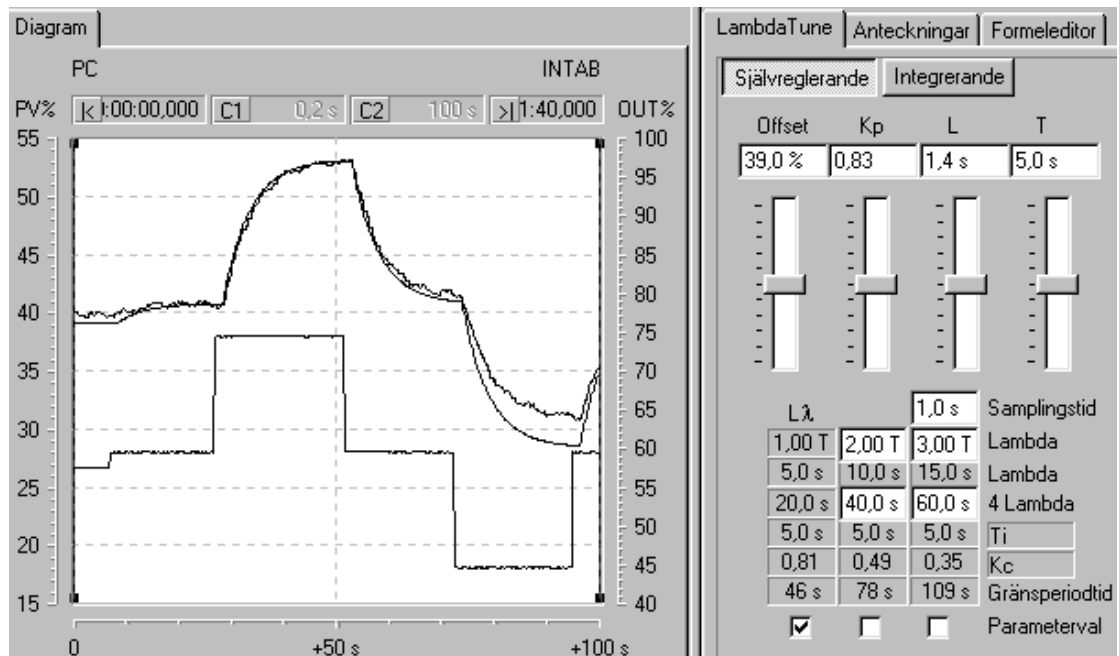


LambdaTune



Innehållsförteckning

INNEHÅLLSFÖRTECKNING	1
INLEDNING	1
DEFINITIONER	3
PROCESSTYPER	3
SJÄLVREGLERANDE PROCESS	3
Dödtid (L).....	4
Processförstärkning (K_p).....	4
Tidskonstant (T).....	6
INTEGRERANDE PROCESS.....	7
Dödtid (L).....	7
Hastighetsförstärkning (K_v).....	8
STYRDON	8
MÄTGIVARE	8
SAMPLINGSTID (TS), TIDEN MELLAN TVÅ EXEKVERINGAR	9
FILTER	9
LAMBDA-METODEN	11
STEGSVAR FÖR SJÄLVREGLERANDE PROCESS	11
Beräkning av regulatorparametrar, enligt Lambdametoden, för självreglerande processer.....	13
Dödtidsanpassat val av Lambda (λ) för självreglerande process	19
Dämpning av störningar (gränsperiodtiden).....	20
STEGSVAR FÖR INTEGRERANDE PROCESS	20
Beräkning av regulatorparametrar, enligt Lambdametoden, för integrerande processer	21
ANSLUTNING AV LOGGER	25
DATAINSAMLING	27
HANDHAVANDE AV LAMBDATUNE	29
IDENTIFIERING OCH PARAMETERBERÄKNING FÖR SJÄLVREGLERANDE PROCESS	30
IDENTIFIERING OCH PARAMETERBERÄKNING FÖR INTEGRERANDE PROCESS	33
TILL SIST	35

INLEDNING

När du ska försöka ställa in en regulators parametrar kanske du funderar, hur gör man nu? Vilken metod ska jag använda? Ska jag använda pilkastningsmetoden och prova mig fram tills målet uppnåtts eller försöka med en vetenskaplig metod? Vi får erkänna att det inte alla gånger är så lätt att optimera en reglerkrets men vi ska här på ett enkelt sätt försöka reda ut en del begrepp utan att hamna i några avancerade regleralgoritmer. Du kommer att få lära dig en bra och användbar optimeringsmetod för regulatorns reglerparametrar (PI).

Optimeringsmetod och beräkningar följer i all väsentlig del de av SSG (SKOGSINDUSTRINS TEKNIK AB) utarbetade riktlinjer som finns i dokument 5253. SSG har valt att nyttja den så kallade Lambdametoden då den visat sig fungera bra på både självreglerande och integrerande processer.

Metoden är generell och passar för optimering av PI-regulatorer i all typ av industri.

D-delen i regulatorn kommer vi inte att ta upp då den gör det hela betydligt krångligare. D-delens funktion ska dock inte förringas men den har inte mycket att bidra till en process av första ordningen, med eller utan dödtid, eller i integrerande processer. Den kan vara till hjälp i processer med flera tidskonstanter (högre ordningens processer) men då krävs det att följande villkor är uppfyllda.

- Du ska känna till aktuell regulatorstruktur. Är den ideal, seriell eller parallell.
- Du ska känna till med vilken storhet D-delen ska matas in i regulatorn.
- Du ska även känna till funktionen av D-delens filter.
- Du måste bestämma vilken variabel D-delen ska vara kopplad till. Är det börvärdet, ärvärdet eller något annat.
- Det får inte finnas betydande brus i den variabel D-delen är kopplad till då det ger upphov till en orolig styrsignal.

En väl optimerad PI-regulator uppfyller de flesta behov.

En PID-regulator är uppbyggd av de tre blocken P, I och D. Dessa block kan sammanfogas på olika sätt och därmed ge olika struktur på regulatorn. De strukturer som finns är ideal, seriell och parallell. Vanligast förekommande är ideal och seriell för vilka parameterberäkningarna i INTABS **LambdaTune** är anpassade. Ska du trimma en regulator med parallell struktur stämmer beräkningen av regulatorförstärkningen (K_c) men den uträknade integreringstiden (T_i) måste multipliceras med regulatorförstärkningen (K_c) för att regulatorns integreringstid ska stämma (se formeln nedan).

$$Ideal(K_c) = Parallell(K_c)$$

$$\frac{Ideal(T_i)}{Ideal(K_c)} = Parallell(T_i)$$

Önskar man ta rätt på en regulators struktur kan följande test utföras. Ställ regulatort i manuellt läge och justera styrsignalen till 20%. Sätt regulatorförstärkningen (K_c) till 2 och integreringstiden (T_i) till 20 sekunder. Sätt börvärdet (SP) på 20 %. Anslut en signalkälla till ingången för ärvärdet (PV). Justera ärvärdessignalen (PV) så att regleravvikelsen (e) blir noll. Slå om regulatort i automatik. Gör en momentan ändring av ärvärdet (PV) på 10%. Om regulatort är av typen ideal eller seriell ska styrsignalen (OUT) ”hoppa” 20% och efter 20 sekunder ska den ha ökat ytterligare 20%. Beter sig inte regulatort på detta sätt utan ”hoppa” först 20% och rampa (ökar) nästkommande 20 sekunder med bara 10% har du troligtvis en regulator av typen parallell.

INTABS AAC-2F logger tillsammans med **LambdaTune** programvaran utgör ett enkelt och kraftfullt hjälpmedel för att logga data, identifiera processens parametrar och slutligen beräkna lämpliga regulatorparametrar. För att resultatet ska bli lyckat krävs dock att några villkor är uppfyllda.

-Du som ska optimera regulatorn måste förstå dig på den process som ska regleras.

- Vilka reglerkretsar påverkar varandra?
- Vilken variabel ska regulatorn styra mot?
- Har produktionsnivån någon betydelse?
- m.m.

-Du ska ha ett mål med optimeringen.

- Ska regulatorn optimeras för att attackera hårt på laststörningar eller ska den ha ett mera försiktigt beteende?
- Ska regulatorns snabbhet anpassas mot någon annan reglerkrets?
- m.m.

-Styrdon ska vara rätt placerat och i bra skick. Se avsnitt ”STYRDON”.

-Mätgivare ska vara rätt placerade och vara i bra skick. Se avsnitt ”MÄTGIVARE”.

-Filter ska vara av lämplig storlek. Se avsnitt ”FILTER”.

-Samplings tiden i regulatorn får ej vara för långsam. Se avsnitt ”SAMPLINGSTID (T_s), TIDEN MELLAN TVÅ EXEKVERINGAR”.

Efter en del försök och kanske några misstag kommer du att känna ett ökat intresse av optimeringsarbetet allt eftersom förståelsen ökar och du ser hur processen regleras på ett bättre sätt.

Lycka till!

DEFINITIONER

Definition	Förkortning	Enhet
Ärvärde (Processvärde)	PV	0-100% av mätområdet
Börvärde (Setpoint)	SP	0-100% av mätområdet
Regleravvikelse (error)	e	0-100% av mätområdet
Regulatorförstärkning	Kc	Gånge
Regulatorns integreringstid	Ti	Sekunder
Regulatorns D-tid	Td	Sekunder
D-delens filterkonstant	Tf	
Regulatorns styrsignal	OUT	0-100%
Samplingstid	Ts	Sekunder
Processförstärkning, självreglerande process	Kp	Gånge
Hastighetsförstärkning, integrerande process	Kv	1/sekunder
Processens tidskonstant	T	Sekunder
Dödtid	L	Sekunder
Gränsperiodtid, 30% av variationen dämpas	Tg	Sekunder
Lambda, slutna reglerkretsens tidskonstant	λ	Sekunder
Tid	t	Sekunder

PROCESSTYPER

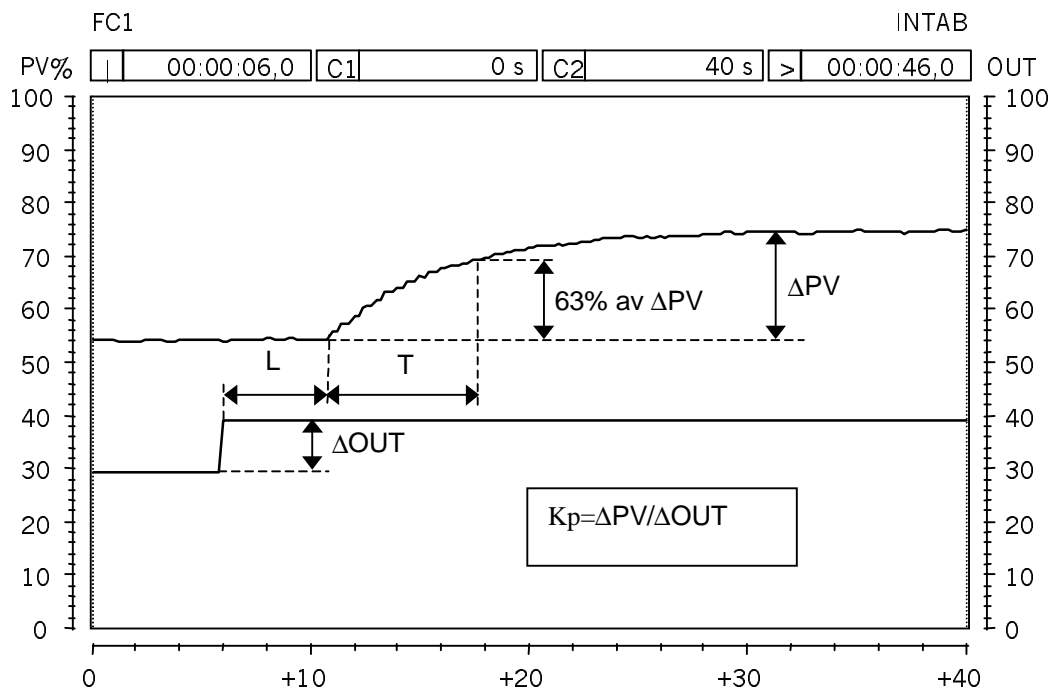
Det är viktigt att du innan du ger dig i kast med optimeringsarbetet känner till och förstår de två huvudtyperna av processer. Självreglerande och integrerande process.

Självreglerande process

Den här processtypen är den vanligast förekommande och namnet avslöjar lite om hur den beter sig. Om man med regulatorn i manuellt läge gör en stegändring av styrsignalen (OUT) kommer ärvärdet (PV) att påverkas och "själv" reglera in sig på en ny mätvärdesnivå. Se figur 1.

Typiska självreglerande processer är t.ex. de flesta flöden, tryck, koncentration och temperaturregleringar.

Den självreglerande processen kan beskrivas med hjälp av tre parametrar. Dödtid (L), processförstärkning (Kp) och tidskonstant (T). Se figur 1.



Figur 1 Stegsvär självreglerande process.

Dödtid (L)

Dödtiden (L) är den tid det tar från det att styrsignalen (OUT) ändrats till dess att ärvärdet (PV) börjar svara. Se figur 1.

Det är viktigt att i möjligaste mån försöka minimera dödtiden. Om vi skulle lyckas att helt eliminera dödtiden i en reglerkrets vore det en enkel sak att ställa in reglerparametrarna. Oavsett vilka värden som regulatorförstärkningen (K_c) skulle sättas till så skulle regleringen inte hamna i självsvängning. Tyvärr är verkligheten en annan. De flesta regulatorer är idag digitala och redan där drabbas vi av en dödtid mellan regulators exekveringar. För att kompensera dödtiden måste vi hålla igen på regulatorförstärkningen (K_c) för att undvika instabilitet i reglerkretsen. Ju längre dödtiden är, desto lägre förstärkning måste vi ha i regulatorn.

Processförstärkning (K_p)

En annan parameter som måste identifieras är processförstärkningen (K_p).

Processförstärkningen (K_p) är förhållandet mellan förändring av styrsignalen (OUT) i % och den förändring det gav på ärvärdet (PV) i %. Se figur 1. **Obs!** ärvärdet (PV) måste alltid anges i procent av mätområdet (0-100 %) och ej i ingenjörsenheter som t.ex. 0-500 l/min.

Om vi ändrar styrsignalen (OUT) 10% för en reglerkrets och det ger en ändring av ärvärdet på 20% så är $K_p = 2$. Processförstärkning (K_p) beräknas genom att dividera ändringen av ärvärdet (PV) med ändringen av styrsignalen (OUT) enligt formeln:

$$K_P = \frac{\Delta PV}{\Delta OUT}$$

För att regleringen ska fungera på ett önskvärt sätt bör processförstärkningen (K_p) vara mellan 0,5 och 2. Om processförstärkningen (K_p) är för låg går det oftast bra att reglera men det kan bli klagomål på att reglerkretsen inte kommer upp i övre delen av mätområdet. Är däremot processförstärkningen (K_p) för hög kan problem med regleringen uppstå. Det yppar sig så att när styrdonet, t.ex. en ventil som alltid har en viss del hysteres, gör sin minsta möjliga rörelse så ger den ändå en för stor ändring av ärvärdet (PV). Börvärdet (SP) passeras och regulatören börjar minska styrsignalen. Ett nytt ”hopp” kommer när hysteresgränsen åter nåtts och så kommer regleringen att fortsätta att pendla runt börvärdet (SP). Ett dödband i regulatören kan i det läget vara en tillfällig nödlösning tills styrdonet bytts till rätt dimension.

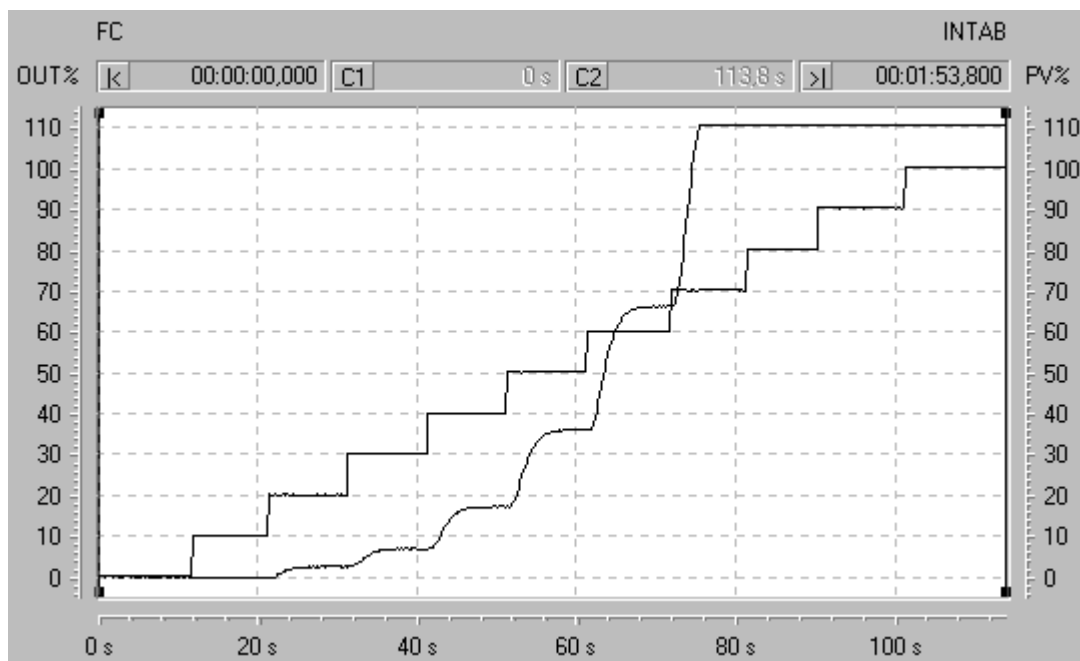
Processförstärkningen (K_p) påverkas om dimensionen på styrdonet eller om mätområdet för en reglerkrets ändras. Regulatorförstärkningen (K_c) måste då också följaktligen ändras. Halveras mätområdet måste även regulatorförstärkningen (K_c) i regulatören halveras. Fördubblas mätområdet måste även regulatorförstärkningen (K_c) fördubblas för att få den att bete sig på samma sätt som tidigare.

Processförstärkningen (K_p) kan även vara negativt. Koncentrationsregleringar är ofta sådana. En ökad styrsignal ger en lägre koncentration vilket ger en negativ processförstärkning (K_p).

Ett annat problem med processförstärkningen (K_p) är att den alltid är mer eller mindre olinjär. Det yttrar sig så att på en viss styrsignalsnivå är processförstärkningen (K_p) lägre än på en annan styrsignalsnivå. För att fullständigt ta reda på hur olinjär reglerkretsen är behövs det alltså utföras många steg i hela styrsignalsområdet. Se figur 2 där reglerkretsen har en olinjär processförstärkning. Olinjäriteten var i detta fall orsakad av en felaktig kamskiva i positionern. Nu är det oftast mycket svårt att få tillåtelse till en test där styrsignalen stegas i hela sitt område p.g.a. processtörningarna blir för stora. Oftast går det bara att göra stegprov på ett par tre olika styrsignalsnivåer.

Upptäcks olinjäriteten bör den åtgärdas på ett eller annat sätt. Att processförstärkningen (K_p) alltid är mer eller mindre olinjär ska vi ha i åtanke när vi väljer regulatorförstärkning (K_c). En allt för tufft trimmad regulator kan fungera bra i en viss del av styrsignalsområdet men hamna i självsvängning i en annan del.

Kan olinjäriteten tas bort genom modifiering av styrdon eller på något annat sätt är det den bästa lösningen på problemet. I annat fall kan parameterstyrning (Gain Scheduling) av regulatorförstärkningen (K_c) vara en bra motåtgärd. Beroende på driftsnivå varieras automatiskt regulatorförstärkningen (K_c). Där driftsnivån ger en lägre processförstärkning (K_p) får regulatören en högre förstärkning (K_c) och tvärt om. På så sätt kan en olinjär reglerkrets fås att fungera tillfredsställande över hela sitt arbetsområde.



Figur 2 Steg i hela styrsignalsområdet för en självreglerande process.

Tidskonstant (T)

Tidskonstanten (T) står för den självreglerande processens tidskonstant.

Definitionen på tidskonstanten är, tiden från det att ärvärdet (PV) börjar svara på en styrsignalsförändring till dess att ärvärdet (PV) nått 63% av sitt slutvärde. Se figur 1. Efter fyra tidskonstanter (4T) har 98% av slutvärdet uppnåtts.

Ju längre tidskonstanten (T) desto längre ska regulatorns integrationstid (T_i) vara.

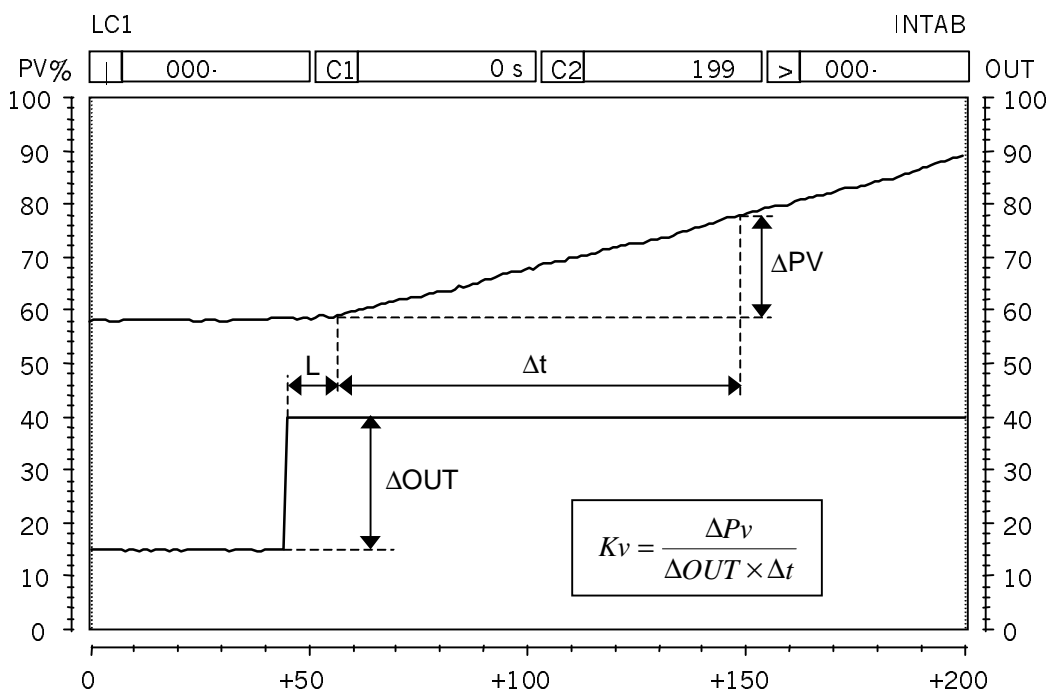
Vissa processer kan ha olika tidskonstanter (T) beroende på åt vilket håll stegsvaret görs. Det kan förekomma vid t.ex. temperaturreglering där det kan gå snabbare att värma upp mediet än att få det avkylt. I ett sådant läge bör regulatorns integrationstid (T_i) beräknas efter den långsammare tidskonstanten(T).

Integrerande process

Den integrerande processen gör också skäl för sitt namn. Tänk dig en tank med konstant uttag. Fylls det på lika mycket som det tas ut kommer nivån att ligga konstant. Fylls det på mer än vad som tas ut, om än så lite, kommer nivån att börja integrera/rampa uppåt med en viss lutning. Likaså om det fylls på mindre än vad som tas ut kommer nivån att integrera/rampa fast i motsatt riktning.

Typiska integrerande processer är de flesta nivåregleringar. Se figur 3.

På samma sätt som med den självreglerande processen måste vi även här ta fram parametrar som beskriver processen. Den integrerande processen beskrivs med hjälp av två parametrar. Dödtid (L) och hastighetsförstärkning (Kv). Se figur 3.



Figur 3 Stegsvår integrerande process.

Dödtid (L)

Dödtiden (L) beräknas på samma sätt som för den självreglerande processen.

Tiden från det att styrsignalen ändras till dess att ärvärdet (PV) börjar svara. Se figur 3.

Oftast har integrerande processer kort dödtid. Är dödtiden (L) av någon anledning lång i en integrerande process och den regleras med en P-regulator kan nivåregleringen bli instabil.

Hastighetsförstärkning (Kv)

Värdet på hastighetsförstärkningen (Kv) anger hur brant en integrerande process, exempelvis en tank integrerar/rampar för en ändring av styrsignalen (OUT). Hastighetsförstärkningen (Kv) kan beskrivas som hur mycket nivån förändrats i procent per sekund för en procents ändring av styrsignalen (OUT). Se figur 3. Hastighetsförstärkningen (Kv) blir alltså ett litet tal som beräknas enligt formeln:

$$Kv = \frac{\Delta Pv}{\Delta OUT \times \Delta t}$$

STYRDON

Styrdonet är den enhet i reglerkretsen som oftast förorsakar problem och därmed kräver störst underhåll.

Hysteres d.v.s. glapp och friktion ska hållas minimal för att ge god precision i regleringen. Före en optimering bör besiktning av styrdonet ske. Kontrollera luftmatning, kablar, läckage m.m. Det är bra om en enkel test av hysteres utförs på styrdonet före optimeringen. Testet kan ske så att styrsignalen ändras någon procent och iakttagelse görs om styrdonet rör sig. Rör den sig inte görs större förändringar och snart erhålls en uppfattning om hur stor hysteres styrdonet har. Är styrdonet i dåligt skick är det ingen mening att försöka optimera förrän bristen är åtgärdad.

Det är viktigt med ett linjärt förhållande mellan styrsignal och dess inverkan på ärvärdet (PV). Ta ej för givet att kamskivor och dylikt. hos styrdonet alltid är de rätta.

Styrdonet ska vara rätt dimensionerat för att få en lämplig processförstärkning (Kp) eller hastighetsförstärkning (Kv).

MÄTGIVARE

Mätgivaren ska placeras efter tillverkarens rekommendationer och så att minimal dödtid erhålls. I vissa fall kan montaget påverka reglerkretsens tidskonstant. Om t.ex. en temperaturgivare förses med ett tjockt skyddsror kommer det att ta längre tid för givaren att känna förändringar i mediats temperatur. Vi har infört en extra tidskonstant i processen på detta sätt. Detta bör undvikas då det försvårar regleringen.

Eventuellt filter i mätgivaren ska vara lämpligt justerat. Se avsnitt "FILTER". Signalledning från mätgivare till regulator ska vara så förlagd att störningar ej adderas till mätsignalen.

SAMPLINGSTID (T_s), TIDEN MELLAN TVÅ EXEKVERINGAR

För att en digital regulator skall kunna reglera en process effektivt bör den exekveras minst 3 men helst 5-10 gånger snabbare än den aktuella processens tidskonstant (T). Detta medför att i ett styrsystem kan man behöva gruppera reglerkretsarna i grupper med olika samplingstider (T_s) för att hushålla med styrsystemets resurser. Flödes- och tryckregleringar som har snabb dynamik måste exekveras ofta. Temperatur- och nivåregleringar kan exekveras med längre intervall eftersom dessa oftast är långsamma.

I ett styrsystem kan inte alla funktioner samplas hur snabbt som helst eftersom det skulle överbelastas med olika problem som följd. Vid för långsam sampling blir reglerkretsens prestanda dålig eftersom regulatorn får information om processen alltför sällan för att kunna göra ett bra jobb (tiden mellan två exekveringar är förlorad information). Det kan med andra ord bli en kompromiss mellan styrsystemets och reglerkretsens prestanda.

Ett fenomen som uppstår om samplingen sker för långsamt är att högfrekvent brus kan tolkas som långsamma variationer i mätsignal. Detta fenomen kallas för vinkningsdistortion. Regulatorn kommer att "se" långsamma variationer och försöker då att reglera bort dessa, trots att de egentligen inte finns. Det kommer att störa processen och kan även störa närliggande processavsnitt med tillhörande reglerkretsar.

Det finns två sätt att råda bot på detta problem:

1. Exekvera oftare. Vilket inte alltid är möjligt p.g.a. att det inte går att sätta en tillräckligt kort samplingstid (T_s) i styrsystemet.
2. Använda ett analogt filter före regulatorns A/D-omvandlare. Förslagsvis används filtret i givaren.

Det som normalt används är ett filter. Filtrets tidskonstant sätts till 1,3 gånger samplingstiden (T_s) för den aktuella reglerkretsen (**OBSERVERA** att det är den absolut lägsta filterkonstanten som får användas). Filtret måste sättas före regulatorns AD-omvandlare och förslagsvis används mätgivarens inbyggda filter. Detta ger ett gott skydd mot vinkningsdistortion.

FILTER

För att få ett bra mätvärde att reglera på måste högfrekventa störningar filtreras bort. I annat fall kommer brusets amplitud att multipliceras med regulatorförstärkningen (K_c) vilket i sin tur kommer att påverka regulatorns styrsignal (OUT). Detta introducerar störningar i processen och ger upphov till onödigt slitage av styrdonet med ökade kostnader för underhåll som följd. Filtringen utförs lämpligen vid mätgivaren genom att ställa in filtrets tidskonstant till ett lämplig värde.

Vad är då ett lämpligt värde på filtrets tidskonstant? Väljs en för kort filtretid eller om filtret helt tas bort kommer mätsignalen troligtvis att bli för brusig och kanske inte lämpar sig för reglering. Dessutom kan vinkningsdistortion uppstå (se förra avsnittet). Filtreras däremot mätsignalen för mycket kommer den visserligen att vara stabil men reglerkretsen kommer att bli långsam på att hantera laststörningar och börvärdesändringar. Det beror på att processens dynamik mer eller mindre döljs av filtret p.g.a. att det är filtrets tidskonstant som dominerar över processens.

Genom att följa två enkla regler väljs en "lämplig" tidskonstant på filtret.

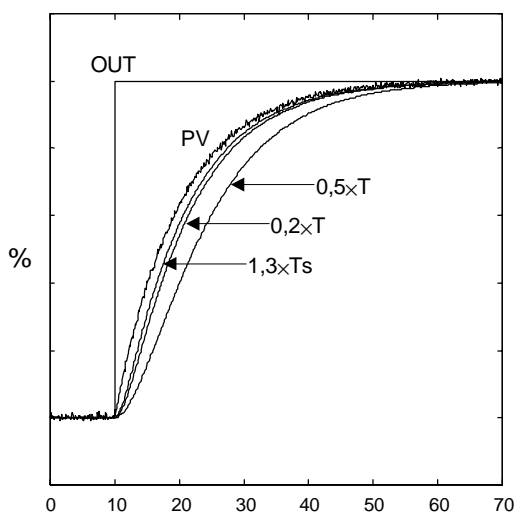
Regel A: Filtrets tidskonstant $\geq 1,3 \times T_s$

Regel B: Filtrets tidskonstant $\leq (0,2-0,5) \times T$

Regel A får aldrig brytas eftersom det skulle kunna ge upphov till vinkningsdistortion (se förra avsnittet). Måste kraftigare filtrering än **Regel A** tillämpas p.g.a. mycket brus i mätsignalen måste **Regel B** beaktas. Den säger att filtrets tidskonstant ska vara 2-5 gånger mindre än processens tidskonstant (T) för att inte "dölja" processens dynamik alltför mycket. I vissa situationer måste en kraftigare filtrering användas för att få en accepterbar mätsignal för reglering. **Regel B** måste då brytas, men var då medveten om att en större del av processens dynamik kommer att döljas.

OBS Regel B gäller bara för självreglerande processer eftersom integrerande processer inte har någon tidskonstant.

Figur 4 visar fyra stegsvar på en självreglerande process där PV inte filtreras, PV filtreras enligt **Regel A** och enligt **Regel B**. Lägg märke till hur processen "rätta" tidskonstant (dynamiken som regulatorn ser) förändras (döljs) med de olika värdena på filtrets tidskonstant (t.ex. mätgivarens filter).



Figur 4 Stegsvår självreglerande process med och utan filtrering.

Vid optimering av integrerande processer (t.ex. en nivå som regleras i en tank) erhålls oftast ett högt värde på regulatorförstärkningen (K_c). Därför är det väldigt viktigt att mätsignalen filtreras eftersom den oftast innehåller högfrekventa

störningar. Dessa störningar kommer, om de inte filtreras bort, att multipliceras med regulatorförstärkningen (K_c) och på så sätt påverka regulatorns styrsignal (OUT). Detta kan orsaka onödigt slitage av styrdon och i värsta fall störa omkring liggande processavsnitt.

Valet av filter till en integrerande process är inte så kritiskt p.g.a. att denna processtyp oftast är långsam. Erfarenhetsmässigt så brukar ett filter på 5 sekunder fungera bra. Filtret kan ha en längre tidskonstant om bruset är allt för dominerande i mätsignalen. Filtrets tidskonstant bör då inte vara större än 0,1 gånger Lambda (λ) för den integrerande processen.

LAMBDA METODEN

Lambdametoden härstammar från Model Referens Regulatorn (Detta är ej en PID-regulator). Denna typ av regulator användes för första gången inom processindustrin 1967 av en man vid namn E.B. Dahlin. Regulatorn använder en parameter som heter Lambda (λ). Med Lambda (λ) styrs beräkningen av regulatorparametrarna, regulatorförstärkningen (K_c) och regulatorns integrationstid (T_i), som i sin tur påverkar reglerkretsens snabbhet. Lambda (λ) definieras som den slutna reglerkretsens tidskonstant d.v.s. när reglerkretsen ligger i automatik. Därav namnet Lambdametoden.

1975 kom iden med Lambdametoden för en PID-regulator. Användandet av Lambdametoden (för PID-regulator) började inte i någon större utsträckning inom processindustrin förrän i början av 1980. Sedan dess har Lambdametoden som optimeringsmetod spritt sig allt mer vilket det finns flera anledningarna till:

- Vid en börvärdesändring erhålls ett icke oscillativt svar.
- Metoden är användarvänlig.
- Erbjuder hög flexibilitet.
- Repeterbara resultat.
- Användare får en intuitiv känsla för processers dynamik (möjligheter och begränsningar).
- Användare får en uppfattning om regulatorns samspel med processen.
- Processer med olika processdynamik kan göras lika snabba när de regleras, t.ex. parallella flöden till en nivåreglerad tank.
- Det är lätt att optimera kaskadregleringar.
- Fungerar för både självreglerande och integrerande processer.
- Tiden för att uppnå ett nytt börvärde (SP) kan bestämmas.

STEGSVAR FÖR SJÄLVREGLERANDE PROCESS

Innan stegsvar utförs skall status på mätgivare och styrdon kontrolleras (se avsnitt).

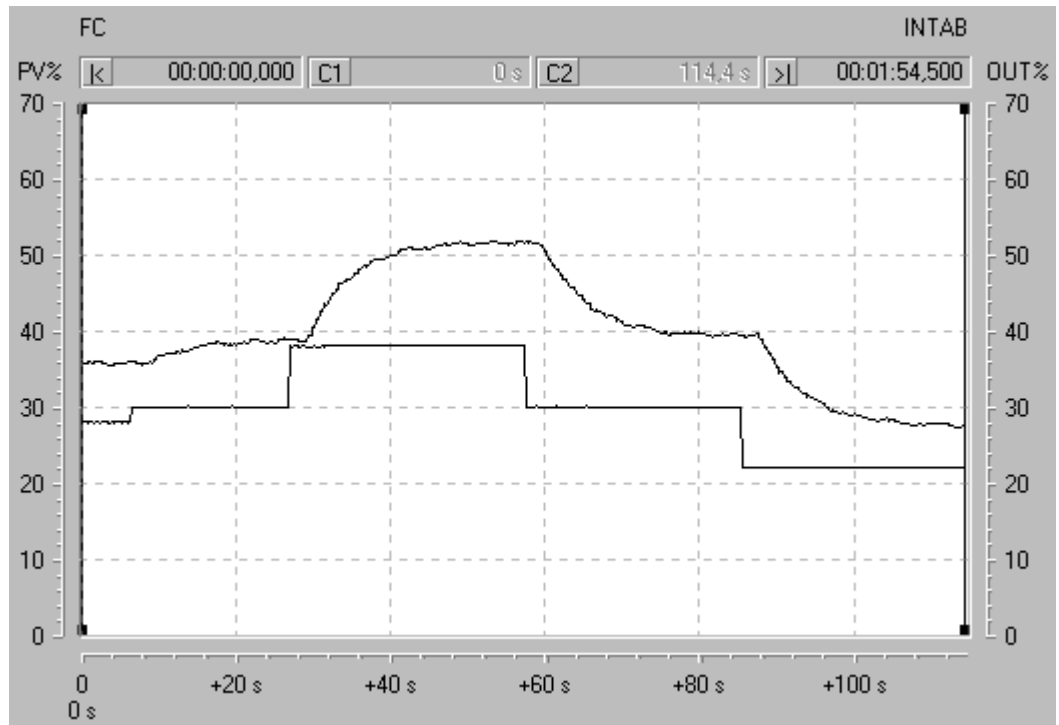
För att få så informationsrikt data som möjligt bör stegsvar utföras på följande sätt.

Börja med att kontrollera filtrets tidskonstant i reglerkretsen. Filtret måste minst vara valt enligt **Regel A** (se avsnitt). Är inte den filtreringen tillräcklig för att dämpa bruset i mätsignalen kan filtertiden i mätgivaren ökas. **Regel B** skall då beaktas (se avsnitt). Om du efter en utförd optimering av en reglerkrets inte skulle vara nöjd med filtreringen och väljer att öka filtertiden måste du tänka på att om tiden ökas, så att den skiljer väsentligt från den tidigare, måste reglerkretsen optimeras på nytt med den nya filtertiden i mätgivaren. Efter kontroll av filtret notera gärna produktionsnivån och stäng av störande reglerkretsar som kan påverka stegsvaren. Sätt därefter regulatorn i manuellt läge och vänta tills det att processen stabiliserat sig. Starta datainsamlingen och när processen har legat stabilt ett tag gör då en liten ändring av styrsignalen (OUT) som skall vara tillräckligt stor för att övervinna eventuellt glapp i styrdonet och så att processens svar blir synbart. Vänta igen tills processen stabiliserat sig. Gör sedan ytterligare ett steg i samma riktning som det första men nu skall steget av styrsignalen vara så stort att processens dynamik syns tydligt (Bra signal/brus förhållande). Vänta än en gång på att processen stabiliserat sig. Gör sedan två lika stora steg men i motsatt riktning. När detta är utfört avslutas datainsamlingen och regulatorn återställs till automatik. Om du gjort stegsvaren enligt beskrivningen bör du ha något som liknar figur 5.

Genom att titta på det insamlade datat bör man kunna avgöra om reglerkretsen har de förutsättningar som krävs för att den skall fungera på ett önskvärt sätt. Finns en eller flera av de nedan listade egenskaperna i betydande grad kommer man med största sannolikhet att få reglerproblem.

- Olinjäritet.
- Hysteres.
- Brus.
- Dödtid.

På vissa regulatorer kan inte momentana steg på styrsignalen utföras på grund av att de har en funktion som rampar styrsignalen (OUT). LambdaTune klarar att identifiera processen från dessa steg. Även börvärdesändringar kan LambdaTune nyttja för att identifiera processen, men man får då en dålig uppfattning om olinjäritet och hysteres.



Figur 5 Visar hur stegsvar för en självreglerande process bör utföras.

Beräkning av regulatorparametrar, enligt Lambdametoden, för självreglerande processer

Vi går här igenom teorin för beräkning av regulatorns parametrar. När du nyttjar LambdaTune utför programmet dessa beräkningarna åt dig.

Efter att stegsvar utförts beräknas processparametrarna, processförstärkning (K_p), processens tidskonstant (T) och dödtid (L) från det loggade datat. Processförstärkning (K_p), processens tidskonstant (T), dödtid (L) och Lambda (λ) behövs för att kunna beräkna regulatorparametrarna, regulatorförstärkningen (K_c) och regulatorns integrationstid (T_i). Regulatorförstärkningen (K_c) och regulatorns integrationstid (T_i) beräknas enligt följande formler:

$$T_i = T$$

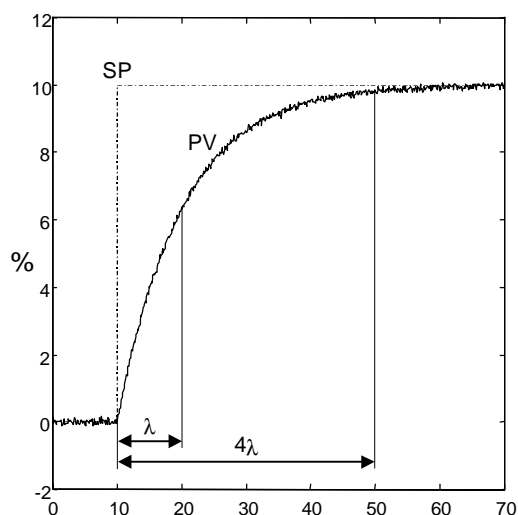
$$K_c = \frac{T_i}{K_p \times (\lambda + L)}$$

Det enda som återstår är att välja en tid på Lambda (λ) eftersom processparametrarna är kända.

Lambda (λ) för en självreglerande process definieras som den slutna processens tidskonstant (regulatorn ligger i automatik). Med det menas att Lambda (λ) är den tid det tar för processens ärvärde (PV) att uppnå 63% av en börvärdesändring. Se figur 6. Vid tiden 4λ har 98% av börvärdesändringen uppnåtts. Se figur 6.

Genom att välja en tid på Lambda (λ) bestäms i praktiken hur snabb reglerkretsen skall vara. Valet av Lambda (λ) påverkar hur hög regulatorförstärkning (K_c) blir vilket i sin tur påverkar reglerkretsens stabilitet. Desto kortare tid som Lambda (λ) väljs till (ger högre regulatorförstärkning (K_c)) ju känsligare blir reglerkretsen mot felskattningar och förändringar av processparametrarna K_p , T och L . Avviker dessa parametrar för mycket från den verkliga processens dynamik kan resultatet bli att man får ett oscillativt insvängningsförlopp. Andra faktorer som påverkar (begränsar) valet av tiden på Lambda (λ):

- Brus i mätsignalen
- Olinjäriteter
- Andel dödtid i processen
- Olika driftsfall



Figur 6 Börvärdesändring självreglerande process, optimerad enligt Lambdametoden.

Värdet på λ påverkas av storleken på processens tidskonstant (T) eller av processens dödtid (L). Den som är längst av processens tidskonstant (T) och processens dödtid (L) skall användas för att beräkna tiden på Lambda (λ). Jämförelsen mellan processens tidskonstant (T) och processens dödtid (L) är till för att fastställa vilken av dem som dominerar processens dynamik. Är dödtiden (L) längre än processens tidskonstant (T) måste man vara mer försiktig vid reglering (lägre regulatorförstärkning (K_c)) än om man har en process där processens tidskonstant (T) är större än dödtiden (L). För att få en bättre förståelse för hur tiden på Lambda (λ) väljs gör vi några olika beräkningsexempel.

Exempel 1

I detta exempel väljs Lambda (λ) till att vara tre gånger processens tidskonstant (T) eller tre gånger processens dödtid (L). Vilken av de två parametrarna (T eller L) som skall användas fås fram genom att jämföra vilken av T och L som är

längst. Om T är längre än eller lika med L väljs Lambda (λ) till $3 \times T$. Om L är längre än T väljs Lambda (λ) till $3 \times L$.

Om $T > L$ väljs $\lambda = 3 \times T$

Om $T < L$ väljs $\lambda = 3 \times L$

Vi utgår från följande process:

Dödtid: $L=0$ sekunder

Tidskonstant: $T=10$ sekunder

Processförstärkning: $K_p=0,8$ gånger

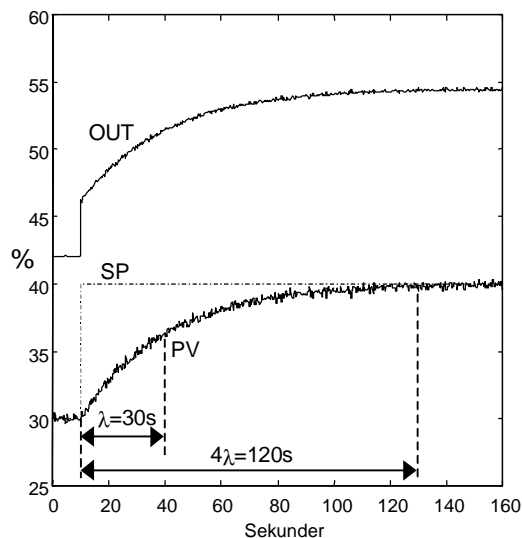
Gör vi en jämförelse mellan T och L ser vi att T är längre än L ($T > L$). Vi använder alltså T för beräkning av Lambda (λ). Lambda (λ) blir då $\lambda = 3 \times T$. Det innebär att λ får följande värde, $\lambda = 3 \times 10 = 30$ sekunder. $\lambda=30$ innebär att med regulatorn i automatik kommer det att ta 30 sekunder att uppnå 63% av en börvärdesändring och för att nå det nya börvärdet (SP) tar det $4\lambda=120$ sekunder.

Vi har valt tiden på Lambda (λ) till 30 sekunder och den använder vi nu för att beräkna regulatorparametrarna, T_i och K_c , enligt formlerna nedan.

$$T_i = T = 10$$

$$K_c = \frac{T_i}{K_p \times (\lambda + L)} = \frac{10}{0,8 \times (30 + 0)} = 0,416$$

Vi har nu beräknat reglerparametrarna (K_c och T_i) utifrån den process som vi antog i början av exemplet. Gör vi en börvärdesändring på denna process och använder de beräknade reglerparametrarna kommer resultatet att bli som i figur 7.



Figur 7 Börvärdesändring självreglerande process. Där Lambda (λ) valts till $\lambda = 3 \times T$.

Vi tar samma process igen men ändrar dödtiden (L) till 15 sekunder. Eftersom L nu är längre än T väljs λ till att vara tre gånger L. Lambda (λ) blir alltså $\lambda = 3 \times L$. Det innebär att λ får följande värde $\lambda = 3 \times 15 = 45$ sekunder. Med regulatorn i automatik kommer det att ta $4\lambda = 180$ sekunder att uppnå nya börvärdet (SP).

Vi har valt tiden på Lambda (λ) till 45 sekunder och den använder vi nu för att beräkna regulatorparametrarna, T_i och K_c , enligt formlerna nedan.

$$T_i = T = 10$$

$$K_c = \frac{T_i}{K_p \times (\lambda + L)} = \frac{10}{0,8 \times (45 + 15)} = 0,208$$

När λ som i detta exempel väljs till att vara $3 \times T$ och $3 \times L$ erhålls en optimering av reglerkretsen med säkert resultat. Även om processens dynamik skulle variera eller om en felskattning gjorts vid identifiering av processparametrarna kommer den att klara att bibehålla en bra reglering utan att bli instabil.

Exempel 2

Nu väljs Lambda (λ) till att vara två gånger processens tidskonstant (T) eller två gånger processens dödtid (L). Precis som i exempel 1 gäller även här att den av de två parametrarna (T eller L) som är störst skall användas.

Om $T > L$ väljs $\lambda = 2 \times T$

Om $T < L$ väljs $\lambda = 2 \times L$

Vi utgår från följande process:

Dödtid: L=0 sekunder

Tidskonstant: T=10 sekunder

Processförstärkning: $K_p=0,8$ gånger

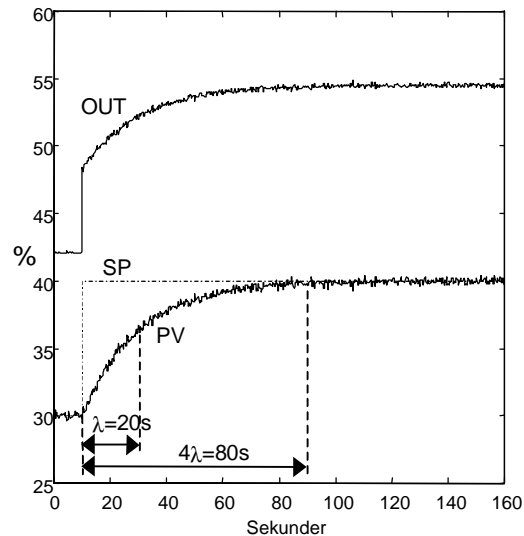
Gör vi en jämförelse mellan T och L ser vi att T är längre än L ($T > L$). Vi använder alltså T. Lambda (λ) blir då $\lambda = 2 \times T$. Det innebär att λ får följande värde, $\lambda = 2 \times 10 = 20$ sekunder. $\lambda=20$ innebär att med regulatorn i automatik kommer det att ta 20 sekunder att uppnå 63% av en börvärdesändring och för att nå det nya börvärdet (SP) tar det $4\lambda=80$ sekunder.

Vi har valt tiden på Lambda (λ) till 20 sekunder och den använder vi nu för att beräkna regulatorparametrarna, T_i och K_c , enligt formlerna nedan.

$$T_i = T = 10$$

$$K_c = \frac{T_i}{K_p \times (\lambda + L)} = \frac{10}{0,8 \times (20 + 0)} = 0,625$$

Vi har nu beräknat reglerparametrarna (K_c och T_i) utifrån den process som vi antog i början av exemplet. Gör vi en börvärdesändring på denna process och använder de beräknade reglerparametrarna kommer resultatet att bli som i figur 8.



Figur 8 Börvärdesändring självreglerande process. Där Lambda (λ) valts till $\lambda = 2 \times T$.

Om dödtiden hade varit längre än T skulle λ ha valts till att vara $2 \times L$ med samma förfarande som i slutet på exempel 1.

När λ som i detta exempel väljs till att vara $2 \times T$ eller $2 \times L$ erhålls en optimering av reglerkretsen med tufft resultat (K_c blir högre än i exempel 1). Den kommer att ge en god reglering om de identifierade processparametrarna inte avviker för mycket från den verkliga processens dynamik.

Exempel 3

I detta exempel väljs Lambda (λ) till att bara vara ett gånger processens tidskonstant (T). I de föregående exemplen gjorde vi en jämförelse mellan T och L för att avgöra vilken vi skulle använda för att beräkna Lambda (λ). Men om L är större än T så bör Lambda (λ) i detta fall inte väljas till $1 \times L$ utan istället väljas till en längre tid.

Om $T > L$ väljs $\lambda = 1 \times T$

Om $T < L$ väljs $\lambda = 1 \times L$, **OBS bör inte användas.**

Vi utgår från följande process:

Dödtid: $L=0$ sekunder

Tidskonstant: $T=10$ sekunder

Processförstärkning: $K_p=0,8$ gånger

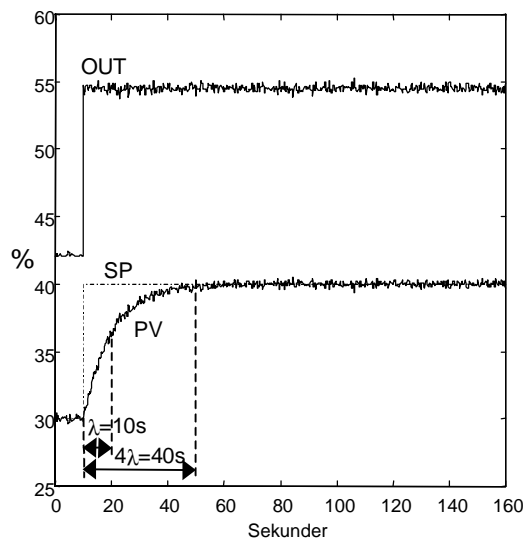
Vi använder alltså T . Lambda (λ) blir då $\lambda = 1 \times T$. Det innebär att λ får följande värde, $\lambda = 1 \times 10 = 10$ sekunder. $\lambda=10$ innebär att med regulatorn i automatik kommer det att ta 10 sekunder att uppnå 63% av en börvärdesändring och för att nå det nya börvärdet (SP) tar det $4\lambda=40$ sekunder.

Vi har valt tiden på Lambda (λ) till 10 sekunder och den använder vi nu för att beräkna regulatorparametrarna, T_i och K_c , enligt formlerna nedan.

$$T_i = T = 10$$

$$K_c = \frac{T_i}{K_p \times (\lambda + L)} = \frac{10}{0,8 \times (10 + 0)} = 1,25$$

Vi har nu beräknat reglerparametrarna (K_c och T_i) utifrån den process som vi antog i början av exemplet. Gör vi en börvärdesändring på denna process och använder de beräknade reglerparametrarna kommer resultatet att bli som i figur 9. Lägga märke till att regulatorns styrsignal vid börvärdesändringen ser likadan ut som om ett stegsvar för denna process skulle utföras. Anledningen till det är att Lambda (λ) valts till samma tid som processens tidskonstant.



Figur 9 Börvärdesändring självreglerande process. Där Lambda (λ) valts till $\lambda = 1 \times T$.

När λ som i detta exempel väljs till att vara $1 \times T$ erhålls en optimering av reglerkretsen med mycket tuffare resultat (jämför med K_c i exempel 1). För att regleringen skall bli bra krävs en hög noggrannhet vid identifieringen av processparametrarna och att processens dynamik inte varierar nämnvärt. För en process där dödtiden (L) är ”mycket mindre” än processens tidskonstant (T) behöver inte valet $\lambda = 1 \times T$ betyda att reglerkretsen optimerats mycket tufft eftersom det är andelen dödtid (L) i processen i förhållande till processens tidskonstant (T) som avgör hur tuff optimeringen blir. Det kan tvärtom ge en

optimering, av reglerkretsen, med mycket säkert resultat. Det här beskrivs mer ingående i avsnittet ”Dödtisanpassat val av Lambda (λ)”.

Görs en jämförelse av exemplen ett, två och tre kommer man fram till att T eller L normalt multipliceras med ett tal som ligger mellan 1 och 3. Det är detta som styr snabbheten på reglerkretsen (värdet på Lambda (λ)). Det finns egentligen ingen gräns för hur långsam en reglerkrets kan vara, vilket innebär att det går att multiplicera L eller T med ett tal större än 3. Det utnyttjas om t.ex. två reglerkretsar skall anpassas dynamiskt i förhållande till varandra (kaskadreglering).

Efter en optimering bör en uppföljning av regleringen utföras för att se att den fungerar enligt uppsatta mål. Det kan enkelt utföras genom att ändra börvärdet (SP) till reglerkretsen och se att tiden för Lambda (λ) stämmer. Det är då lämpligt att använda en logger eller befintliga trender i styrsystemet (om dessa har bra upplösning).

Dödtidsanpassat val av Lambda (λ) för självreglerande process

I avsnittet ”Beräkning av regulatorparametrar, enligt Lambdametoden, för självreglerande processer” visades tre exempel på hur Lambda (λ) kunde väljas för att få önskad snabbhet på reglerkrets. Ibland är det inte så lätt att välja tiden på Lambda (λ) även om man har erfarenhet av att optimera. Det finns hjälp, med att välja tiden på Lambda (λ), i form av något som kallas dödtidsanpassat val av Lambda (λ) för självreglerande process. Denna formel har framtagits genom att titta på förhållandet mellan processens tidskonstant (T) och dödtid (L). Liten andel dödtid (L) i förhållande till processens tidskonstant (T) motiverar en tuffare optimering av reglerkretsen vilket innebär en kortare tid på Lambda (λ) som i sin tur ger högre regulatorförstärkning (K_c). En process med större andel dödtid (L) i förhållande till dess tidskonstant (T) kräver att regulatorförstärkningen (K_c) i regulatorn minskas för att få en god reglering vilket innebär att en längre tid på Lambda (λ) måste väljas. Finns inget direkt önskemål på hur snabb en reglerkrets skall vara, en bestämd tid på Lambda (λ), är detta sättet att välja Lambda (λ) mycket snabbt, enkelt och ger dessutom ett bra val av tiden på Lambda (λ). Dödtidsanpassat val av Lambda (λ) beräknas enligt formeln:

$$\lambda = \max(L \times 3, T)$$

I formeln ovan väljs tiden på Lambda (λ) till att vara den av de två uttrycken inom parenteserna, $L \times 3$ eller T, som ger det högsta värdet.

Vi tar ett exempel på hur Lambda (λ) beräknas enligt formeln ovan.

Exempel

Vi tar en process med följande värden på processparametrarna:

Dödtid: $L=2$ sekunder

Tidskonstant: $T=10$ sekunder

Processförstärkning: $K_p=0,8$ gånger

Vi börjar med att först ta $3 \times L$ vilket i detta fall blir $3 \times 2 = 6$ sekunder. Jämför vi detta med T som är 10 sekunder kommer vi fram till att λ skall väljas till 10 sekunder (eftersom T är det större värdet). λ används sedan för att beräkna regulatorparametrarna.

Dämpning av störningar (gränsperiodtiden)

För den **självreglerande process** har λ ytterligare en betydelse. Den säger vilka störningar som reglerkretsen klarar av att dämpa. Genom att använda formeln nedan kan man beräkna reglerkretsens gränsperiodtid (T_g), dvs den periodtid där 30% av störningen dämpas.

$$T_g = 2 \times \pi \times (\lambda + L)$$

OBSERVERA att om det förekommer en samplingstid (T_s), vilket innebär att regulatören är digital, adderas den till dödtiden (L).

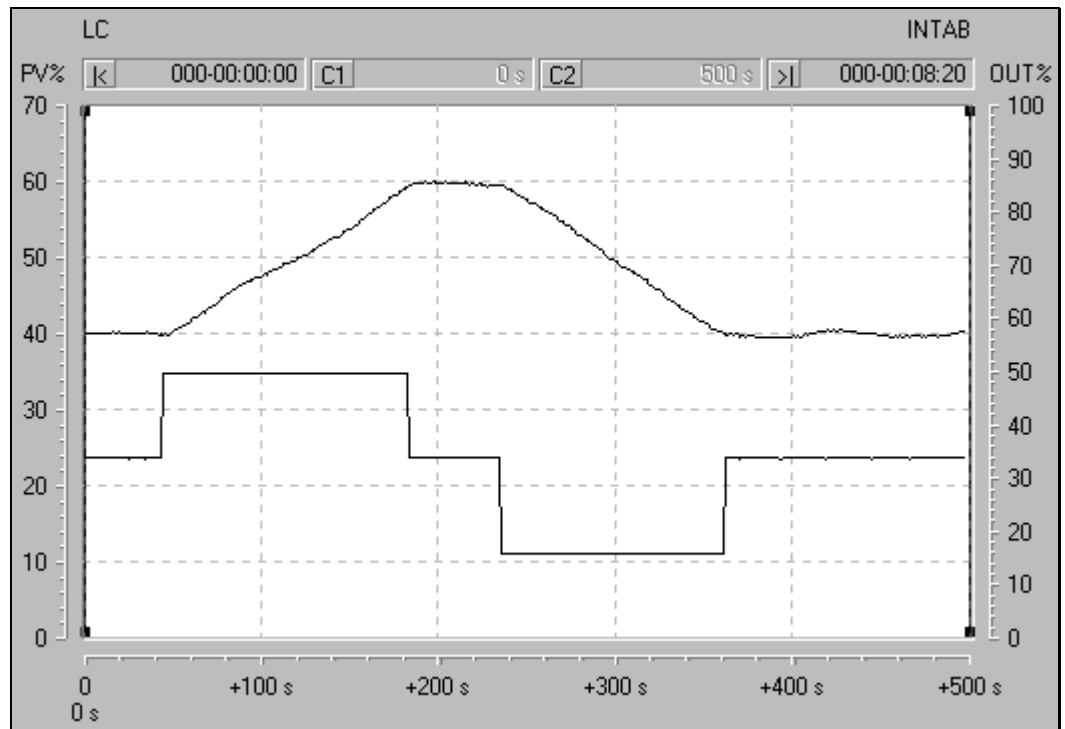
Störningar som är snabbare än gränsperiodtid (T_g) kommer reglerkretsen att få allt svårare att dämpa.

STEGSVAR FÖR INTEGRERANDE PROCESS

Innan stegsvar utförs skall status på mätgivare och styrdon kontrolleras (se avsnitt).

För att få så informationsrikt data som möjligt bör stegsvar utföras på följande sätt.

Börja med att kontrollera filtrets tidskonstant i reglerkretsen. Filtret måste minst vara valt enligt **Regel A** men som tidigare nämnts kan ett filter på 5 sekunder normalt sättas in i mätgivaren. Skulle inte det räcka, för att dämpa bruset i mätsignalen, kan filtertiden i mätgivaren justeras i efterhand men får då inte vara större än 0,1 gånger λ (se avsnitt). Stäng av störande reglerkretsar som kan påverka stegsvaren. Sätt därefter regulatören i manuellt och starta datainsamlingen. Vänta tills processens trend kan urskiljas genom att se om den stiger, sjunker eller ligger konstant. När processens trend syns tydligt görs en tillräckligt stor ändring av styrsignalen (OUT) så att processens ärvärde (PV) ändra riktning (även tillräckligt stor för att få ett bra signal/brus förhållande). Vänta en tid tills det att den nya trenden med lätthet kan ses. Ändra därefter styrsignalen (OUT) tillbaka till startnivån. Invänta den nya trenden och utför sedan ytterligare ett steg, med samma förfarande som det första, men i motsatt riktning. Avsluta datainsamlingen då det sista stegets trend kan urskiljas. Återställ sedan regulatören i automatik. Om du gjort stegsvaren enligt beskrivningen bör du ha något som liknar figur 10.



Figur 10 Visar hur stegsvar för en integrerande process bör utföras.

Genom att titta på det insamlade datat bör man kunna avgöra om reglerkretsen har de förutsättningar som krävs för att den skall fungera på ett önskvärt sätt. Finns en eller flera av de nedan listade egenskaperna i betydande grad kommer man med största sannolikhet att få reglerproblem.

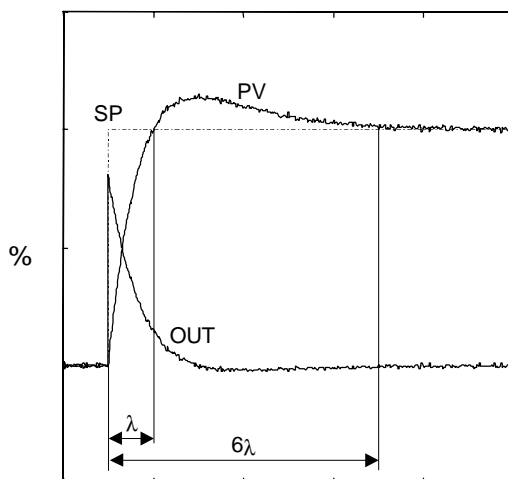
- Olinjäritet.
- Hysteres.
- Brus.
- Dödtid.

Beräkning av regulatorparametrar, enligt Lambdametoden, för integrerande processer

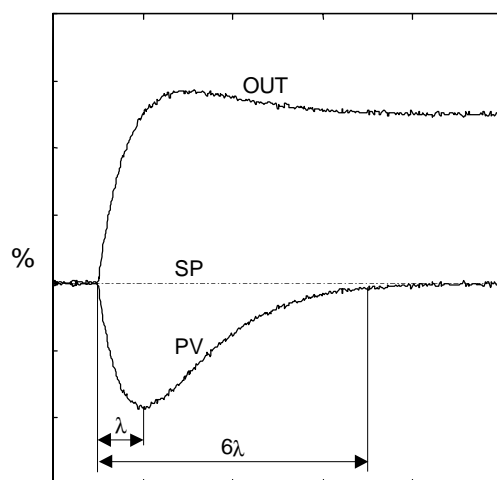
Vi går här igenom teorin för beräkning av regulatorns parametrar. När du nyttjar LambdaTune utför programmet dessa beräkningarna åt dig.

Efter att stegsvar utförts beräknas processparametrarna, hastighetsförstärkningen (K_v) och dödtiden (L), från det insamlade datat. Hastighetsförstärkning (K_v), dödtid (L) och Lambda (λ) behövs för att kunna beräkna regulatorparametrarna, regulatorförstärkningen (K_c) och regulatorns integrationstid (T_i). Det enda som återstår är att välja en tid på Lambda (λ) eftersom processparametrarna är kända. Definitionen på Lambda (λ) för en integrerande process skiljer sig från den självreglerande processen. Lambda (λ) för en integrerande process definieras på följande två sätt:

1. Lambda (λ) är den tid det tar för ärvärdet (PV) att uppnå det nya börvärdet (SP) vid en börvärdesändring. Se figur 11.
2. Lambda (λ) är den tid det tar för regulatorn att bromsa upp en ärvärdesändring orsakad av en laststörning. Se figur 12.



Figur 11 Börvärdesändring integrerande process.



Figur 12 Ärvärdesändring orsakad av en laststörning, integrerande process.

För definition 1 gäller även att efter ärvärdet (PV) uppnått det nya börvärdet (SP) vid en börvärdesändring kommer det att bli en översläng (oundviklig för integrerande processer) på ca 13% av den totala börvärdesändringen. Det sker vid tiden 2 Lambda (λ) och efter tiden 6 Lambda (λ) är ärvärdet (PV) och börvärdet (SP) lika (inget reglerfel).

Valet av Lambda (λ) anpassas efter det reglerkrav som ställs på processen. T.ex. om det är en nivåreglering i en buffert tank är det inte så viktigt att hålla en

konstant nivå vilket gör att man kan välja en längre tid på Lambda (λ). Val av alltför kort tid på Lambda (λ) medför att K_c , i beräkningen för reglerparametrarna, blir hög. Det kan leda till onödigt slitage av styrdonet om det finns betydande brus i mätsignalen. Dessutom kan närliggande processavsnitt störas.

Val av Lambda (λ) kan ske efter den tid det tar för att nå min-nivå (tom tank) eller max-nivå (full tank) vid extrema situationer som t.ex. vid start eller stopp av en pump. Detta beräknas med följande formel:

$$\lambda = \frac{e_{\max}}{K_v \times 100}$$

e_{\max} definieras som den maximalt tillåtna regleravvikelsen (e_{\max}). Vid reglering av en tank vill man t.ex. inte att den skall rinna över eller rinna tom.

Är börvärdet (SP) i en tank 70% så är den maximalt tillåtna regleravvikelsen (e_{\max}) 30% eftersom nivån max kan förändras, ökas med 30% innan tanken rinner över. Nivån kan däremot sjunka 70% innan tanken är tom. Med andra ord så bestäms e_{\max} från vilket ändläge på tanken som är närmast att nå från det givna börvärdet (SP). Genom att multiplicera hastighetsförstärkningen (K_v) med laststörningen (i formeln 100%) erhålls hur mycket som den integrerande processen (nivån) i det mest extrema fallet kan förändras per sekund. En laststörning på 100% kan ses som om reglerventilen in till en tank är fullt öppen samtidigt som ärvärdet (PV) och börvärdet (SP) är mitt för varandra ($e=0$) och i detta läge upphör uttaget ur tanken tvärt. Regleringen ska då hinna med att med marginal stänga påfyllningen till tanken utan att den rinner över. Detta val av Lambda (λ) ger väldigt god marginal vid extrema driftsfall och därför kan 100 i de flesta fall ersättas med 50 i formeln ovan. Den tid som erhålls ur denna formel väljs som Lambda (λ) men med en reservation att inte börvärdet (SP) (arbetspunkten för nivån) avviker för mycket från det som användes i beräkningarna. Om börvärdet (SP) ändras för mycket riskeras att tanken rinner över eller rinner tom. Därför bör nya beräkningar utföras med hänsyn till det nya börvärdet (SP) (arbetspunkten för nivån).

När Lambda (λ) är vald beräknas regulatorparametrarna, regulatorförstärkningen (K_c) och regulatorns integrationstid (T_i), enligt följande formler:

$$T_i = 2 \times \lambda + L$$

$$K_c = \frac{T_i}{K_v \times (\lambda + L)^2}$$

Efter en optimering bör en uppföljning av regleringen utföras för att se att den fungerar enligt uppsatta mål. Detta kan enkelt utföras genom att ändra börvärdet (SP) till reglerkretsen och se att tiden för Lambda (λ) stämmer. Det är då lämpligt att använda en logger eller befintliga trender i styrsystemet (om dessa har bra upplösning).

ANSLUTNING AV LOGGER

För att inte störa reglerkretsen och få en bra mätsignal är det viktigt att loggern ansluts på rätt sätt. **Studera noga manualen ATT ANVÄNDA AAC-2f HÅRDVARA.**

Vi ger även här några tips på vad man bör tänka på vid anslutning av loggern.

Om en PC med jordad nätkabel nyttjas är nätjorden troligen förbunden med loggers GND (referensjord) via kommunikationskabeln. Är så fallet blir minus på de kanaler som byglats till GND sammanbundna med nätjord. Att ansluta nätjord till mätpunkten kan många gånger vara olämpligt och medföra störningar. Samma sak inträffar om loggers GND-plint ansluts mot t.ex. minus på ett styrsystem.

Prova i detta läge att sätta alla ingångar till DIFF innan du ansluter dig. Loggers common mode-område på +/-10V är oftast tillräcklig för att få en fungerande mätning.

Kommunikation mellan logger och PC kan även utföras med optokabel vilket garanterar galvanisk åtskillnad.

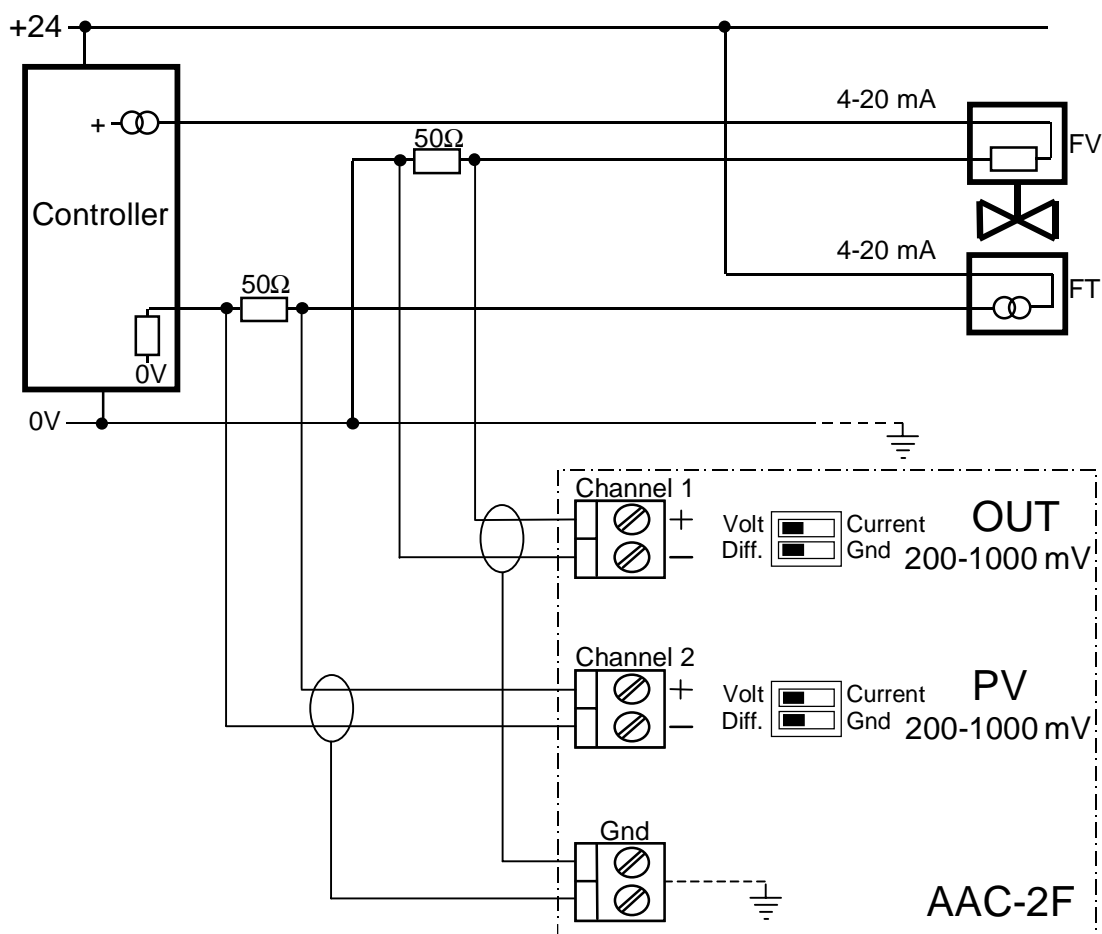
Finns tillgång till galvaniska skiljeförstärkare kan även sådana nyttjas mellan loggern och anslutningspunkterna mot processen för att eliminera eventuella störningar.

Nyttjas en PC som ej är nätjordad finns andra möjligheter att ansluta loggern. Har systemet eller regulatorn en mätjord kan loggers GND-plint då anslutas till denna och DIP-switcharna för alla kanaler sätts på DIFF. En annan möjlighet är att sätta en av kanalerna till GND och de övriga på DIFF. Loggers GND-plint behöver då ej nyttjas, utan minus på kanalen byglad till GND genom DIP-switchen får bli referensnivå.

Det är viktigt att mätanslutningarna i alla lägen sker elektriskt så nära systemets/regulatorns signaljord som möjligt.

I annat fall kan gränsen för den så kallade common mode-nivån överskridas. D.v.s. det får inte vara allt för stor spänningsskillnad mellan minus på en kanal och minus i loggers elektronik. Lämplig inkoppling se figur 13.

Kanal 1 nyttjas för inspelning av styrsignalen (OUT) och kanal 2 för ärvärdet (PV).



Figur 13 Kopplingschema över loggern ansluten till en flödesreglering. Loggern mäter spänningssvaret över två st. inkopplade $50\ \Omega$ shuntmotstånd varför ingångarna är inställda för spänningsmätning. Skärmade mätkablar minskar risken för störningar. Att använda shuntmotstånd kan vara att föredra jämfört med att gå med 4-20 mA-slingorna in på loggern. Du slipper då riskera att snubbla över mätsladdarna med uppbruten strömslinga som följd. I detta fall tänker vi oss att vi nyttjar en PC med jordad nätanslutning. Loggern jordas då via dess kommunikationskabel och får därmed samma potential som regulatorns 0V-sida då den också är jordade. Loggerns ingångar ställs i detta läge in på Diff. Om PC:n inte varit jordad skulle enda skillnaden bli att den ena kanalens DIP-switchar hade ställts på GND för att på så sätt ge loggern rätt referens.

Spänning eller strömområdet på nyttjade kanaler bör anpassas så bra som möjligt mot de mätområden som loggern hårdvarumässigt är inställd på för att få bästa möjliga bitupplösning av mätvärdena.

DATAINSAMLING

Bekanta dig först med funktionerna i EasyView.

I menyn under **Inställningar** och **"Tilläggsfunktioner"** markeras **LambdaTune** som Pluginfunktion för att få det aktivt. Bocka även för **Formeleditor** och **Anteckningar**, de behövs.

Enklaste sättet att komma igång med en inspelning för regloptimering är att nyttja en "Dokumentmall" Det mesta är då redan rätt inställt, som kanaler, områden, enheter, formel, anteckningar m.m.

- Dokumenten FC: 4-20mA och PC: 200-1000mV är lämpliga för snabbare processer.
- Dokumenten LC: 4-20mA och LC: 200-1000mV är lämpliga för långsammare processer.

Du kan själv enkelt skapa dig egna "mallar" allt efter behov. Om ärvärdet (PV) behöver linjäriseras, p.g.a. en kvadratisk mätsignal från t.ex. en flödesmätning med strypfläns, måste en formel som drar roten ur ärvärdet användas. Nyttjas en "originalfil" är denna formel klar och du byter till att visa SQRT_PV-kurvan i stället för PV-kurvan.

När önskad malldokument är öppet och inspelningen startas markeras rutan "Aktuell mätning" som önskad mätmall. Den ny inspelningen får då mallens utseende.

Enheten för styrsignalen (OUT) väljs lämpligen till OUT%, och enheten för ärvärdet (PV) följaktligen till PV%.

Inspelning bör ske med ett datainsamlingsintervall som för den självreglerande processen är ca. 10 gånger snabbare än dess tidskonstanten (T). Det innebär att 200ms kan vara lämpligt för flöden, tryck och andra snabba processer, medan temperaturer och andra långsamma kan spelas in med cirka 1 sekunds intervall. För de flesta integrerande processer som t.ex. nivåer är 1 sekund ett lämpligt intervall. Är mätsignalen rejält brusig bör ett snabbare intervall väljas för att undvika risk för vinkningsdistortion av den loggade signalen. Ett lämpligt hårdvarufilter före loggern kan också nyttjas för detta ändamål. Det bör då ha en tidskonstant på 1,3 gånger datainsamlingsintervallet (se avsnitt "SAMPLINGSTID (Ts), TIDEN MELLAN TVÅ EXEKVERINGAR"). När inspelningen är igång utförs stegsvar enligt avsnitt "STEGSVAR FÖR SJÄLVREGLERANDE PROCESS" eller "STEGSVAR FÖR EN INTEGRERANDE PROCESS" beroende på aktuell processtyp.

Är processvaren långsamma kan **LambdaTunes** processmodell tas fram och justeras under inspelningens gång. Välj under diagrammets egenskaper att visa aktuell processmodellen. För anpassning av modellen se senare avsnitt. Modellen uppdateras varje gång en inmatning görs. Klicka med musen i ett av modellens inmatningsfält. Varje gång därefter som tangenten **Enter** trycks på uppdateras modellen.

Efter inspelning av stegsvar med användbart data sparas filen i lämplig bibliotek.

Blev resultatet dåligt får du reda ut problemet och försöka igen.

Under fliken **Anteckningar** bör noteringar om t.ex. produktionsnivå, tidigare reglerparametrar, filter, vilken regulator den ligger i kaskad med, mål med optimeringen, m.m. göras. Det kan vara en bra information vid ett senare skede. Om en utskrift av stegsvar och parametrar önskas kan det ställas in under **Arkiv**, **Förhandsgranska** och **Alternativ**.

För den som vill öva inspelning och modellanpassning kan en enkel processmodell sättas ihop med ett par motstånd och en kondensator samt en mA-källa. Koppla ihop det hela enligt Figur 14. Starta inspelning från mallen FC: 4-20mA. Kanal 1 ställs in på 20mA och kanal 2 på 1000mV.

Gör den linjära transformationen så att 4mA motsvarar 0% och 20mA 100%

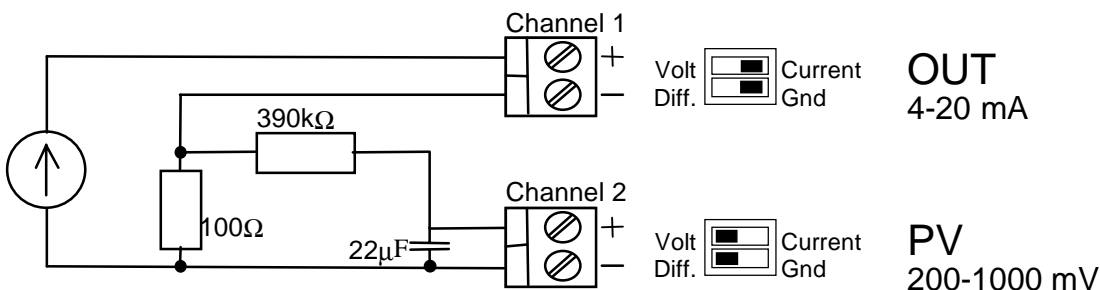
Likası skall 200mV motsvara 0% och 1000mV 100%.

Kom ihåg att enheten för PV ska vara PV%. Gör sedan ”stegsvar” med mA-källan. Du har fått en idealisk process att testa och identifiera (utan protester från någon operatör).

Exempel datainsamling

Du ska nu utföra en loggning av ett flöde. Kretsen jobbar med 4-20mA och du sätter in två shuntmotstånd på 50Ω (ett för styrsignalen (OUT) och ett för processvärdet (PV)) vilket ger ett spänningsfall på 200-1000mV.

- Koppla in AAC-2F loggern och anslut styrsignalen (OUT) till kanal 1 och processvärdet (PV) till kanal 2. Anslut potentialmässigt nära systemets eller regulatorns signaljord.
- Starta EasyView och öppna mallen FC: 200-1000mV
- Klicka på den gula loggersymbolen för att starta en ny loggning.
- Markera ”Aktuell mätning” som önskad mätmall och välj OK.
- Skriv in titel och klicka på knappen **Acceptera** då du i detta fall är nöjd med övriga inställningar (samplingsintervall 200ms, område 1000mV, m.m.).
- Vid ”trafikljuset” väljer du sedan ”slutför” och datainsamlingen startar.
- Utför stegsvaren och klicka därefter på den gula loggersymbolen när du vill avsluta datainsamlingen.
- Spara inspelningen i lämpligt bibliotek.



Figur 14 Kopplingsschema för en första ordningens processmodell.

HANDHAVANDE AV LambdaTune

Processens parametrar identifieras av **LambdaTune** med hjälp av en justerbar modell som "tittar" på styrsignalen (OUT). Modellkurvan simulerar en idealisk process vilken på bästa sätt anpassas över den inspelade ärvärdeskurvan. Då modellens processparametrar är kända blir indirekt den inspelade processen avslöjad.

I **LambdaTune** är det du själv som på bästa sätt anpassar modellen mot processens ärvärdeskurva. Modellen kan på så sätt anpassas mot en eller flera steg allt efter behov.

Stegsvar som identifieras är normalt ifrån en inspelning gjord med AAC-2F-loggern men kan även vara filer i ASCII-format som spelats in på något annat sätt och sedan importerats till EasyView. **OBS!** Kom ihåg att sätta rätt enheter på styrsignalen (OUT) och ärvärdet (PV) så att de överensstämmer med enheterna i formeln (som står i formeleditorn).

För att modellkurvan ska vara synlig krävs att en formel är inlagd i formeleditorn. I formeln är det viktigt att modellen ges samma enhet (PV%) som ärvärdet (PV), och att (ID1) som står för kanal ett stämmer med anslutningen mot styrsignalen. Har inspelningen inte startats med en mätmall måste formel skrivas eller kopieras in efter inspelningen.

Formel för den självreglerande processen är:

FML "Självreglerande"(PV%) = LTUNES(ID1)

För den integrerande processen är formeln:

FML "Integrerande"(PV%) = LTUNEI(ID1).

Formlerna för både självreglerande och integrerande process kan vara med i formeleditorn. Välj sedan under grafens egenskaper att visa den du för tillfället behöver.

När stegsvar analyseras bör endast ett fönster vara öppet. I menyn under **Fönster** längst ner visas hur många som är öppna. Stäng de fönster som för stunden ej nyttjas.

På **LambdaTune**-fliken väljs aktuell processtyp genom att klicka på knappen **Självreglerande** eller **Integrerande**. Om motsvarande modellkurva ej redan är framme görs det under diagrammets egenskaper.

Funktionen med inmatningsfält och potentiometer är lika för båda modellernas processparametrar.

Modellens parametrar justeras genom att:

- Mata in värden i inmatningsfält.
- Dra i sliden på potentiometern och släppa den vid önskat värde på inmatningsfältet.
- Klicka med musen på någon sida av potentiometerns slid varvid värdet i inmatningsfältet stegar ett steg.

- Hålla musen nedtryckt på någon sida av sliden varvid värdet i inmatningsfältet ”rampas” till önskat värde.

Matas ett värde in i inmatningsfältet för t.ex. offset förflyttar sig modellen i Y-led. Offseten kan även justeras med hjälp av potentiometern. Dra då i sliden och se hur offseten i inmatningsfältet ändras. När sliden släpps utförs en ny modellberäkning med det nya offsetvärdet. Modellkurvan förflyttar sig och sliden hoppar tillbaks till mittenläget. Önskas justering med bättre upplösning matas offseten in med en decimal i inmatningsfältet. När potentiometern nu flyttas påverkas offseten på decimalnivå. Desto fler decimaler i inmatningsfältet desto bättre blir upplösningen på potentiometern.

Av modellen sparas endast processparametrarna och ej varje datapunkt. När ett diagram öppnas kan därför modellen ha en felaktig form från senaste beräkning och en ny inmatning behövs i **LambdaTune**-fliken för att formen ska bli riktig. Klicka med musen i något av inmatningsfälten och tryck på **Enter** för att uppdatera modellen.

IDENTIFIERING OCH PARAMETERBERÄKNING FÖR SJÄLVREGLERANDE PROCESS

Välj självreglerande modell på **LambdaTune**-fliken. Se till att aktuell modellkurva visas. Detta kan kontrolleras genom att klicka med höger musknapp på diagrammet och sedan välja ”egenskaper” och ”grafer” eller genom att dubbelklicka i diagrammet (**Om ärvärdet är kvadratisk kom då ihåg att ersätta PV-kurvan med en roturdragen PV-kurva**).

Zooma in intressant dataområde av de styrsignalssteg som utförts. Se till att värdena på dödtiden (L) och processens tidskonstant (T) är låga.

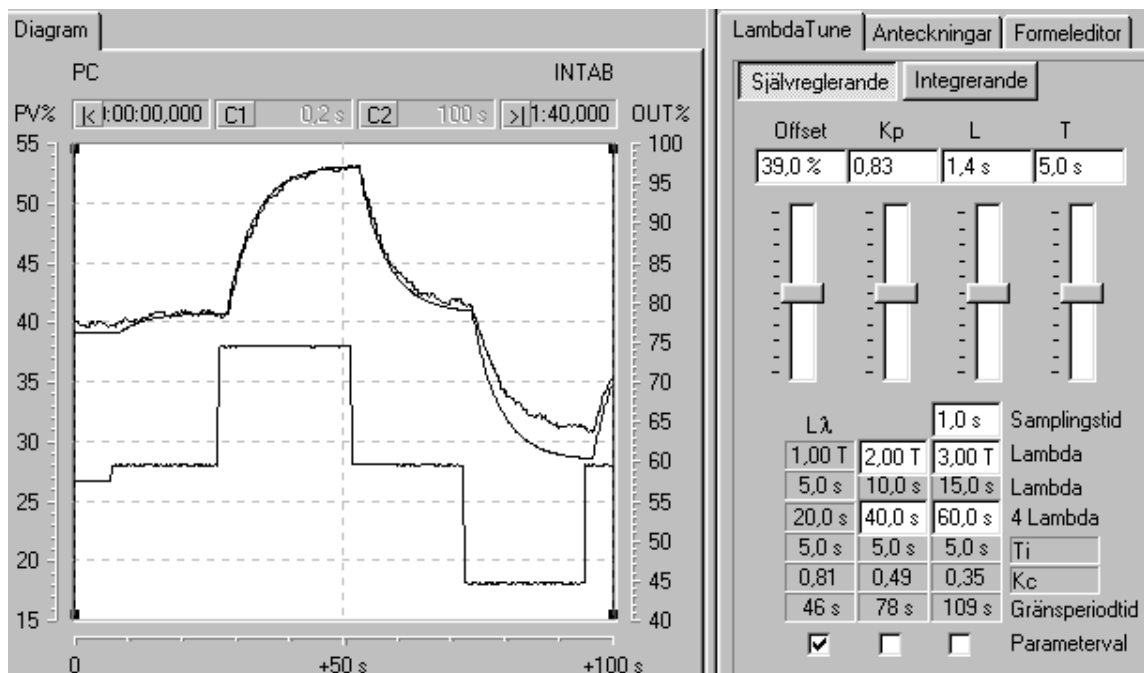
- Börja att justera offseten för modellen så att den hamnar på ärvärdet (PV) före det första ”lilla” steget.
- När du justerat offseten till önskad nivå, justerar du processförstärkningen (K_p) så att amplituden på modellen stämmer med processen. Ändring av processförstärkningen (K_p) kan påverka offseten, varför även den kan behöva justeras.
- Därefter justerar du dödtiden (L). Försök få modellen att svara vid samma tidpunkt som processen.
- Justera till sist processens tidskonstanten (T) så att även den stämmer så bra som möjligt.

Efter några justeringar har du förhoppningsvis fått en modell som i stora drag stämmer med processen. Se figur 15. En serie stegsvar kommer aldrig att stämma exakt med modellen. Ju större problem det är att få modellen att passa, desto svårare har reglerkretsen att klara av sin uppgift.

Konditionen och beteendet hos reglerkretsens avslöjas av den idealiska modellen. Det ska gå att urskilja om det finns betydande hysteresproblem,

varierande processförstärkning (K_p) eller något annat problem med reglerkretsen. Finns betydande felaktigheter måste dessa brister åtgärdas och därefter utförs nya stegsvar innan regulatorparametrarna kan beräknas.

Ser stegsvaren bra ut anpassas modellen över det steg som svarat med störst amplitud. Grundas beräkningarna efter ett stegsvar som av någon anledning gett för lågt värde på processförstärkning (K_p) kommer beräkningen av regulatorförstärkningen (K_c) att bli för hög.



Figur 15 Stegsvår självreglerande process. Figuren visar steg på styrsignal (OUT) och processvärdets svar. Ovanpå processvärdets svar har en modellkurva justerats in med identifieringsverktyget. Till höger visas LambdaTune fliken med tillhörande processparametrar och beräknade regulatorparametrar m.m..

Nu har du kommit så långt att du kan börja tänka på lämpliga regulatorparametrar.

Nyttjas en digital regulator matas samplings tiden för denna in i aktuellt fält, då den ska adderas till dödtiden (L) vid beräkning av regulatorns förstärkning (K_c). Samplings tiden (T_s) avrundas vid behov uppåt till närmaste tiondels sekund. Är regulatorn analog ska samplings tiden sättas till 0.

Parameterberäkning görs i tre kolumner med möjlighet till tre olika Lambda (λ). Varje kolumn anger tiden för Lambda (λ), tiden för "4 Lambda", beräknat värde för regulatorförstärkningen (K_c), regulatorns integreringstid (T_i) samt gränsperiodtiden (T_g).

I den första kolumnen beräknas regulatorförstärkningen (K_c) automatiskt efter det dödtidsanpassade Lambdavalet ($L\lambda$). Se avsnitt "DÖDTIDANPASSAT VAL AV LAMBDA (λ) FÖR SJÄLVREGLERANDE PROCESS".

I andra och tredje kolumnernas översta fält matas önskat värde på Lambda (λ) in. För val av Lambda (λ) se avsnitt "Beräkning av regulatorparametrar, enligt Lambdametoden, för självreglerande processer".

I inmatningsfältet för "4 Lambda" kan önskad tid matas in. Beräkning sker då även av Lambda (λ). Funktionen är mycket användbar om två eller flera reglerkretsar med olika dynamik ska ha liknande snabbhet t.ex. vid dosering av parallella flöden.

När du bestämt dig för vilken kolumns förslag som passar bäst för den aktuella processen gör du en bock i rutan inunder. Denna bock följer med på utskriften som markering för valda reglerparametrar.

Gör om möjligt nya stegsvar på ny styrsignalsnivå för att ytterligare utröna eventuell olinjäritet.

Exempel

- Öppna din loggade datafil eller om du inte har någon och vill öva kan du öppna ett malldokument t.ex. FC: 200-1000mV.
- Klicka på knappen "Autoskala tidsaxeln" för att autoskala tidsaxeln. Detta för att visa hela det inspelade datasetet.
- Dubbelklicka i diagrammet och klicka därefter på raden för självreglerande modell i "dölj" fönstret så att den hoppar upp i det övre "visa" fönstret. Klicka sedan på OK. Modellen ska nu synas i diagrammet.
- Se till att knappen **Självreglerande** är nedtryckt på **LambdaTune-fliken**.
- Justera offseten på **LambdaTune-fliken** så att modellkurvan hamnar över processvärdeskurvan i början av de inspelade värdena (vänstra kanten på diagrammet). Kontrollera vilket värde den inspelade processvärdeskurvan har på den vänstra Y-axeln för processvärdet (PV). Mata in det värdet i inmatningsfältet för **Offset**. Efterjustera offseten med hjälp av potentiometern. Önskas offseten justeras i finare steg så matas den in med en eller flera decimaler i inmatningsfältet.
- Justera processförstärkningen (K_p) med hjälp av inmatningsfält och/eller potentiometer så att amplituden på modellen stämmer någorlunda med processen.
- Justera på samma sätt dödtiden (L) så att modellen svarar vid samma tidpunkt som processen.
- Justera därefter processens tidskonstant (T) så att även den stämmer så bra som möjligt mot det inspelade processvärdet.
- Finjustera in modellen över stegsvaret som svarat med störst amplitud. Zooma vid behov in lämpligt dataområde. Ändring av processförstärkningen (K_p) kan påverka offseten, varför även den kan behöva justeras.
- När modellpassningen är klar matas samplingstiden för regulatorn in.
- Välj lämpligt Lambda (λ) och se vilka förslag du får på regulatorförstärkningen (K_c) och regulatorns integrationstid (T_i). Gör en markering under den kolumn som du väljer.
- Kommentarer skriver du in under fliken "Anteckningar".
- Mata in de nya regulatorparametrarna i regulatorn och följ sedan upp hur reglerkretsen fungerar.

IDENTIFIERING OCH PARAMETERBERÄKNING FÖR INTEGRERANDE PROCESS

Välj integrerande modell på **LambdaTune**-fliken. Se till att aktuell modellkurva visas. Genom att klicka med höger musknapp eller dubbelklicka på diagrammet och sedan välja ”egenskaper” och ”grafer” kan detta kontrolleras.

- Justera offseten så att modellkurvan hamnar på ärvärdeskurvan i början av stegsvaret.
- Justera, om så är nödvändigt, modellkurvans trend så att den får samma trendlutning som den inspelade ärvärdeskurvan fram till första stegändringen.
- Justera därefter hastighetsförstärkningen (K_v) så att modellen viker av med samma vinkel som ärvärdeskurvan efter första stegändringen.
- Justera till sist dödtiden (L).

Efter några justeringar av de olika parametrarna bör modellen passa relativt väl med processen. Se figur 16.

Passar inte modellen måste som tidigare nämnts en översyn utföras av utrustningen för att utreda var problemet ligger.

Är du nöjd med modellanpassningen kan du gå över till att titta på de fyra beräkningskolumnerna för reglerparametrarna.

Mata först in normalt börvärde (SP) för reglerkretsen. Beräkningarna i alla fyra kolumnerna påverkas av detta värde (se formeln ”emax” för Lambda (λ) i avsnitt ”Beräkning av regulatorparametrar, enligt Lambdametoden, för integrerande processer”).

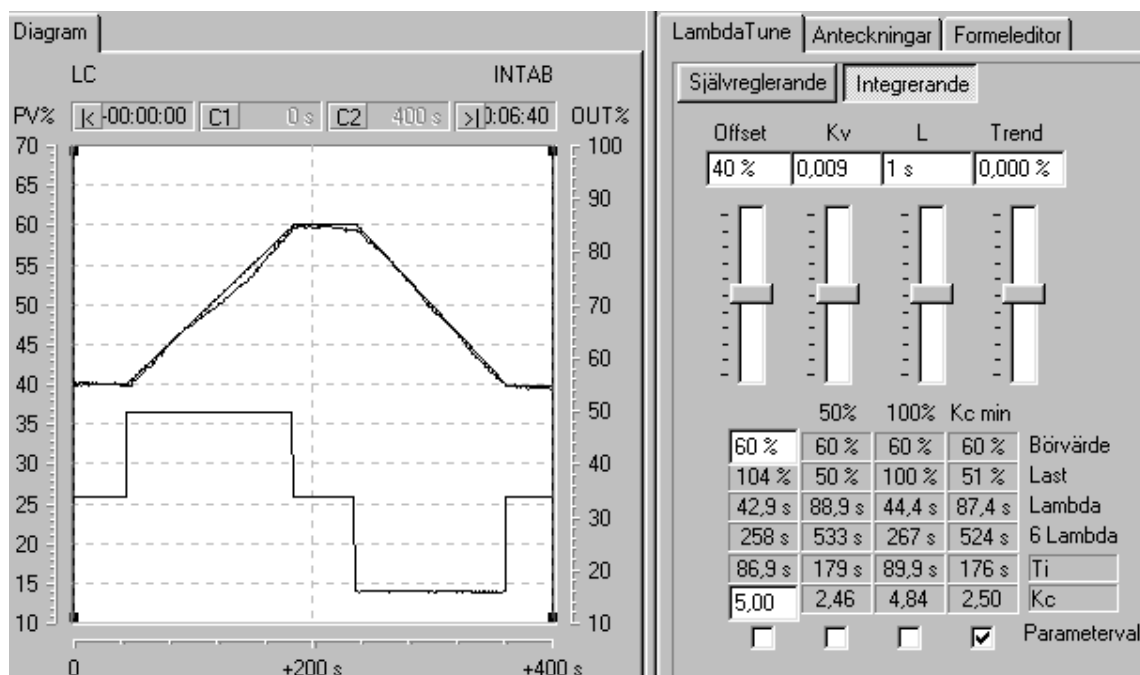
I den första kolumnen har du möjlighet att mata in ett eget förslag för regulatorförstärkningen (K_c). Beräkning sker därefter av integreringstiden (T_i) till denna valda regulatorförstärkningen (K_c). Uträkning görs också av Lambda (λ), sex Lambda (6λ) och vilken maximal laststörning regulatorn kommer att klara. I andra och tredje kolumnen görs uträkning av regulatorns integreringstid (T_i) och förstärkning (K_c) för 50% respektive 100% laststörning.

Se avsnitt ” Beräkning av regulatorparametrar, enligt Lambdametoden, för integrerande processer”

I fjärde kolumnen, kallad **Kc_min**, görs en beräkning av vilken regulatorförstärkning (K_c) som är den lägsta möjliga om regulatorn vore en ren P-regulator. D.v.s. så att vid maximalt tillåten regleravvikelse (e) ska styrsignalen (OUT) ha kommit till ett ändläge. T.ex. om börvärdet (SP) för en tank är valt till 75% är maximal tillåten regleravvikelse (e) 25%. Skulle denna process styras av en ren P-regulator behövs en regulatorförstärkning (K_c) på minst fyra för att i alla lägen garantera att styrsignalen (OUT) kommer till ett ändläge (0% eller 100% beroende på reglerverkan) innan som i detta fall tanken rinner över. Till detta uträknade värde på regulatorförstärkningen (K_c) beräknas därefter regulatorns integreringstid (T_i). Inställningen ger alltså P-regulatorns säkerhet kombinerad med en lämplig integreringstid (T_i).

Något värde på samplingstiden behöver ej matas in då den kan anses försumbar för denna processtyp.

När du bestämt dig för vilken kolumns förslag som passar bäst för den aktuella processen gör du en bock i rutan inunder densamma. Denna bock följer med på utskriften som markering för valda reglerparametrar.



Figur 16 Stegsvår integrerande process. Figuren visar steg på styrsignal (OUT) och processvärdets svar. Ovan på processvärdets svar har en modellkurva justerats in med identifieringsverktyget. Till höger visas **LambdaTune**-fliken med tillhörande process och beräknade regulatorparametrar m.m..

Exempel

- Öppna din loggade datafil eller om du inte har någon och vill öva kan du öppna en mall t.ex. LC: 200-1000mV.
- Klicka på knappen "Autoskala tidsaxeln" för att autoskala tidsaxeln. Detta för att visa hela det inspelade datasetet.
- Dubbelklicka i diagrammet och klicka därefter på raden för integrerande modell i "dölj" fönstret så att den hoppar upp i det övre "visa" fönstret. Klicka sedan på OK. Modellen ska nu synas i diagrammet.
- Se till att knappen **Integrerande** är nedtryckt på **LambdaTune**-fliken.
- Justera offseten på **LambdaTune**-fliken så att modellkurvan hamnar över processvärdeskurvan i början av det inspelade värdena (vänstra kanten på diagrammet). Kontrollera vilket värde den inspelade processvärdeskurvan har på den vänstra Y-axeln för processvärdet (PV). Mata in det värdet i inmatningsfältet för **Offset**. Efterjustera offseten med hjälp av potentiometern. Önskas offseten justeras i finare steg så matas den in med en eller flera decimaler i inmatningsfältet.
- Justera, om det är nödvändigt, modellkurvas trend så att den får samma trendlutning som den inspelade processvärdeskurvan fram till första stegändringen. Nyttja inmatningsfält och/eller potentiometer.
- Justera sedan hastighetsförstärkningen (Kv) så att modellen viker av med samma vinkel som processvärdeskurvan efter första stegändringen.

- Justera därefter dödtiden (L) så att modellen svarar vid samma tidpunkt som processen.
- Finjustera in modellen över stegsvaren. Zooma vid behov in lämpligt dataområde.
- När modellanpassningen är klar matas normalt börvärde (SP) för reglerkretsen in på **LambdaTune**-fliken.
- Välj värden från lämplig kolumn och se vilka förslag du får på regulatorförstärkningen (K_c) och regulatorns integrationstid (T_i). Gör en markering under den kolumn som du väljer.
- Kommentarer skriver du in under fliken ”Anteckningar”.
- Mata in de nya regulatorparametrarna i regulatorn och följ sedan upp hur reglerkretsen fungerar.

TILL SIST

Om resultatet av optimeringen blir framgångsrikt har du förstått dig på det hela och gjort allting rätt.

Om resultatet inte blir så bra kan du ändå ha gjort allting rätt men förutsättningarna för reglerkretsen har förändrats sedan du gjorde ditt stegsvar. Försök då reda ut vad som är olinjärt, varierar eller i dåligt skick och finn en lämplig lösning på problemet.

Om du är intresserad av regleroptimering så löser du efter en tid de flesta reglerproblemen. De hopplösa fallen tar bara något längre tid att komma till rätta med.