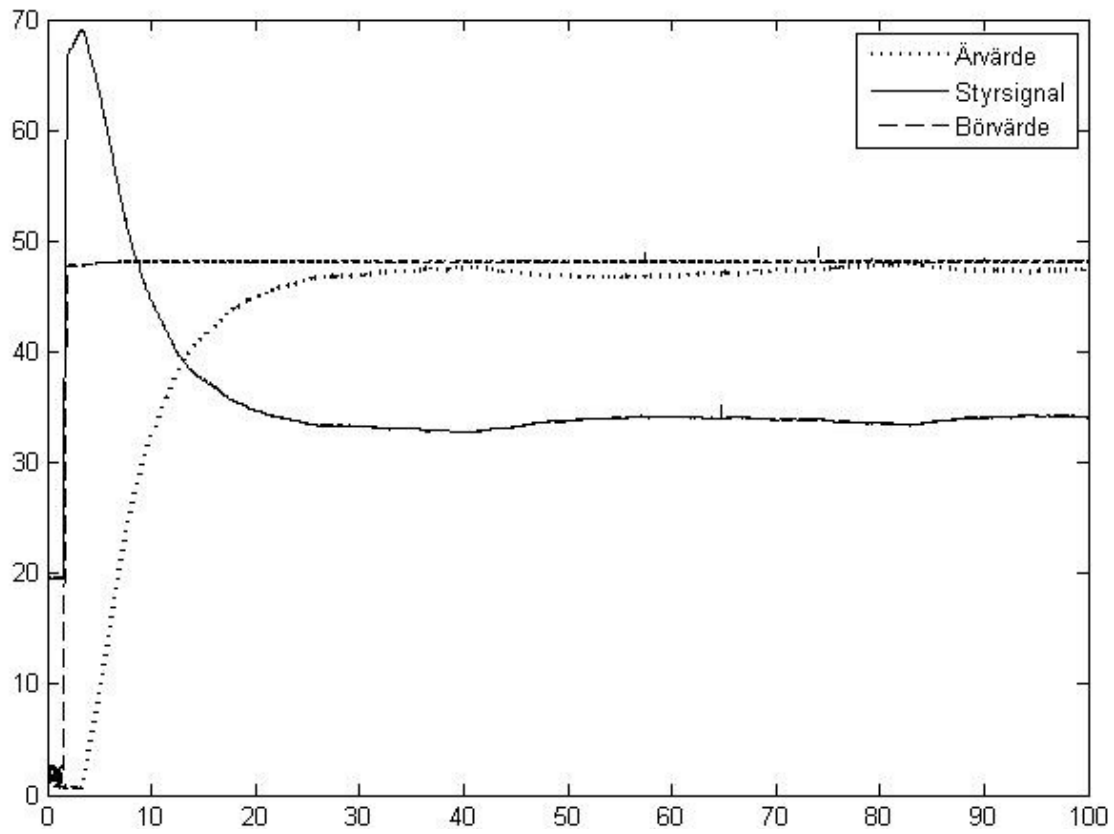
Figur 4.4: *Insvängningsförlopp för AMIGO¹s stegvarsbaserade metod vid PID-reglering*



Figur 4.5: *Insvängningsförlopp för AMIGO¹ s stegsvarsbaserade metod vid PI-reglering*

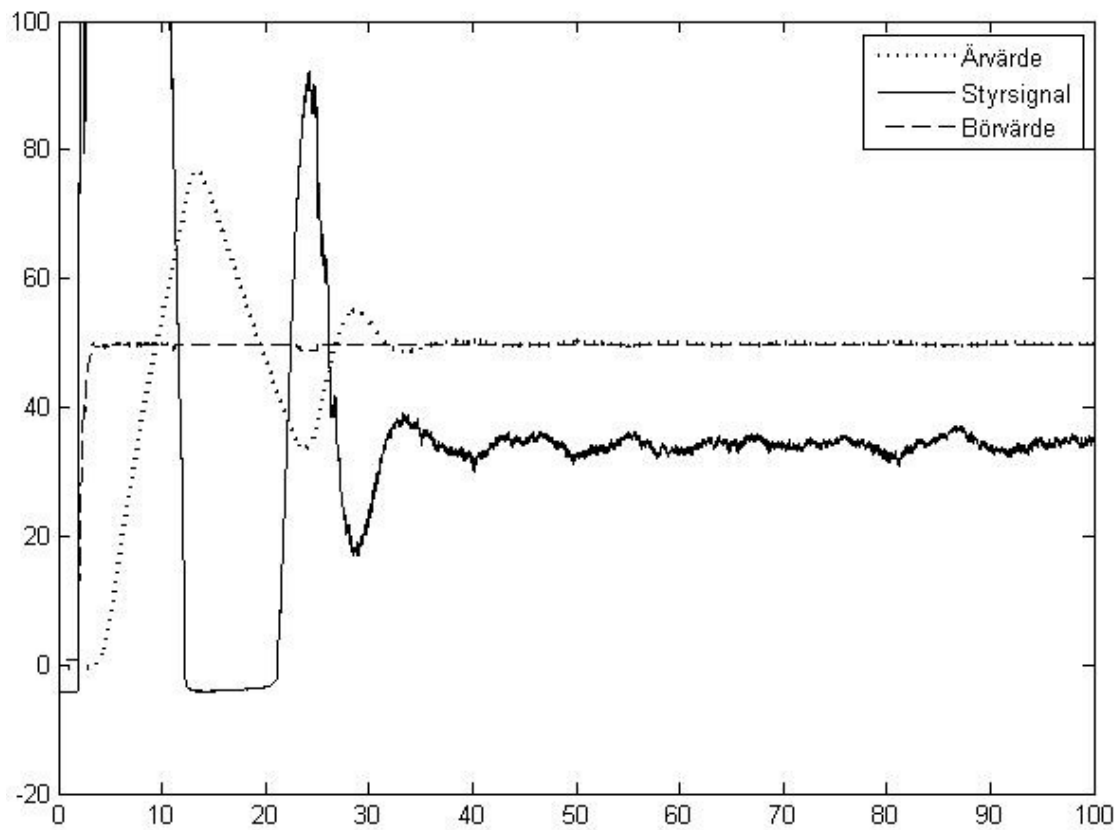


Figur 4.6: *Insvängningsförlopp för Lambdametoden vid PID-reglering*

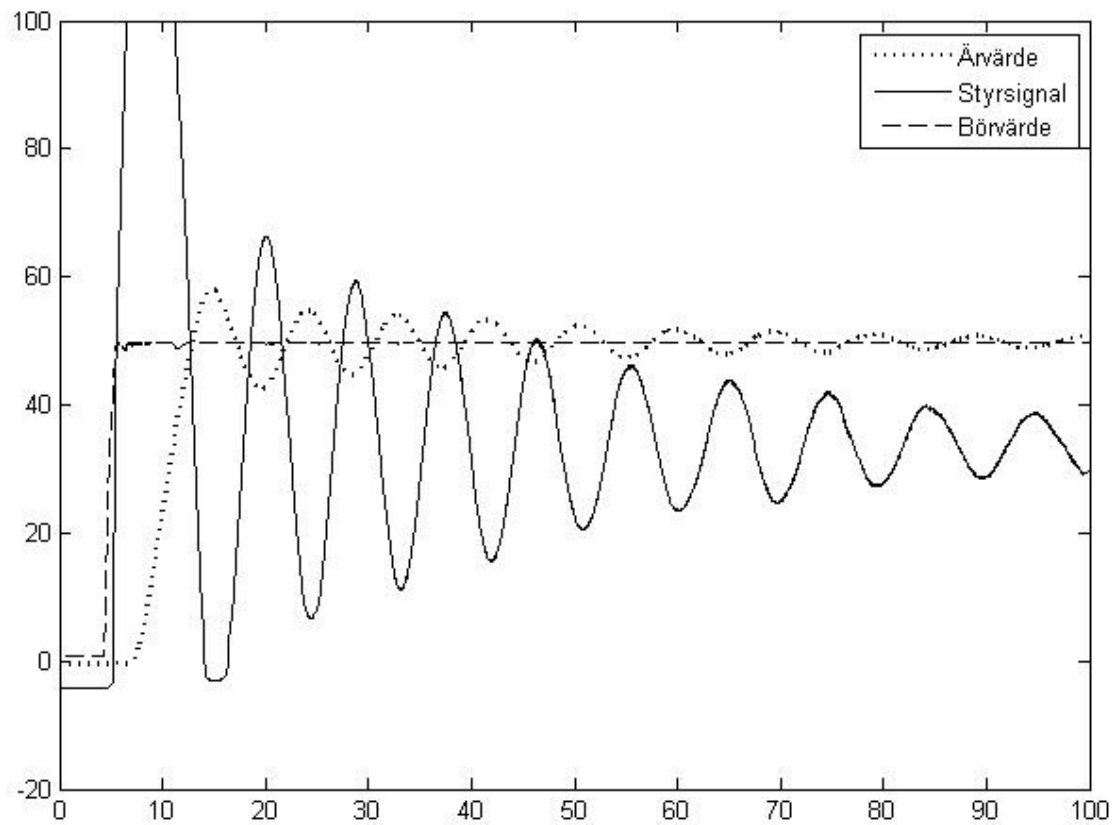


Figur 4.7: Insvängningsförlopp för Lambdametoden vid PI-reglering

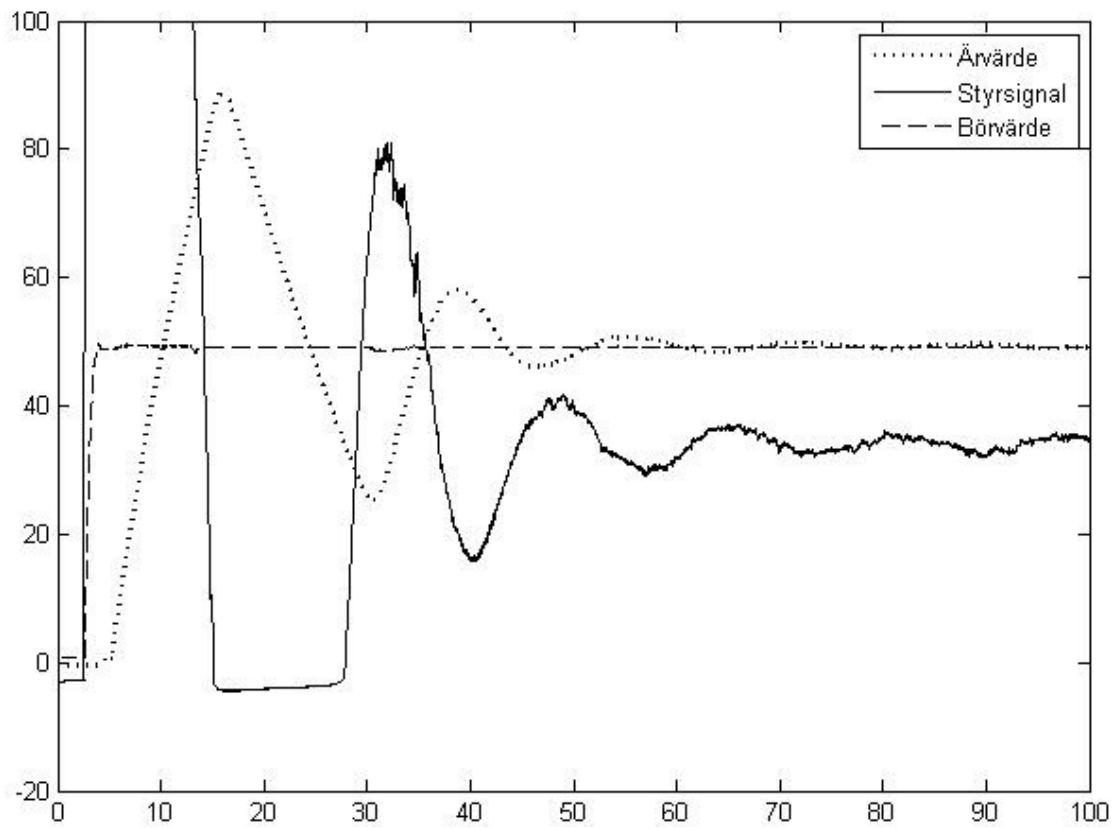
4.3.2 Självsvängningsbaserade metoder



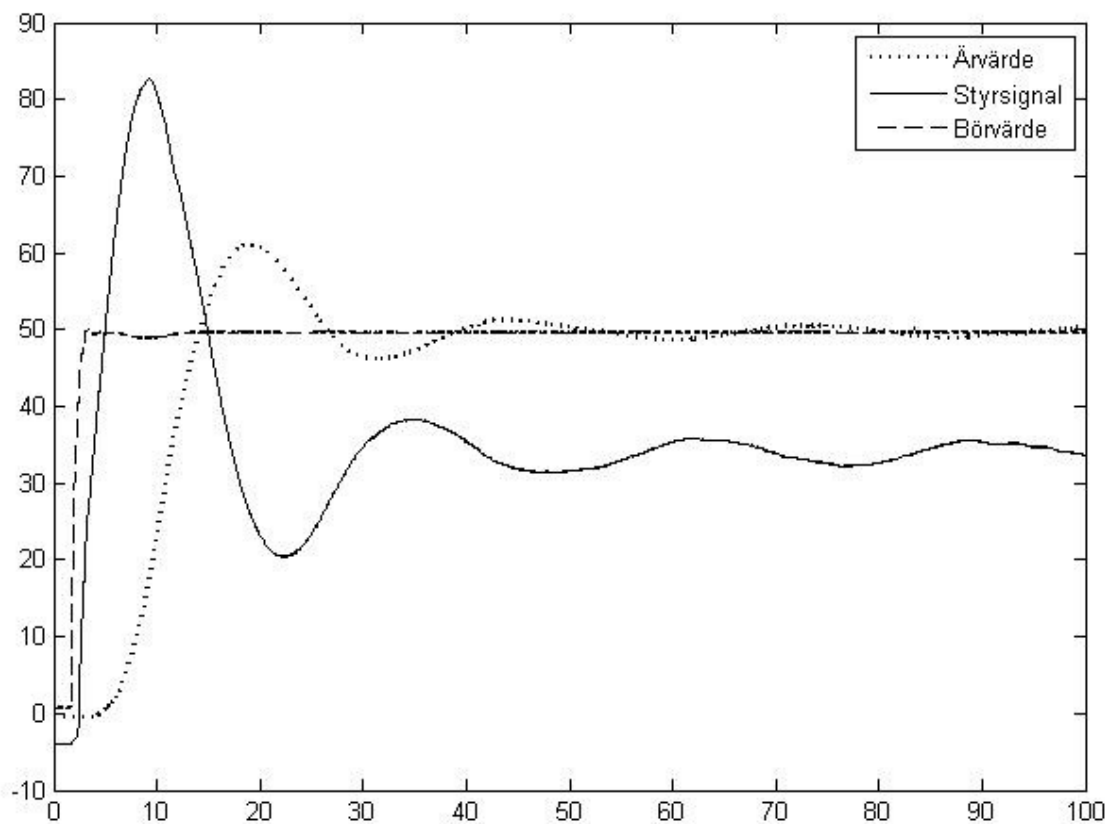
Figur 4.8: Insvängningsförlopp för Ziegler-Nichols² självsvängningsbaserade metod vid PID-reglering



Figur 4.9: Insvängningsförlopp för Ziegler-Nichols² självsvängningsbaserade metod vid PI-reglering



Figur 4.10: Insvängningsförlopp för AMIGO²'s självsvängningsbaserade metod vid PID-reglering

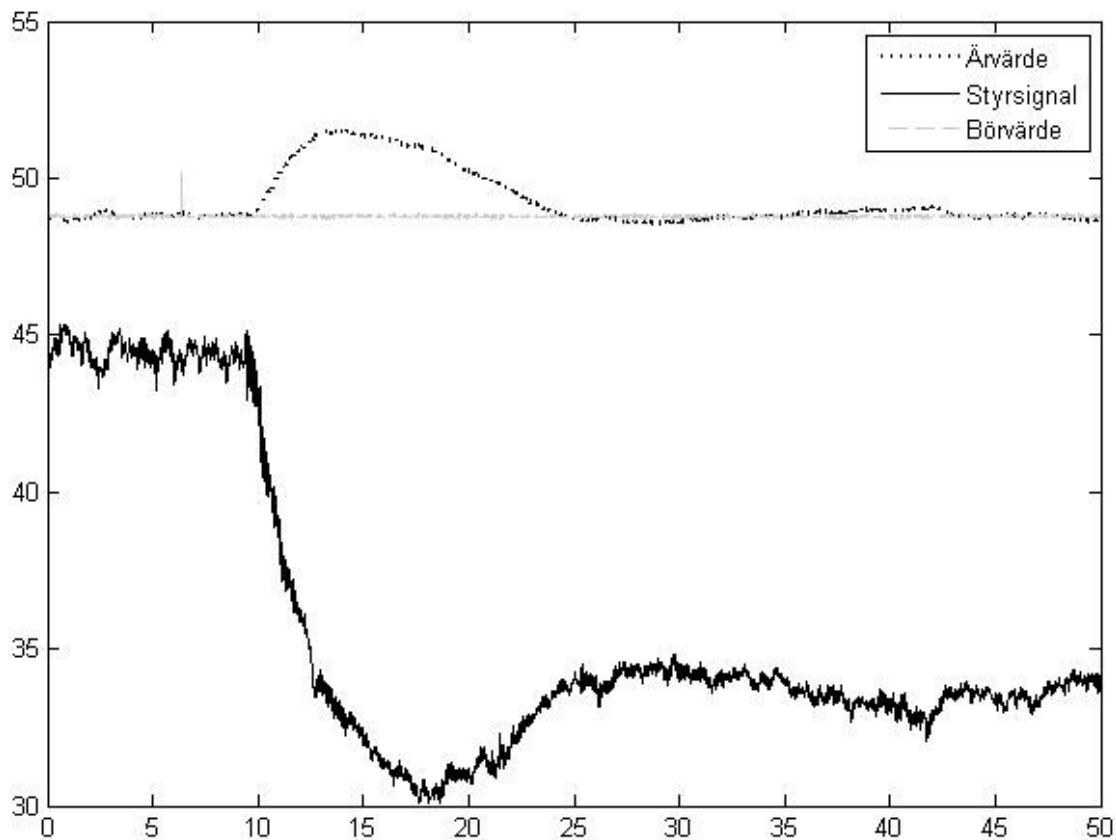


Figur 4.11: Insvängningsförlopp för AMIGO²'s självsvängningsbaserade metod vid PI-reglering

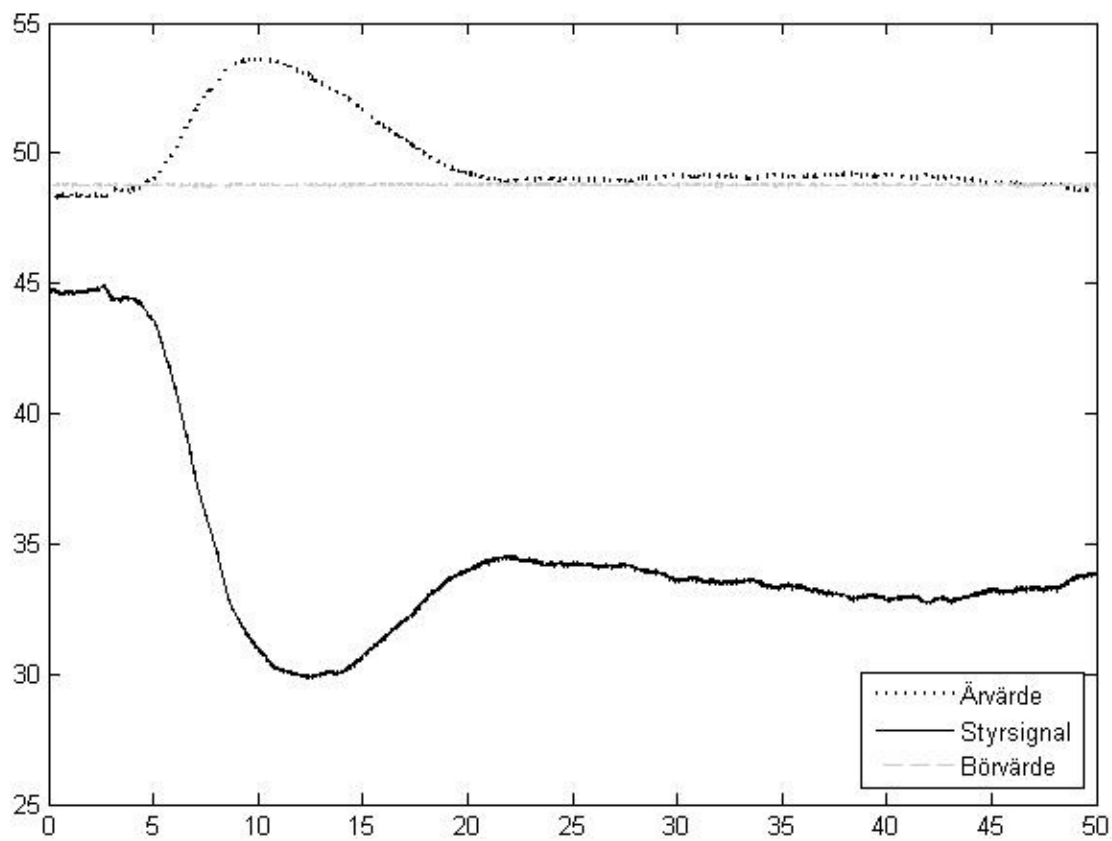
4.4 Störningsdämpning

Det här avsnittet visar hur de olika metoderna svänger in efter en störning i processen. Störningsexperimentet genomfördes så att röret fylldes med vatten till önskad nivå då ventil 4 och 5 var helt öppna. Därefter registrerades insvängningsförloppet då ventil 5 stängdes. Ziegler-Nichols¹ stegsvarsbaserade metod har utsletits då metoden klarade regleringen utan störningar allt för dåligt. Anledningen till att Lambdametoden ger mindre kvarstående fel är att T_i -värdet närmar sig det värde som för denna regulator innebär att integralverkan kopplas bort.

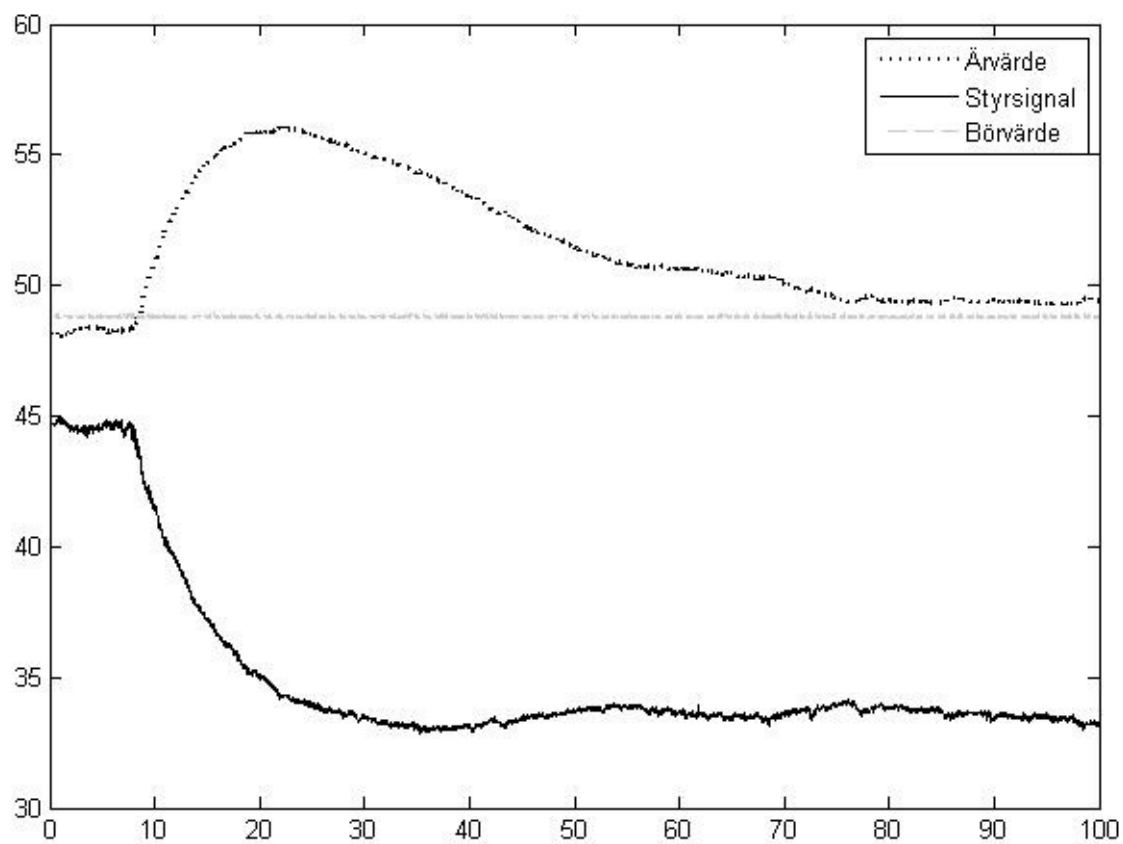
4.4.1 Stegsvarsbaserade metoder



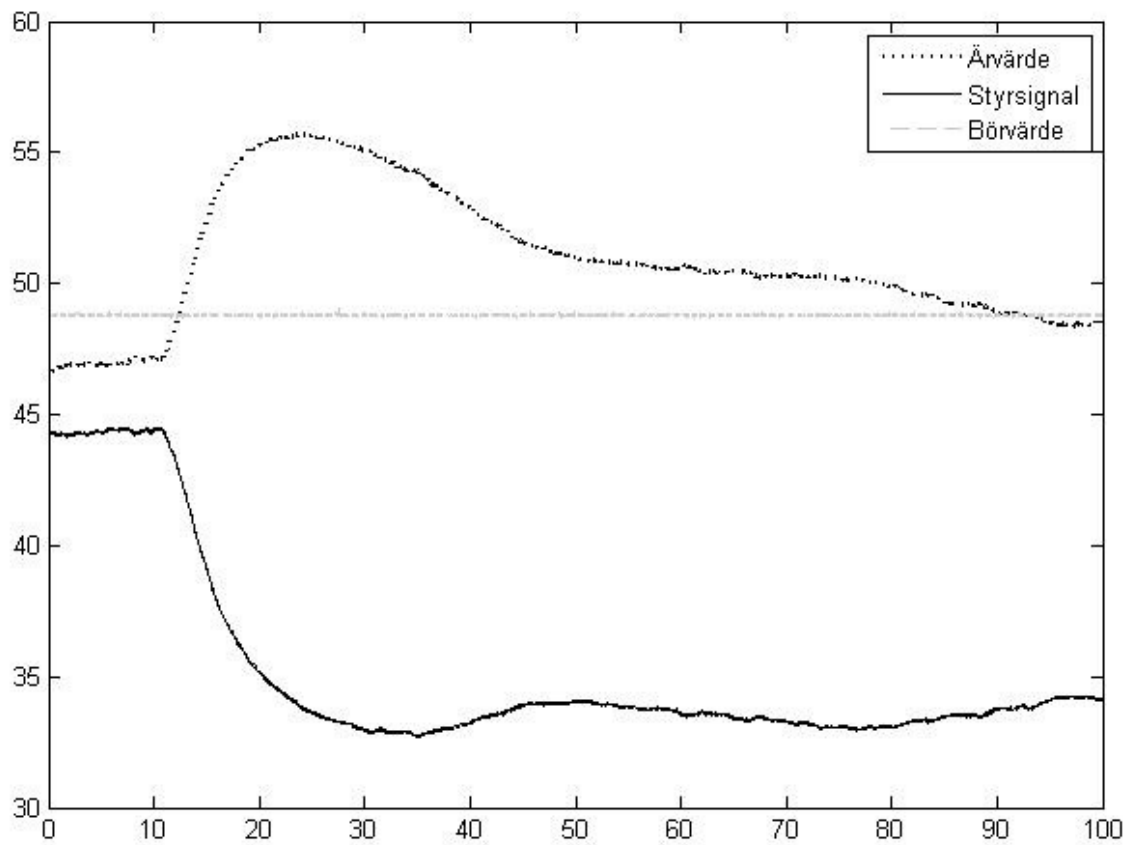
Figur 4.12: Störningsdämpning för AMIGO¹ s stegsvarsbaserade metod vid PID-reglering



Figur 4.13: Störingsdämpning för AMIGO¹ s stegvarsbaserade metod vid PI-reglering

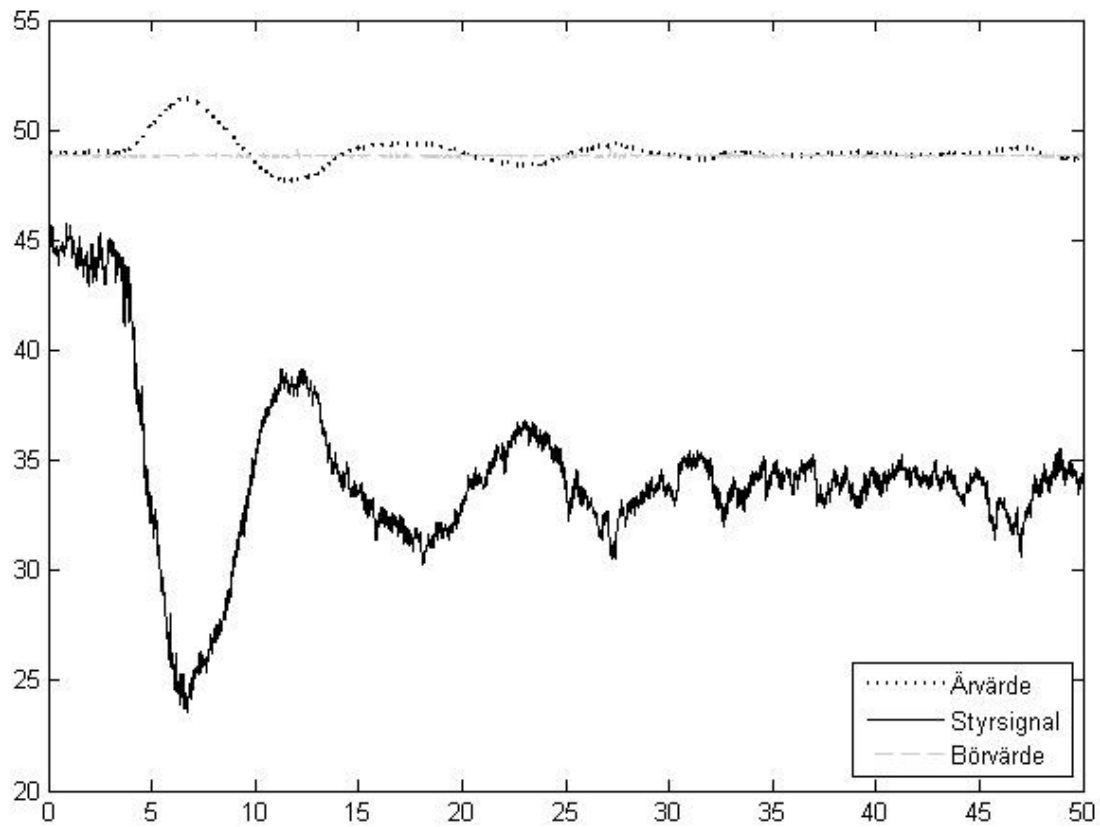


Figur 4.14: Störingsdämpning för Lambdametoden vid PID-reglering

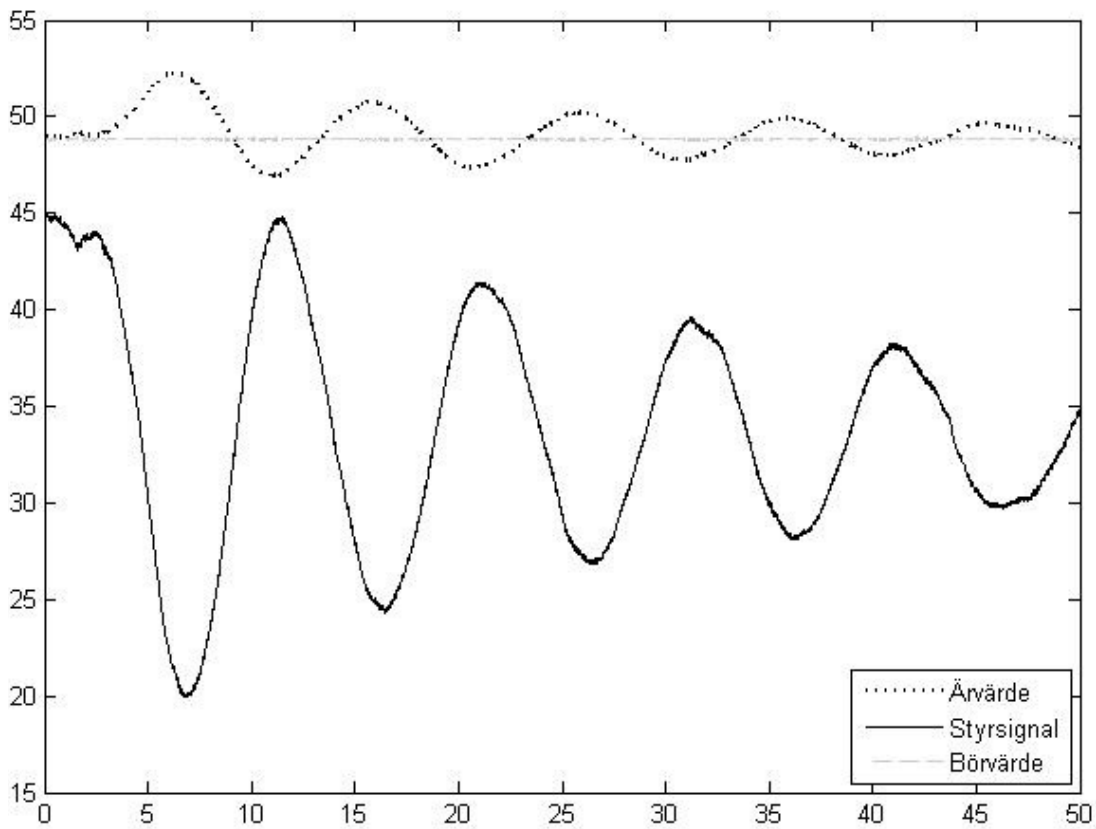


Figur 4.15: Störingsdämpning för Lambdametoden vid PI-reglering

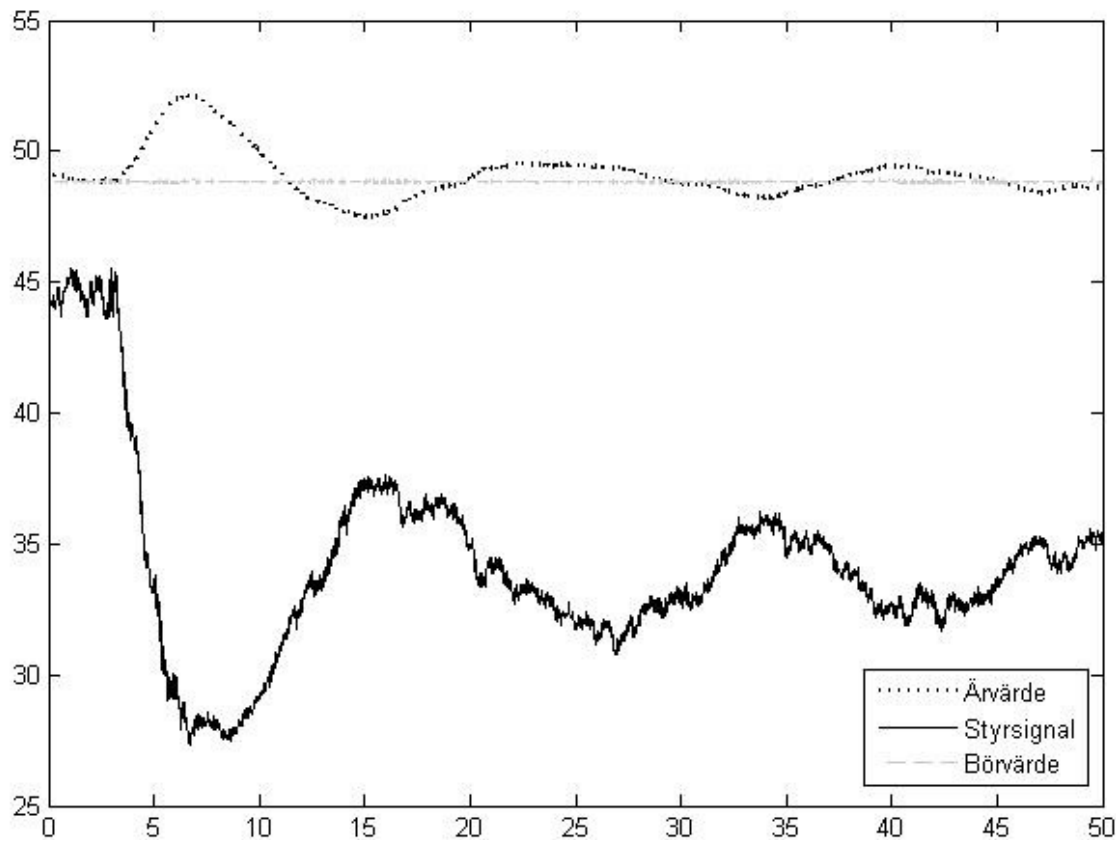
4.4.2 Självsvängningsbaserade metoder



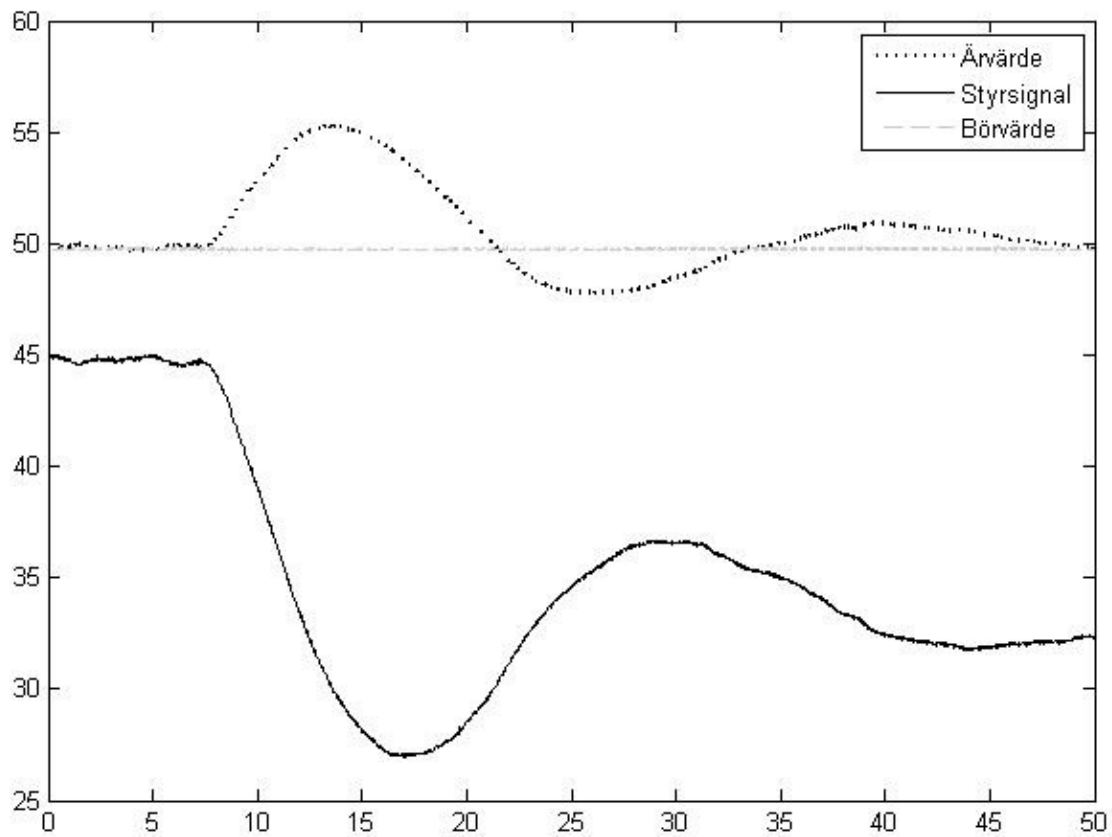
Figur 4.16: Störningsdämpning för Ziegler-Nichols² självsvängningsbaserade metod vid PID-reglering



Figur 4.17: Störningsdämpning för Ziegler-Nichols² självsvängningsbaserade metod vid PI-reglering



Figur 4.18: Störningsdämpning för AMIGO² s självvängningsbaserade metod vid PID-reglering



Figur 4.19: Störningsdämpning för AMIGO² s självvängningsbaserade metod vid PI-reglering

5. Diskussion och slutsatser

Det första som noteras är att Ziegler-Nichols¹ stegsvarsmetod använder ett annorlunda sätt att mäta tidskonstanten T jämfört med de övriga metoderna. Detta leder ofta till en väldigt hög förstärkning på regulatorn och ger en allt för aggressiv reglering. Detta syns redan för processen med två tidskonstanter där K -värdet skiljer sig markant från de övriga metoderna. Regleringen blir allt för svängande med stor översväng. AMIGO¹-metoden klarar regleringen av denna process bra men ger en översväng. Fasmarginalen ligger på gränsen till rekommenderat värde. Lambdametoden ger en robust reglering utan översväng med bra fasmarginal och insvängningstid.

För processen med tre tidskonstanter bekräftas återigen att Ziegler-Nichols¹ stegsvarsmetod ger en allt för svängande reglering. Stabilitetsmarginalerna ligger utanför rekommenderade värden. Vid PI-reglering ger Ziegler-Nichols¹ metod dessutom avsevärt längre insvängningstider än AMIGO¹-metoden. AMIGO¹-metoden ger liknande reglering som Lambdametoden vid PI-reglering men ligger liksom i tidigare fall nära rekommenderade gränser på stabilitetsmarginalerna. Lambdametoden står återigen för den mest robusta inställningen och tar därför lite längre tid på sig att svänga in vid störningar. För de självsvängningsbaserade metoderna gäller samma princip, Ziegler-Nichols² metod ger en mer aggressiv reglering än övriga metoder. Här ger även AMIGO²-metoden en svängande reglering, dock något mer robust än Ziegler-Nichols². Kristiansson-Lennartsons metod liknar AMIGO²-metoden, men ger något bättre fasmarginal och i detta fall den bästa regleringen.

Den integrerande processen är annorlunda då den endast kan regleras med två av metoderna. Resultaten bekräftar de slutsatser om Ziegler-Nichols¹ och AMIGO¹ som drogs i samband med processer med två och tre tidskonstanter. Intressant att notera är de extremt långa insvängningstiderna vilket tyder på att ingen av metoderna är anpassade för en snabb reglering på integrerade processer. Möjligtvis passar andra metoder bättre för detta ändamål.

Processen med översväng verkar vara oerhört svårreglerad och alla metoder ger en svängande reglering. Stabilitetsmarginalerna bekräftar att ingen av metoderna klarar av denna reglering särskilt bra och alla metoder ger extremt långa insvängningstider. Insvängningsförloppet vid störningar blir även det mycket svängigt. De självsvängningsbaserade metoderna fungerar något bättre än de stegsvarsbaserade vid PID-reglering, men fungerar inte alls vid PI-reglering.

Processer med dödtid anses i allmänhet vara svårreglerade. Studeras dödtidsprocesserna i detta arbete kan slutsatsen dras att Ziegler-Nichols¹-metod är olämplig att använda vid dödtidsprocesser. AMIGO¹-metoden och Lambdametoden verkar i dessa fall ge liknande resultat och klara rekommendationerna kring stabilitetsmarginaler. AMIGO¹-metoden verkar ge en mer robust reglering vid dödtid än vid övriga processer, ofta saknas översväng helt. För de självsvängningsbaserade metoderna ger både AMIGO²-metoden och Kristiansson-Lennartsons metod en bra reglering med liknande parametrar och resultat. Då dödtiden ökar

syns även begränsningarna med Ziegler-Nichols² självsvängningsbaserade metod, som fungerar dåligt för processer med lång dödtid.

Den verkliga processen som några av metoderna testats på ger inga större överraskningar. Ziegler-Nichols¹ stegsvarsbaserade metod ger ett allt för svängande resultat där styrsignalen upprepade gånger slår i taket. AMIGO¹-metoden och Lambdametoden ger båda en robust reglering utan översvängar. Ziegler-Nichols² självsvängningsbaserade metod är också aggressiv och svängig men fungerar något bättre än dess stegsvarsbaserade motsvarighet. AMIGO²-metoden ger i detta fall en liknande reglering som Ziegler-Nichols² metod. De beräknade parametrarna skiljer sig dock mer åt än de använda och större skillnader skulle ses om regulatören hade haft fler inställningsmöjligheter.

Baserat på resultaten i detta arbete kan följande slutsatser dras om de olika metoderna:

- Ziegler-Nichols båda metoder ger en allt för svängande och aggressiv reglering med dåliga stabilitetsmarginaler.
- Lambdametoden ger en mycket robust och stabil reglering med goda stabilitetsmarginaler.
- Lambdametoden kan ge långa insvängningstider beroende på vilket värde som väljs på parametern λ .
- AMIGO-metoderna är ett mellanting mellan Ziegler-Nichols metoder och Lambdametoden. De ger en snabb reglering med mindre översvängar, men med något sämre stabilitet än Lambdametoden.
- Kristiansson-Lennartsons metod liknar den självsvängningsbaserade varianten av AMIGO-metoderna och ger en snabb reglering.

Ingen av metoderna fungerar riktigt bra för alla typer av processer, men de flesta ger skapliga resultat för de olika processer som presenterats i detta arbete. Flera av metoderna är ej avsedda för mer ovanliga processtyper som processer med stora översvängar och lång tidskonstant och fungerar också dåligt för dessa. Ingen av metoderna kan sägas fungera överlägset bäst, utan val av metod bör baseras på typ av process samt vilken reglering som önskas.

Ziegler-Nichols båda metoder ger en allt för svängande och aggressiv reglering i samtliga processer de prövats mot i detta arbete, vilket de också är kända för. Denna typ av reglering vill man sällan ha i processindustrin. Den självsvängningsbaserade metoden fungerar något bättre än den stegsvarsbaserade. En nackdel med den stegsvarsbaserade varianten är svårigheten i att mäta upp parametern $T_{100\%}$ noggrant. Kanske hade denna metod fungerat bättre om det andra alternativet, $T_{63\%}$, användes istället? Det skulle i alla fall ge ett lägre värde på K-parametern i regulatören. En annan nackdel är att dessa metoder ofta kräver mycket kraftiga styrsignaler, vilket inte alltid är möjligt. Styrsignalen riskerar också att slå i taket. Då det i dagsläget finns flera andra bättre metoder för inställning av PID-regulatorer finns det egentligen ingen anledning att rekommendera Ziegler-Nichols metoder längre.

AMIGO-metoderna fungerar över lag bra för de processer som simulerats i detta arbete och kan rekommenderas då man vill ha en snabb reglering. En nackdel är att det ofta uppstår en

översväng vid regleringen. Både AMIGO- och Lambdametoden ger en bra reglering för många olika typer av processer. Om man av någon anledning önskar en mer robust reglering är Lambdametoden ett bättre val. En nackdel med Lambdametoden är att den inte är framtagen för integrerande processer. De rekommendationer kring lambdafaktorn som skogsindustrin gett kan tyckas onödiga då valet $\lambda = T$ redan ger en mycket robust reglering utan översvängar. Valen $\lambda = 2T$ och $\lambda = 3T$ är överflödiga i de flesta fall då de ger onödigt långa insvängningstider.

Kristianssons-Lennartsons metod verkar skilja sig mycket lite från AMIGO-metoden i resultat. Att tillföra ett extra gradtal i nämnaren i form av ett lågpasfilter ger dock en större fasvridning. En nackdel är att det för beräkningarna krävs att man känner till amplitudförstärkningen vid självsvängningsfrekvensen och lågfrekvensförstärkningen, vilket inte alltid är möjligt att ta reda på. I de fall som det är möjligt att ta reda på dessa parametrar kan Kristiansson-Lennartsons metod rekommenderas som ett alternativ till AMIGO-metoden.

Källförteckning

Litteratur:

Forsman, K. (2005). *Reglerteknik för processindustrin*. Lund: Studentlitteratur

Hägglund, T. (2008). *Praktisk processreglering*. Malmö: Studentlitteratur

Lennartson, B. (2001). *Reglerteknikens grunder*. Lund: Studentlitteratur

Pärt-Enander, E. & Sjöberg, A. (2003). *Användarhandledning för MATLAB 6,5*. Stockholm: Elanders Gotab

Thomas, B. (2008). *Modern reglerteknik*. Stockholm: Liber

Bilder:

Bilden på framsidan är hämtad från Wikipedia

Figur 2.1, 2.2 och 2.3 är hämtad ur Hägglund (2008) sid 21-23

Figur 2.8 är hämtad ur Thomas (2008) sid 158