

Ontwerprapport

AUTOMATISERING DRAADTOEVOERMACHINE

Opdrachtgever:

Dhr. Johan van Eijden

Opleverdatum Adviesrapport:

3 februari 2014

KaanDam ingenieurs

Jelle Spijker & Ruben van Wiefferen

Datum 2 februari 2014

Revisie 20140202

Contact gegevens:

Jelle Spijker (495653)

+31 (0)6 - 43 27 26 44

Spijker.Jelle@gmail.com

Ruben van Wiefferen (495573)

+31 (0)6 – 25 02 24 47

Rubenvanwiefferen@gmail.com

Disclaimer HAN:

Door ondertekening van dit voorblad, bevestigen wij dat het – door ons ingeleverd(e) werkstuk/rapport/scriptie (verder te noemen “product”) – zelfstandig en zonder enige externe hulp door ons is vervaardigd en dat wij op de hoogte zijn van de regels omtrent onregelmatigheden/fraude zoals die vermeld staan in het opleidingsstatuut.

In delen van het product, die letterlijk of bijna letterlijk zijn geciteerd uit externe bronnen (zoals internet, boeken, vakbladen enz.) is dit door ons via een verwijzing conform APA-norm (b.v. voetnoot) expliciet kenbaar gemaakt in het geciteerde tekstdeel (cursief gedrukt).

SAMENVATTING

Voor de draadtoevoermachine van Coil Machines heeft KaanDam ingenieurs opdracht gekregen om de uitwerking van de besturing en regeling alsmede de selectie van componenten uit te voeren. Dit ontwerprapport vat alle uitgewerkte documenten samen welke leidt tot het ontwerp van een machine welke zo op de markt geplaatst kan worden.

In dit ontwerprapport zijn alle stappen terug te vinden die ondernomen zijn voor de oplevering. De stappen die ondernomen zijn, en welke terug te vinden zijn in dit ontwerprapport zijn:

- Plan van aanpak
- Pakket van eisen
- Methodisch product ontwerp
- Componenten selectie
- Besturing- en regeltechnisch ontwerp voor:
 - Afwikkeling van de spindel
 - Temperatuur regulering in de spindel
 - Opwarming van de spindel
 - Interface programma voor de regeling en besturing
- Aansturings- en principe schema's

Al deze documenten, mede met dit ontwerprapport is de uitwerking die door Coil Machines gevraagd wordt. Met dit document staat Coil Machines niet meer in de weg om de draadtoevoermachine verder te produceren om deze op de markt te zetten.

INHOUDSOPGAVE

SAMENVATTING	2
INHOUDSOPGAVE.....	3
1 INLEIDING.....	5
2 OMSCHRIJVING VAN DE DRAADTOEVOERMACHINE.....	6
3 HARDWARE MATIGE TOEVOEGINGEN	7
3.1 SENSOREN	7
3.1.1 <i>Temperatuursensor.....</i>	7
3.1.2 <i>Versnellingsmeter.....</i>	8
3.2 MOTOR	9
3.3 WARMTE ELEMENT	10
4 AANSTURING VAN HET PROCES.....	11
4.1 WERKING VAN DE AANSTURING.....	11
4.1.1 <i>Installeren van de besturing VI.....</i>	11
4.1.2 <i>De gebruikersinterface</i>	12
4.1.3 <i>De werking van het programma</i>	13
4.2 AFWIKKELEN VAN DE SPINDEL	16
4.2.1 <i>Wiskundig model van het proces</i>	16
4.2.2 <i>Overdrachtsfunctie van het open loop proces</i>	17
4.2.3 <i>Bepalen van de overdrachtsfunctie van de regeling.....</i>	18
4.2.4 <i>Verwachte performance van het volledige systeem</i>	19
4.3 OPWARMEN VAN DE SPINDEL	21
4.3.1 <i>Wiskundig model van het proces</i>	21
4.3.2 <i>Overdrachtsfunctie van het open loop proces</i>	22
4.3.3 <i>Bepalen van de overdrachtsfunctie van de regeling.....</i>	23
4.3.4 <i>Verwachte performance van het volledige systeem</i>	24
4.3.5 <i>Uniforme spindel temperatuur</i>	25
4.4 SIMULATIE VAN HET SYSTEEM IN LABVIEW MET GEBRUIK VAN MATLAB	28
5 CONCLUSIE	30
6 BIBLIOGRAFIE	31
BIJLAGE I: PLAN VAN AANPAK	32
BIJLAGE II: PAKKET VAN EISEN	32
BIJLAGE III: METHODISCH PRODUCT ONTWERP	32
BIJLAGE IV: COMPONENTEN SELECTIE.....	32
BIJLAGE V: ONTWERP REGELING VOOR HET AFWIKKELEN VAN EEN SPINDEL ..	33

REGELTECHNIEK AFWIKKELEN VAN EEN SPINDEL	33
OPSTELLEN VAN DE DIFFERENTIAAL VERGELIJKING	33
LAPLACE TRANSFORMATIE.....	33
OVERDRACHTSFUNCTIE VAN HET PROCES $H_p(s)$	34
OVERDRACHTSFUNCTIE VAN DE REGELAAR.....	35
BODE DIAGRAM VAN OPEN LOOP SYSTEM MET REGELAAR.....	35
CLOSED LOOP SYSTEM VAN HET PROCES EN REGELAAR.....	37
STEP VAN HET CLOSED LOOP SYSTEEM VAN HET PROCES EN REGELAAR	37
BODE VAN HET CLOSED LOOP SYSTEEM VAN HET PROCES EN REGELAAR.....	39
THE CLOSED LOOP SYSTEM SIMULATED IN $T = 10$ [s]	39
BIJLAGE VI: TEMPERATUUR IN DE SPINDEL	41
TEMPERATURE GRADIATION BEHAVIOUR IN THE SPINDLE	41
ACCEPTABLE TEMPERATURE GRADIENT LOCATION VS TIME	42
TIME IT TAKES WHEN THE SPINDLE IS AT AN ACCEPTABLE TEMPERATURE IN [HOURS]	43
BIJLAGE VII: CORRESPONDENTIE OPWARMEN SPINDEL.....	44
BIJLAGE VIII: CODE VOOR DE SIMULATIE VAN EEN TRANSFER FUNCTION IN MATLAB VANUIT LABVIEW.....	46
BIJLAGE IX: TEKENING SPINDEL.....	50
BIJLAGE X: INTERFACE VAN DE REGELING	51
LEGENDA.....	51
BIJLAGE : LABVIEW.....	52
BIJLAGE XII: SEQUENTIAL FOW CHART	57
BIJALGE XIII: STATE DIAGRAM	58
BIJLAGE XIV: PRINCIPE SCHEMA.....	59
BIJLAGE XV: SIMULINK MODEL OPWARMEN SPINDEL	60

1 INLEIDING

Dit ontwerprapport is geschreven in opdracht van Coil Machines. De vraag die vanuit Coil Machines bij KaanDam ingenieurs is neergelegd heeft te maken met de automatisering van een draadtoevoermachine. Deze draadtoevoermachine is ontwikkeld door Coil Machines, maar mist op het gebied van automatisering en selectie van componenten nog de laatste stappen om de machine op de markt te zetten. De vraag voor de uitwerking van het automatisering gedeelte en de selectie van componenten is bij de ingenieurs van KaanDam neergelegd.

De machine voert draad van 5[mm] aan vanaf een spindel. Deze draad moet aan de volgende processtap op een lengte van 3[m] met een temperatuur van 45[°C] aangeboden worden. Iedere lengte moet in 10[s] afgewikkeld worden en mag qua lengte niet meer afwijken dan 2%.

Om tot een gewenste oplossing te komen zijn er verschillende stappen ondernomen. Vanaf het begin van het project is er overeenstemming met de opdrachtgever bereikt over de opleverdatum. Vanuit deze milestone is er begonnen met een plan van aanpak en bijbehorende planning om tijdig het project af te ronden. Na het plan van aanpak is er meer gekeken naar de technische kant en de eisen en wensen die daarbij komen kijken. Deze requirements zijn in het plan van eisen omschreven en worden verder op technisch vlak uitgewerkt in het mpo-rapport. De volgende stap die in het project genomen is had betrekking op de regeltechnische en besturingstechnische werking. Dit is omgezet in verschillende omschrijvingen en regelingen. Als laatste hoofdcomponent is er een componenteselectie uitgevoerd om motor, sensoren en verwarmingscomponenten te selecteren. Nadat al deze plannen, beschrijvingen en selecties plaats hebben gevonden begon het ontwerp al vorm te krijgen. Bij alle documenten is er altijd gekeken naar de wens van de opdrachtgever, de tijdsplanning en de bijbehorende eisen op ontwerptechnisch vlak. Dit geheel heeft geleid tot een ontwerp waarmee Coil Machines de draadtoevoermachine verder kan vormgeven en op de markt kan plaatsen.

Dit rapport heeft de volgende leeswijze: In hoofdstuk 2 volgt een omschrijving van de machine zoals hij, met de gestelde eisen, moet functioneren. In hoofdstuk 3 volgt de hardware matige toevoegingen. In dit hoofdstuk vindt de componenteselectie plaats van de motor, sensoren en overige componenten. Hoofdstuk 4 heeft betrekking op de besturing- en regeltechnische werking van de draadtoevoermachine. In hoofdstuk 5 volgt een korte en bondige conclusie op dit verslag. Waarna in de bijlagen verschillende essentiële documenten terug te vinden zijn voor de verdere vormgeving van de draadtoevoermachine.

2 OMSCHRIJVING VAN DE DRAADTOEVOERMACHINE

De draadtoevoermachine is een machine waar gewerkt wordt met een verwisselbare spindel. Het doel van de machine is om staaldraad met een bepaalde lengte te vervaardigen. Het staaldraad is al in een eerder stadium op een spindel gewikkeld. Het uiteindelijk verkregen product is een recht stuk staaldraad met een lengte van 3 meter.

Om deze spindel, welke een diameter heeft van 50 cm bij een hoogte van 50 cm, is een draad gewikkeld met een diameter van 5 mm. Een spindel wordt in een klimaatkast

geplaatst welke is uitgerust met een verwarmingsspiraal. In deze klimaatkast heerst een constante temperatuur van 45 °C. De constante temperatuur in de klimaatkast wordt met behulp van een thermokoppel waargenomen. Een thermokoppel is een temperatuursensor welke werkt op basis van het Seebeck-effect. Deze bestaat uit twee draden, ofwel contactpunten. Wanneer er tussen deze contactpunten een temperatuur verschil is, ontstaat er een potentiaalverschil. Dit potentiaalverschil wordt gemeten en hieruit kan de temperatuur bepaald worden. Deze waarde wordt als signaal uitgestuurd naar de besturingskast. De regeling in de besturingskast zorgt ervoor dat temperatuur geregeld kan worden.

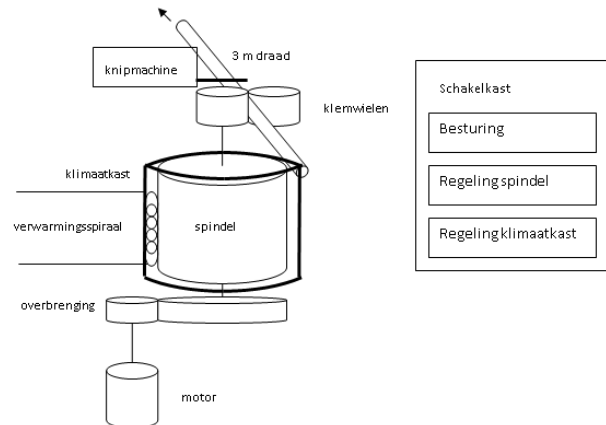
Op het moment dat de machine in werking gaat, de spindel gaat draaien wordt dit geactueerd door een motor en een overbrenging. Aansturing van deze motor gebeurt vanuit de besturingskast. Hiervoor is een regeling ontworpen. Deze bedient de gehele draadtoevoermachine.

Gezien de draadtoevoermachine geregeld zal worden, zodat er voldaan kan worden aan gestelde eisen:

- Lengte 3[m]
- Nauwkeurigheid 2[%]
- Tijd afwikkelen per lengte 10[s]
- Tijd stop voor het scheiden van de draad 5[s]
- Overshoot 0%

Zal onder andere afgewikkelde lengte bepaald worden, dit gebeurt met behulp van een accelerometer. Dit type versnellingsmeter meet de centrifugale kracht welke ontstaat op de rol van de rollersysteem welke de draad geleidt. Deze versnelling wordt gedifferentieerd naar hoekverdraaiing. De output van de accelerometer is weer input voor de aansturing van de spindel.

De veranderende massa van de spindel wordt gemeten door compressie van een veer. Het afknippen van de draad gebeurt met behulp van een knipmachine.



Figuur 1 schematische werking van draadtoevoermachine
(Bron: (van Eijden, 2013))

3 HARDWARE MATIGE TOEVOEGINGEN

De draadtoevoermachine was op het ontwerptechnische aspect al gereed bij het verkrijgen van de opdracht van Coil Machines. Een deel van de opdracht was ook om een aantal componenten te selecteren waardoor de draadtoevoermachine gebruiksklaar was. Deze selectie geldt voor de sensoren om temperatuur en snelheid te registreren. Maar ook voor de motor en het warmte element in de klimaatkast.

In het traject van componenten selectie is ervoor gekozen om deze uit te voeren op een methodische wijze. De gehele uitwerking van de componenten selectie is terug te vinden in bijlage 4. Hierin volgt een methodische wijze, gebaseerd op keuze afweging van eisen en productspecificatie, die ook in het MPO-rapport terug te vinden is voor de gehele draadtoevoermachine.

Van de bovengenoemde componenten heeft er een selectie plaatsgevonden. Deze selectie is uitgewerkt in paragrafen 3.1, 3.2 en 3.3.

3.1 SENSOREN

In de draadtoevoermachine worden twee types sensoren toegepast. Een is voor de temperatuur in de klimaatkast te meten. Uit het MPO-rapport (zie bijlage 3) is de keuze voor de temperatuursensor gevallen op een thermokoppel. Dit thermokoppel maakt gebruik van het Seebeck-effect. Hiermee wordt een temperatuurverschil direct omgezet naar een spanning. Dit signaal wordt teruggekoppeld naar een besturingskast, waar de radiatoren geregeld worden om de gewenste warmte te behalen.

Het tweede type sensor dat toegepast wordt is de versnellingsmeter. Gezien de eis van de stakeholders om een gewenste lengte, met een bepaalde precisie, af te kunnen wikkelen moet dit op een of andere manier gemeten worden. Uit de methodische keuze bepaling van het MPO-rapport (zie bijlage 3) is de keuze gevallen op een versnellingsmeter type accelerometer. Deze sensor wordt gemonteerd bij de klemwielen. Het signaal wordt net als bij de temperatuursensor teruggestuurd naar de besturingskast. Hierdoor wordt het proces geregeld.

3.1.1 Temperatuursensor

Door de stakeholders zijn er verschillende voorkeursleveranciers en –componenten geselecteerd. Deze voorkeursleveranciers zijn gerenommeerde partijen met kwalitatief goede producten. De voorkeursleveranciers zijn Endress+Hauser B.V, Fluke, Weller en Jumo. In de selectie van het model heeft Endress+Hauser twee verschillende type thermokoppels geselecteerd.

In de selectie van de componenten is er een onderscheid gemaakt door te kijken in hoeverre de componenten voldoen aan de gestelde criteria en eisen. Deze eisen worden in bijlage 4, tabel 11, weergegeven. Doordat er redelijk wat vaste eisen gedefinieerd zijn worden alle componenten eerst afgewogen op basis van vaste eisen. Uit deze afweging blijkt dat alle

componenten voldoen aan de gestelde vast eisen. Hierna vind een keuzeafweging plaats op basis van de variabel eisen. Deze uitkomst is zichtbaar in de hieronder weergegeven tabel.

Model	Score in procenten
Endress+Hauser S.A. Style TC-assembly TLSC5	58
Endress+Hauser Omnigrad T Tec420	42
Fluke 80PK-24	46
Weller Thermo element Type K	38
Jumo 901221/10	96

Uit de bovenstaande gegevens blijkt dat Jumo 901221/10 op basis van de productspecificaties en afweging van de eisen veruit het beste voldoet. De voordelen van deze thermokoppel is dat hij een behoorlijk groot temperatuurbereik heeft van -200° C tot +1200 ° C en een snelle responsie. Dit type thermokoppel zal ook worden toegepast in de draadtoevoermachine.

Zie bijlage 4, paragraaf 3.4, voor de methodische selectie van de temperatuursensor.

3.1.2 Versnellingsmeter

Door de stakeholders en engineers van KaanDam ingenieurs is er een eisenrapport opgesteld waaraan de versnellingsmeter moet voldoen. Aan de hand van deze eisen, gericht op het functionele en de fabricage, vindt de selectie van componenten plaats.

Aan de hand van de wensen van Coil Machines en de ervaring van KaanDam ingenieurs is er de keuze gevallen op twee leveranciers, Altheris en Pewatron, met in totaal drie verschillende versnellingsmeters. Doordat er bij de selectie van een versnellingsmeter geen berekeningen aan ten grondslag liggen wordt een keuze gemaakt op basis van geschiktheid aan de hand van de eisen en de productspecificaties.

In eerste instantie zijn de drie varianten afgewogen tegen de vaste eisen. Hieraan moet minimaal aan voldaan worden. Hierna heeft er een afweging plaatsgevonden op basis van de variabele eisen. De uitkomst is zichtbaar in de hieronder weergegeven tabel.

Model	Score in procenten
Altheris 201 Accelerometer	50
Altheris 3700 Accelerometer	66
Pewatron 1201F Accelerometer	86

Op basis van de hierboven vermelde data blijkt dat de Pewatron 1201F accelerometer als beste voldoet aan de gestelde eisen. Dit type zal ook worden toegepast in de draadtoevoermachine.

De gehele uitwerking van de versnellingsmeter is terug te vinden in bijlage 4 paragraaf 3.3.

3.2 MOTOR

De motor zorgt voor de aandrijving van de spindel. Gezien de nauwkeurigheid en regelbaarheid waar de draadtoevoermachine aan moet voldoen zal er een goed regelbare motor geselecteerd worden.

De selectie van een motor, in combinatie met een overbrenging, vindt plaats op basis van de belasting en het belastingprofiel. Deze dimensioneringsberekeningen in samenspraak met de productspecificaties zijn essentieel samen met de gestelde eisen voor de uiteindelijke selectie van de motor. Van te voren zijn er een aantal proces eigenschappen door Coil Machines gegeven waardoor er een snelheidsprofiel van het proces bepaald kan worden. Op basis van het snelheidsprofiel kan de acceleratie en deceleratie bepaald worden:

$$a_2 = \frac{v_{2\max}}{t_1} = \frac{1,8 \text{ [m/s]}}{2,0} = 0,9 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

Uit het snelheidsprofiel blijkt dat acceleratie even groot is als deceleratie. Met dit gegeven kan het maximaal optredende moment bepaald worden. Doordat er verschillende bedrijfsprocessen zijn, te weten acceleratie, continu bedrijf en deceleratie, dienen er verschillende berekeningen gemaakt te worden om het maximaal optredende moment te berekenen.

Uit de verschillende berekening blijkt dat het maximaal optredende moment optreedt in de acceleratie fase. Dit is bepaald op:

$$M_{2,acc} = M_{2,stat} + M_{2,dyn}$$

$$M_{2,acc} = 15[Nm] + 100,751[Nm] = 115,751 [Nm]$$

Met het maximaal optredende moment, het bijbehorende maximale toerental en het mechanisch vermogen kan de selectie van de motor-reductor overbrenging geselecteerd worden.

Voor de motor-reductor zijn er drie voorkeursleveranciers geselecteerd. Deze drie zijn Maxon, Beckhoff en Bosch Rexroth. Al deze leveranciers zijn bekende partijen op het gebied van productie en levering van motoren en overbrengingen. Op basis van het belasting profiel wat bij een bepaalde combinatie naar voren komt, afgewogen tegen de productspecificaties, kan er een keuze gemaakt worden op toepasbaarheid.

Gezien de afweging niet alleen plaatsvindt op basis van berekeningen maar ook op de gestelde eisen, wordt er een keuze afweging gemaakt. Om tot een reële score te komen, wordt er aan iedere criteria een weegfactor toegekend. Deze weegfactor wordt gedefinieerd op basis van belangrijkheid van een eis/criteria. Deze weegfactor wordt meegenomen in een keuze afweging en leidt tot een definitieve keuze. De uitkomst van deze afweging is weergegeven in de onderstaande tabel.

Leverancier	Motor	Reductor	Score in procenten
Maxon	EC81 Ø81 mm, brushless, 400 Watt, with Hall sensors	Planetary Gearhead GP 81 A Ø81 mm	84
Beckhoff	AM804x Servomotor 2.45 – 5.65 Nm AM8041-wDyz	AG2210-LP090S-MF2	86
Bosch Rexroth	GTE080-NN2-040	MSK030B-0900	90

Op basis van de keuze afweging en de berekeningen komt de motor-reductor selectie van Bosch Rexroth als beste naar voren. Deze motor-reductor overbrenging zal ook worden toegepaste in de draadtoevoermachine.

De gehele uitwerking van de motor-reductor selectie is terug te vinden in bijlage 4, paragraaf 3.1.

3.3 WARMTE ELEMENT

Het draad wat op de spindel is gewikkeld moet met de juiste temperatuur bij de poedercoatinstallatie aangeleverd worden. Hiervoor dient er een verwarmingselement in de klimaatkast geplaatst te worden. In het MPO-rapport (bijlage 3) is er gekozen om een warmte element in de vorm van een verwarmingsspiraal in de klimaatkast te plaatsen.

Selectie van een verwarmingsspiraal vindt plaats aan de hand van een aantal eisen, maar vooral door dimensioneringsberekeningen. Er is een gewenste temperatuur die behaald moet worden in een bepaalde ruimte. Om de temperatuur te overwinnen in een ruimte dient er extra vermogen te worden toegevoegd. Het vermogen wat door het verwarmingsspiraal geleverd moet worden ligt op 830 [W].

Doordat er bij de berekeningen geen rekening is gehouden met verwarmings- en omgevingsverliezen zal het verwarmingsspiraal over gedimensioneerd worden. Hiervoor wordt een willekeurig verwarmingsspiraal gekozen wat 1500 [W] kan leveren.

Omdat er aan een verwarmingsspiraal geen speciale fabrikantsspecificaties zitten zal er een willekeurig verwarmingsspiraal gekozen worden wat 1500 [W] kan leveren.

Zie bijlage 4, paragraaf 3.2 voor de selectie van het verwarmingsspiraal.

4 AANSTURING VAN HET PROCES

Aansturing van het proces wordt gefaciliteerd door een besturing geschreven in Labview 2013, deze is een zogenaamde Virtual Instrument (VI). Een gebruiker kan werking van het systeem monitoren en aansturen doormiddel van een grafische interface. Werking van deze aansturing is paragraaf 4.1 uiteengezet. De besturing regelt meerdere processen. Hiervan zijn onderstaande het belangrijkste:

1. Afwikkelen van een geladen spindel volgens een bepaald snelheid profiel;
2. Warm houden van een geladen spindel;
3. Opwarmen volgende spindel;

Bovenstaande processen zijn wiskundig gemodelleerd en uitgewerkt in paragrafen 4.2 en 4.3.

4.1 WERKING VAN DE AANSTURING

Aansturing van alle processen en een interface met een gebruiker gebeurd met een Virtual Instrument (VI). Deze VI is geïnstalleerd op een dedicated computer met een Windows 8 Operating Systeem. Waarop een versie van **Labview 2013** en **Matlab 2013b** geïnstalleerd is. Communicatie met de randapparatuur wordt verzorgt over TCP/IP netwerk met een PAC welke de aansturing van de servomotor, radiatoren en sensors verzorgt.

Er wordt onderscheid gemaakt tussen drie vormen van gebruikers:

1. Administrator
2. Super-user
3. User

Een administrator gebruiker heeft rechten tot de gehele programmatuur en kan indien gewenst en nodig de architectuur van de VI aanpassen. Een super-user kan doormiddel van het invoeren van een wachtwoord in de gebruikersinterface toegang krijgen tot dagelijkse instellingen. Het wachtwoord is "HAN". Een gewone gebruiker, heeft alleen rechten welke direct productie gerelateerd zijn. Dit zijn o.a. temperatuur setpoint en lengte setpoint.

4.1.1 Installeren van de besturing VI

Meegeleverd met dit document is de file "setup.exe". Deze verzorgt de installatie van de VI's op de computer tezamen met een simulatie programmatuur. Het is belangrijk dat de gebruiker zowel Labview 2013 als Matlab 2013b geïnstalleerd heeft, alleen hiermee kan KaanDam de werking garanderen.

Volgende link toont een YouTube video hoe deze installatie plaatsvind, www.youtube.com/watch?v=uzdqNN64NMk . Deze installer schrijft een file genaamd SimTF.dll naar de GAC (Global Assembly Cache) Hierdoor is deze dll oproepbaar in Labview en bruikbaar voor eventuele volgende projecten. Uitgebreide uitleg over deze simulatie mogelijkheden is in paragraaf 4.4 te vinden.

In de “mijn document” map van een gebruiker installeert hij tevens broncodes en door KaanDam geschreven VI's waarmee de aansturing geregeld mee kan worden. Ook worden er twee dll files geplaatst welke los gebruikt kunnen worden in Labview.

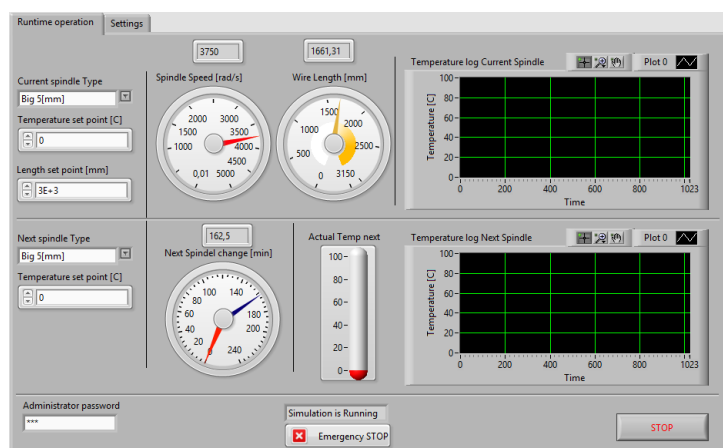
Eventuele troubleshooting met SimTF.dll en de Labview error 1172 wordt uitgelegd in de volgende YouTube video: www.youtube.com/watch?v=nADdB0XXoqI.

4.1.2 De gebruikersinterface

De gebruikersinterface van de besturing kenmerkt zich door een overzichtelijke opstelling. Het toont het twee tabbladen, Runtime Operation (RO) en Settings. Het hoofd tabblad RO is toegankelijk voor alle drie gebruikersgroepen terwijl het settingstabblad alleen te bereiken is na invoeren van het wachtwoord “HAN”, gevolgd door een enter. De globale werking wordt uitgelicht in volgende YouTube video:

www.youtube.com/watch?v=HQ_dm2b1KM4.

Het tabblad RO is opgedeeld in een onderste en bovenste helft. In de bovenste helft wordt het proces van een geladen spindel getoond, terwijl de onderste helft relevante procesgegevens toont voor een volgende spindel. In bijlage X is een kaart van een lay-out te vinden. Ook worden er bij alle items tooltips getoond als en gebruiker er met zijn muis overheen zweeft.



Figuur 2 Interface Runtime Operations

Van links naar rechts toe voor een huidige spindel (boven) is er een mogelijkheid om het type geladen spindel te selecteren. Er bestaat een keuze uit groot, middel en klein. Ook kan een gebruiker een gewenste setpoint voor temperatuur en lengte instellen.

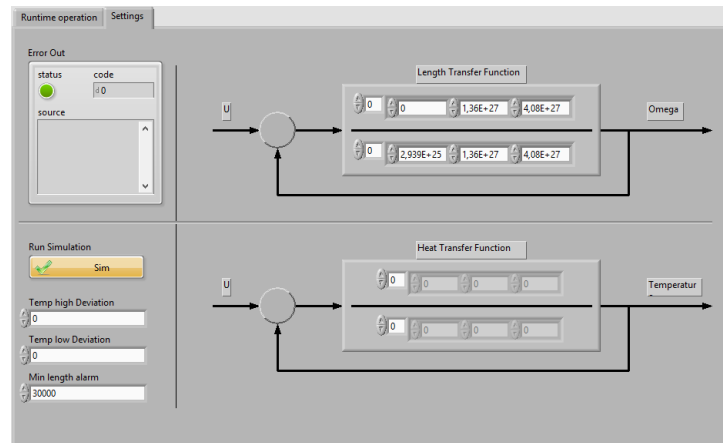
De middelste sectie toont voor het afwikkelen relevante data. Deze bestaat uit een meter welke toont wat de huidige hoekversnelling is van de geladen spindel. De tweede meter toont de afgewikkelde lengte. Deze meter schaaft om zodra de setpoint van lengte veranderd. Dit om optimaal gebruik te blijven maken van de meter.

De grafiek rechtsboven in toont een temperatuur log van de huidige spindel. Hier wordt de geschiedenis van de gemeten temperatuur getoond. Ook is hier de setpoint temperatuur met het tolerantie bereik terug te vinden. Dit tolerantie bereik kan ingesteld worden op de settingstab. Indien dit bereik overschreden wordt worden er benodigde stappen genomen om de gebruiker te waarschuwen en bij te sturen.

De onderste sectie welke relevante gegevens voor de volgende spindel toont is van links naar rechts als volgt opgebouwd. Aan de linkerkant kan wederom de geladen spindel geselecteerd worden. En de gewenste temperatuur gekozen worden. In het midden is een meter geplaatst waar de verwachte opwarmtijd van de volgende spindel uitgezet wordt tegen de verwachte productie tijd. Om een continu proces te realiseren is het van belang dat

deze wijzer gelijktijdig op nul staan. De blauwe wijzer telt af voor het productie proces terwijl de rode wijzer aangeeft hoe lang het duurt tot de spindel opgewarmd is. Helemaal rechts is de temperatuur log voor de condities in de klimaatkast. De linker temperatuur meter toont het de ΔT van de spindel. Hier wordt deze meter toont het temperatuur bereik tussen huid en kern van de spindel. Het proces is klaar zodra er een de dikke balk veranderd is een streep welke op setpoint temperatuur is.

Het settingstabblad, welke alleen maar toegankelijk is na invoering van het wachtwoord "HAN". Biedt een mogelijkheid om aanpassingen te doen aan een transferfuncties. Dit kan bijvoorbeeld voorkomen als er een andere motor ingebouwd wordt. Ook verschijnen hier interne waarschuwing en errors welke gebruikt kunnen worden bij het



Figuur 3 Interface settingstabblad

troubleshooting van eventuele problemen. Op dit tabblad worden ook het temperatuur high/low alarm en minimaal lengte alarm.

4.1.3 De werking van het programma

De besturing van het proces is geschreven in Labview 2013 en bestaat uit één hoofd VI (Virtual Instrument) en meerdere subVI's. De gehele regeling is in bijlage XI geplaatst. Deze wordt tevens met installer als bestand meegeleverd (zie paragraaf 4.1.1). In bijlage XII is een diagram van de sequential flow te vinden, dit diagram toont een werking als een serie opeenvolgende logische stappen. De werking van de regeling wordt verder geïllustreerd met een state diagram, te vinden in bijlage XIII. Hiermee worden verschillende toestanden uitgezet en de condities waar de overgangen tussen deze toestanden afhangen.

De werking van het programma wordt hieronder in grote lijnen samengevat. Voor een gedetailleerd beeld wordt er verwezen naar eerder genoemde bijlages. Grijze tekst is nog niet geïmplementeerd in de besturing.

De werking van de besturing bestaat in grove lijnen uit drie fases. In de eerste fase, een init-phase wordt een omgeving klaargemaakt voor de hoofd fase, een main-phase. In deze main-phase vervult de besturing zijn hoofdtaak. Zodra er condities ontstaan waardoor deze besturing afgesloten moet worden. Volgt er een transitie van main-phase naar deconstruct-phase en wordt het systeem op een verantwoorde manier afgesloten

De init-phase

Bij het opstarten van de VI wordt door Matlab eerst de interface opgebouwd en getoond aan een gebruiker. Deze interface en de interactie met een gebruiker is uitgebreid behandeld in paragraaf 4.1.2. Properties van het tabblad, settings, worden op disable gezet. Dit voorkomt dat niet bevoegde gebruikers geen instellingen kunnen veranderen.

Verdere properties en variabelen, welke aan het begin ingesteld moeten worden, voor een correcte werking van het programma zijn o.a. spindeltype. Dit is, een type definitie waar waardes gewicht en radius in opgeslagen worden. Er zijn ook diverse interface elementen, welke gebruikt zijn voor het complementeren van een gebruikersinterface, welke nog niet volledig geïmplementeerd zijn in de besturing, geplaatst in deze fase.

Hierna worden een door KaanDam engineering zelf geschreven simulatie tools opgestart. Met deze tool kan het proces gesimuleerd worden. Een gedetailleerde omschrijving van de werking van deze tool is in paragraaf 4.4 te vinden. Ook wordt de werking hiervan getoond in de volgende YouTube video: www.youtube.com/watch?v=Qoz0US73W8Y . Deze tool is geschreven in C#.Net en gecompileerd tot een .dll (Dynamic Link Library).

Omdat C#.Net een OO (Object Oriented Language) taal is wijkt dit iets af van de normale Labview procedé. Er zal eerste een object gedefinieerd moeten worden aan de hand van een class. Een goede metafoor voor een class is als volgt; Een class kan gezien worden als levensvorm, in deze class staan enkele functies en eigenschappen welke iedere levensvorm bezit. Deze class kan gebruikt worden om een andere class te schrijven waarin de functies en eigenschappen staan voor aap, kat, hond of mens. Deze class mens kan gebruikt worden voor het definiëren van het object, Pietje of Marietje. Deze vorm van programmeren zorgt voor een efficiënte manier van werken en resource gebruik van de besturing. Als een programmeur besluit dat levensvormen voortaan gebaseerd zijn op silicium in plaats van koolstof, hoeft dit maar in een stuk code aangepast te worden, namelijk de top level class – levensvorm. De eigenschappen van deze class druppelen door tot ieder individueel object. Concreet voor deze besturing houdt dit in dat er in Labview een object gedefinieerd moet worden met de class “SimTF”, deze is geplaatst in de namespace “JelleMath”. Dit wordt gedaan door een constructor van deze class op te roepen. Dit is een soort van init-phase voor dit object. Hierna worden benodigde properties in deze class gezet. Dit zijn een teller en noemer van een transfer functie. Deze worden hierna klaar gemaakt voor simulatie, dit gebeurt met een void functie “setTFtoMatlabenviroment”.

Main-phase

Na een init-phase komt een main-phase van het programma. Deze fase bestaat voornamelijk uit een while-loop, met als eind conditie een errorhandeling VI en (nood)stop. Zodra een van deze condities waar wordt, wordt deze loop beëindigd en vind een transitie naar een volgende fase plaats.

Gedurende een main phase vinden volgende handelingen in een while-loop plaats:

- Controleert of administrator wachtwoord is ingevoerd;
 - Controleert of het wachtwoord juist is;
 - Maakt de setting tab (on)toegankelijk indien het wachtwoord correct is ingevoerd;
- Controleert of een transfer-functie veranderd is;
 - Als deze veranderd is zet hij nieuwe noemer en teller naar SimTF en roept de functie setTFtoMatlabenviroment aan;

- Controleert of het geladen type spindel veranderd is, keuze tussen groot, middel en klein;
- Gewicht van spindel meten, hieruit radius herleiden en kiezen tussen drie verschillende states, zie states diagram;
- Meten hoeveel lengte er afgerold is;
- Indien minder dan de overgebleven setpoint op de spindel zit gebruiker waarschuwen (zie state diagram);
- Indien de spindel op is stop zetten (zie state diagram);
- Indien high/low temperatuur tressholds worden overschreden gebruiker waarschuwen;
- Indien gevaarlijke situaties voorkomen noodscenario uitvoeren;
- Omschalen van meters, afhankelijk van de setpoint;
- Rotatie snelheid van de spindel bepalen, zie sub VI (VT output);
- Tijdsvector en inputvector opbouwen, gebaseerd op alle voorgaande loops
- Simuleren van de uitkomst van de transferfunctie;
- Meters updaten
- Error handling
 - Error 1172 – show SimTF message;

Deconstruct-phase

Gedurende deze fase wordt onder andere een deconstructor voor het SimTF aangeroepen. Deze zorgt ervoor dat Matlab, welke op de achtergrond loopt, netjes afgesloten wordt.

4.2 AFWIKKELEN VAN DE SPINDEL

Draad moet aan het volgende proces op 45[°C] op 3[m] lengte toegeleverd worden. Dit wordt gedaan door deze spindel te plaatsen op een doorn welke rond draait. Dit geheel is geplaatst in een op 45[°C] geconditioneerde klimaatkast (in paragraaf 4.3 wordt dit uitgebreid behandeld). In bijlage I zijn de dimensies van deze spindel te vinden. De doorn waarop de spindel geplaatst is wordt aangedreven via een snaarverbinding en een servomotor. Gewenst is om het proces aan te sturen door het voltage van de servomotor aan te sturen. De volledige Matlab uitwerking is in bijlage V Uitgezet.

Het afwikkelen van een spindel duurt ongeveer 160 minuten.

4.2.1 Wiskundig model van het proces

Symbolenlijst

M_{motor} [N] = moment van de motor
 $M_{spindel}$ [N] = moment van de spindel
 $M_{friction}$ [N] = moment door wrijving
 $M_{overbrenging}$ [N] = moment door overbrenging
 η_{motor} [-] = rendement van motor en overbrenging
 $i_{overbrenging}$ [-] = overbrengingsverhouding
 U [V] = spanning op de motorklemmen
 k_m $\left[\frac{mN \cdot m}{A}\right]$ = motor moment constante
 R_a [Ω] = ankerweerstand
 ω_{motor} $\left[\frac{rad}{s}\right]$ = hoeksnelheid van de motor

$\alpha_{spindel}$ $\left[\frac{rad}{s^2}\right]$ = hoekversnelling van de spindel
 $\alpha_{overbrenging}$ $\left[\frac{rad}{s^2}\right]$ = hoekversnelling van de overbrenging
 J_{pulley} [$kg \cdot m^2$] = massatraagheid van de pulley
 $J_{spindel}$ [$kg \cdot m^2$] = massatraagheid van de spindel
 J_{riem} [$kg \cdot m^2$] = massatraagheid van de riem
 μ_d [-] = dynamische wrijvingscoëfficiënt

Het proces van het afwikkelen kenmerkt zich door een in tijd veranderende radius. Deze veranderende radius verandert niet gelijkmatig continu in tijd. Dit komt omdat de draden van 5[mm] gestapeld zijn op een spindel van 500[mm]. Hierdoor verandert de radius van de spindel pas om de 100 omwentelingen. Er is besloten geen functie voor dit gedrag te schrijven. Dit omdat het de differentiaal vergelijkingen onnodig complex maakt. Het is praktischer om voor drie verschillende scenario's $r_{spindel} = [0.25 \ 0.2 \ 0.125]$ de transfer functie te bepalen en de regelaar laten schakelen tussen deze transferfuncties. Dit is verder uitgewerkt in bijlage XIII State Diagram .

De differentiaal vergelijking van het proces is gebaseerd op de momentenstelling. Het moment wat de motor moet leveren is gelijk aan het moment van de spindel, wrijving en overbrenging. Hierbij rekening houdend met verliezen.

$$M_{motor} = \eta_{motor} \cdot (M_{spindel} + M_{friction} + M_{overbrenging})$$

Vergelijking 1 Momentenstelling

Een servomotor levert een bepaald moment welke bepaald wordt door onderstaande vergelijking.

$$M_{motor} = \frac{U - k_m \cdot \omega_{motor}}{Ra} \cdot k_m$$

Vergelijking 2 Geleverd moment door de motor

Het moment van de spindel op de servomotor-as wordt bepaald door hoekversnelling maal de massa's van de spindel en de pulley.

$$M_{spindel} = \alpha_{spindel} \cdot \frac{J_{pulley} + J_{spindel}}{i_{overbrenging}^2}$$

Vergelijking 3 Moment van de spindel

Het moment wat nodig is de wrijving te overwinnen is.

$$M_{friction} = \mu_d \cdot \omega_{motor}$$

Vergelijking 4 Moment van de wrijving

Het moment van de overbrenging betrokken op de motor as is gelijk aan.

$$M_{overbrenging} = \alpha_{overbrenging} \cdot \frac{J_{riem}}{i_{overbrenging}^2}$$

Vergelijking 5 Moment van de overbrenging

4.2.2 Overdrachtsfunctie van het open loop proces

Door Vergelijking 1 Momentenstelling Laplace te transformeren en te herschrijven als overdrachtsfuncties, voor alle drie de radii worden onderstaande overdrachtsfuncties verkregen.

$$H_{p1}(s) = \frac{1.511e25}{2.4975e25 s^2 + 2.72e24 s}$$

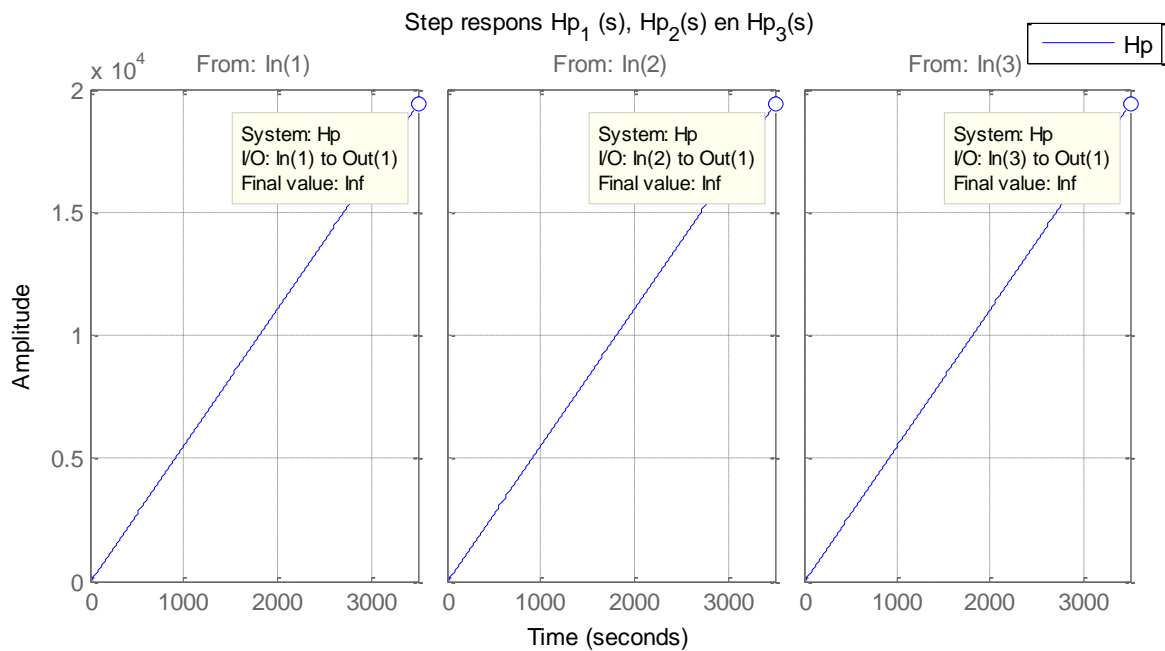
Vergelijking 6 Overdrachtsfunctie van het open systeem met een radius van 0.25 [mm]

$$H_{p2}(s) = \frac{1.511e25}{2.639e25 s^2 + 2.72e24 s}$$

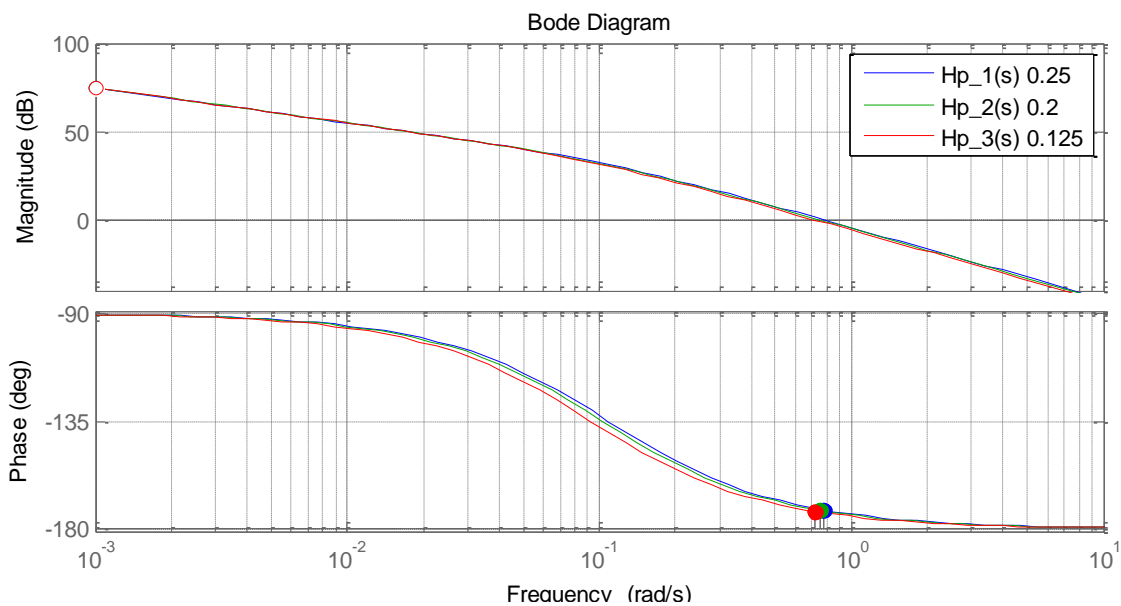
Vergelijking 7 Overdrachtsfunctie van het open systeem met een radius van 0.2 [mm]

$$H_{p3}(s) = \frac{1.511e25}{2.939e25 s^2 + 2.72e24 s}$$

Vergelijking 8 Overdrachtsfunctie van het open systeem met een radius van 0.125 [mm]



Figuur 4 Steprespons van het proces $H_p(s)$



Figuur 5 Bode diagram van het proces $H_p(s)$

Bovenstaande figuren tonen dat het proces bij benadering lineair gedrag vertoont bij een alsmaar groter wordend ingaand signaal en dat het een tweede orde betreft.

4.2.3 Bepalen van de overdrachtsfunctie van de regeling

In Sisotool van Matlab is de onderstaande zero-pole-gain regelaar ontworpen.

$$z = [-3]$$

$$p = []$$

$$k = 90$$

Dit kan vertaald worden naar de volgende continue-tijd transfer functie

$$C = 90s + 270$$

4.2.4 Verwachte performance van het volledige systeem

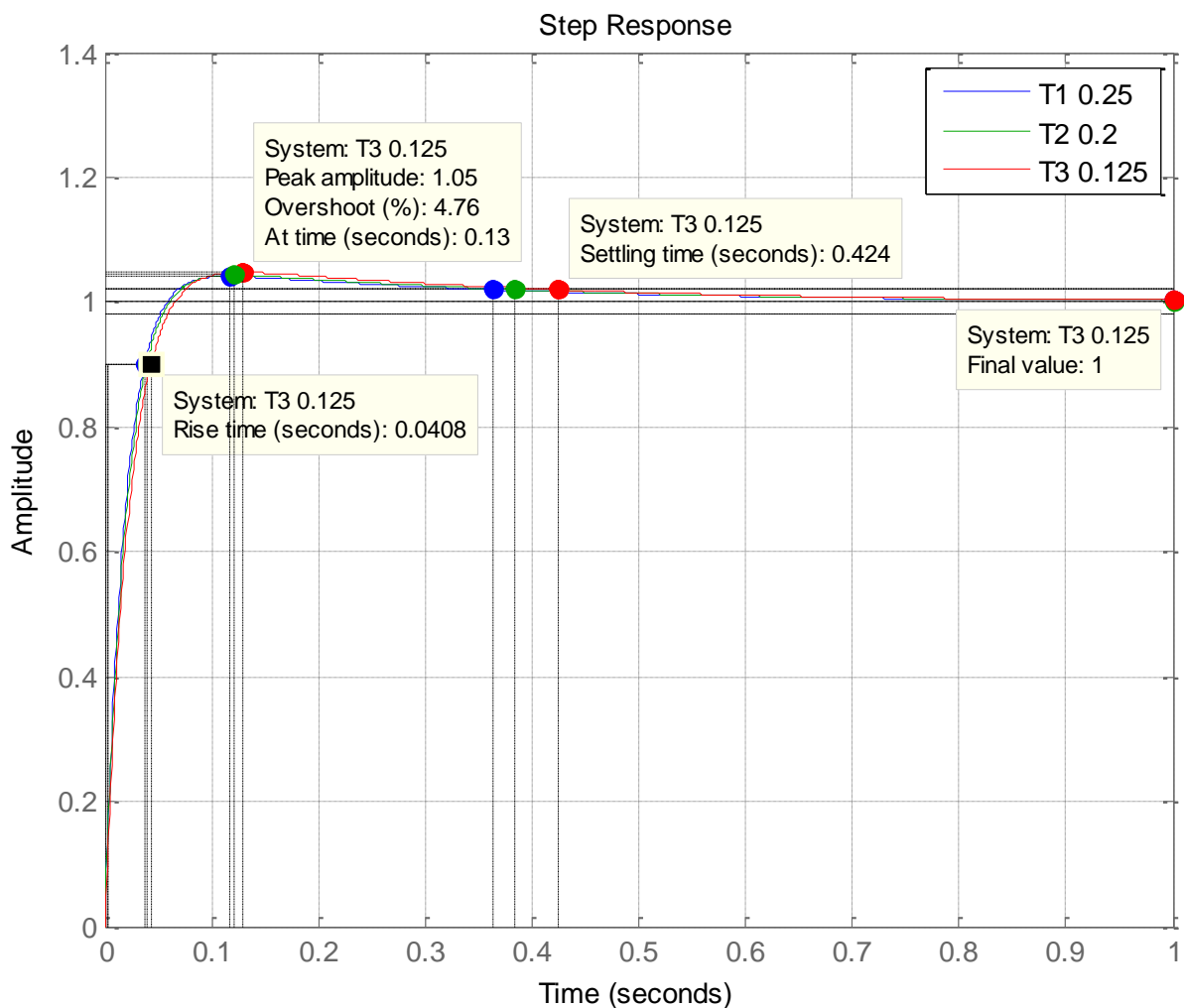
Het closed loop systeem van de transfer functie met de regelaar kan herschreven worden als:

$$T_{w1} = \frac{1.36e27 s + 4.08e27}{2.497e25 s^2 + 2.72e24 s}$$

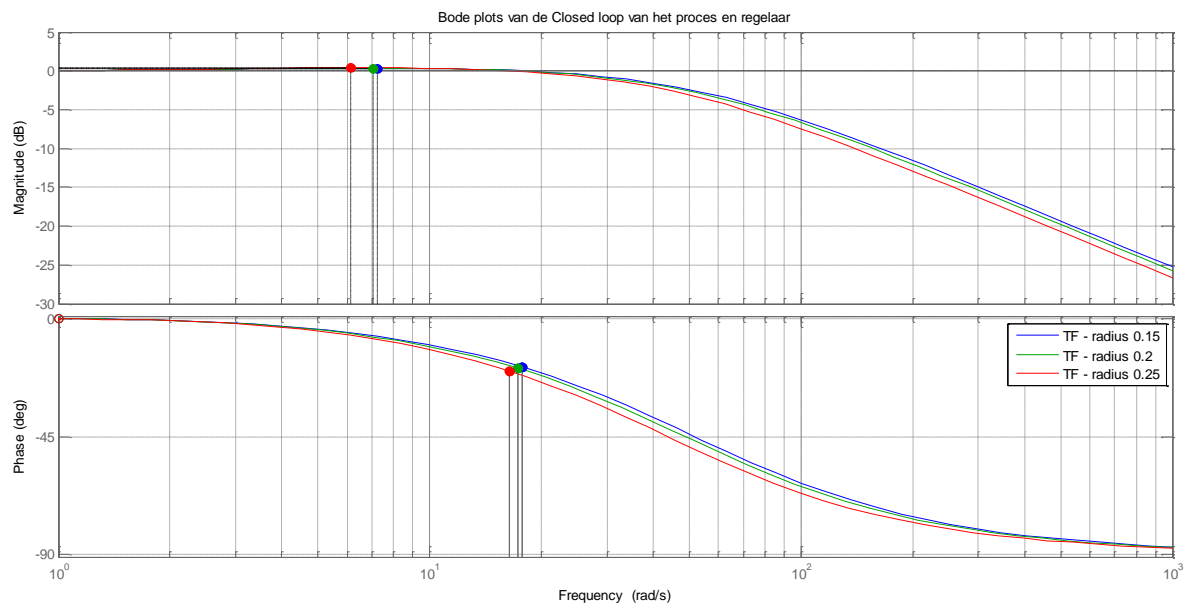
$$T_{w2} = \frac{1.36e27 s + 4.08e27}{2.639e25 s^2 + 2.72e24 s}$$

$$T_{w3} = \frac{1.36e27 s + 4.08e27}{2.939e25 s^2 + 2.72e24 s}$$

Dit systeem vertoont de volgende karakteristieke.



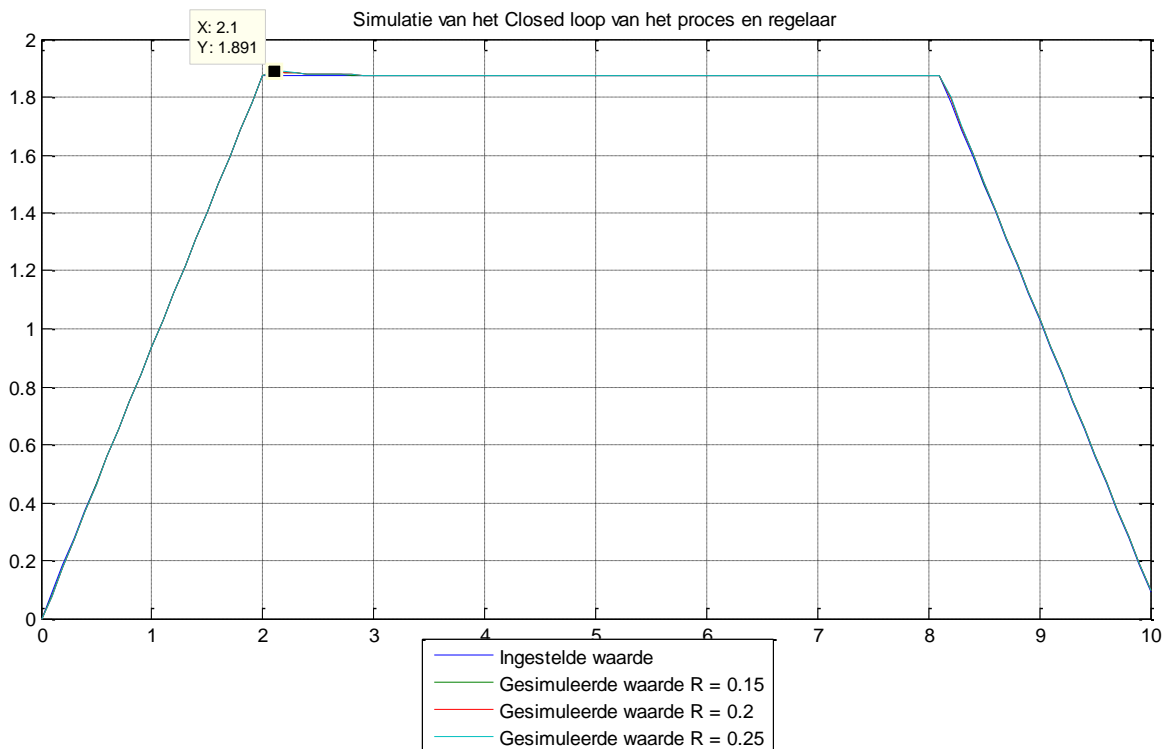
Figuur 6 Step respons van het gesloten terug gekoppelde systeem



Figuur 7 Bode diagram van het gesloten teruggekoppelde systeem

- RiseTime: 0.0354
- SettlingTime: 0.3643
- SettlingMin: 0.9028
- SettlingMax: 1.0413
- Overshoot: 4.1301
- Undershoot: 0
- Peak: 1.0413
- PeakTime: 0.1165

Zodra de transferfunctie getest wordt met het benodigde snelheid profiel zien we een goed volg gedrag.



4.3 OPWARMEN VAN DE SPINDEL

De spindel wordt opgewarmd in een klimaatkast. In deze behuizing zit een radiator. Deze verwarmt de lucht doormiddel van convectie. Met deze opgewarmde lucht en straling van radiator en behuizing wordt vervolgens een spindel opgewarmd. Deze spindel staat ook weer warmte af aan de behuizing doormiddel van straling. Het gehele proces kent verliezen in een vorm van inductie door de behuizing. Door gebruik te maken van isolatie worden deze beperkt.

Vanwege de complexiteit van dit proces is een model in Simulink gemoduleerd, deze is terug te vinden in bijlage XV. Vanuit dit model wordt een state-space-model verkregen. Deze wordt geconverteerd naar een transfer functie in het s-domein.

Omdat dit model alleen bepaald hoeveel energie er in de gehele spindel stroomt. Kan de temperatuur van de spindel beschouwd worden als een benaderend gemiddelde. De temperatuur gradatie in een spindel zelf, zal zeker bij grote temperatuur verschillen niet uniform zijn. Dit houdt in dat er een temperatuur verschil is bij de draad aan de buitenzijde ten opzichte van een draad in het midden van de spindel.

Hoewel het model de werkelijkheid goed benaderd bij kleine temperatuur verschillen, bijvoorbeeld bij het op temperatuur houden van de spindel zelf, zal bij grote temperatuur veranderingen een grote afwijking in de temperatuur gradatie optreden. In paragraaf 4.3.5 wordt bepaald dat een spindel eerst vier uur opgewarmd moet worden eer dat deze productie gereed is.

Omdat in hoofdstuk 4.2 bepaald is dat het proces van het afwikkelen van een spindel 160 [min] duurt kan er met een spindel behuizing geen continuerend productie plaatsvinden. Het is daarom raadzaam om minstens een extra opwarm-module te plaatsen. Deze kan aangestuurd worden met het regelprogramma. Zie bijlage VII waarin de correspondentie met de opdrachtgever geplaatst is over dit probleem.

4.3.1 Wiskundig model van het proces

Symbolenlijst

$\sigma \left[\frac{W}{m^2 K^4} \right]$ = Stefan-Boltzmann constant
 $h \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$ = convectie warmteoverdrachtscoëfficiënt
 $c_{p,air} \left[\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \right]$ = soortelijke warmte van lucht
 $c_{p,staal} \left[\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \right]$ = soortelijke warmte van staal
 $c_{p,sp} \left[\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \right]$ = soortelijke warmte van de spindel
ratio tussen lucht en staal in de spindel
 $\lambda_{iso} \left[\frac{W}{m \cdot ^\circ C} \right]$ = warmtegeledingscoëfficiënt van de isolatie
 $\lambda_{cas} \left[\frac{W}{m \cdot ^\circ C} \right]$ = warmtegeledingscoëfficiënt van de stalen behuizing
 $\epsilon_{fil}[-]$ = Emissivity ratio van de radiator

$\epsilon_{iso}[-]$ = Emissivity ratio van de isolatie
 $\epsilon_{sp}[-]$ = Emissivity ratio van de spindel
 $\eta[-]$ = rendement van de radiator
 $T_{air}(\tau)[^\circ C]$ = Temperatuur van spindel als een functie van tijd
 $T_{16^\circ C}[^\circ C]$ = Temperatuur van de buiten omgeving
 $m_{air}[kg]$ = massa van de lucht
 $dx_{iso}[m]$ = dikte van de isolatie
 $dx_{cas}[m]$ = dikte van de stalen behuizing
 $Q_{in,sp}$ = warmtestroom in de spindel
 $I[A]$ = stroomsterkte in de radiator
 $R[\Omega]$ = weerstand van de radiator

Het proces reguleert de temperatuur van een spindel door een stroomsterkte te regelen. Het model gaat uit van volgende differentiaal vergelijkingen. Het Simulink model is in Bijlage XV getoond.

$$\frac{dT_{air}(\tau)}{d\tau} \cdot m_{air} \cdot c_{p,air} = I^2 \cdot R \cdot \eta - \frac{T_{air}(\tau) - T_{16^\circ C}}{\frac{dx_{iso}}{\lambda_{iso} \cdot A_{iso}} + \frac{dx_{cas}}{\lambda_{cas} \cdot A_{cas}}} - Q_{in,sp}$$

Vergelijking 9 Differentiaal vergelijking voor het opwarmen van de lucht in de casing

$$\begin{aligned} \frac{dT_{sp}(\tau)}{d\tau} \cdot m_{sp} \cdot c_{p,sp} = & h \cdot A_{sp} \cdot (T_{sp}(\tau) - T_{air}(\tau)) + \epsilon_{fil} \cdot \sigma \cdot A_{fil} \cdot (T_{fil}(\tau)^4 - T_{sp}(\tau)^4) + \dots \\ & \epsilon_{iso} \cdot \sigma \cdot A_{iso} \cdot (T_{air}(\tau)^4 - T_{sp}(\tau)^4) - \epsilon_{sp} \cdot A_{sp} \cdot \sigma \cdot (T_{sp}(\tau)^4 - T_{air}(\tau)^4) \end{aligned}$$

Vergelijking 10 Differentiaal vergelijking voor het opwarmen van de spindel

Hierbij zijn de variabelen als volgt gedefinieerd:

$$\begin{aligned} \sigma &= 5.669 \times 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2 K^4} \right]; & \lambda_{iso} &= 0.087 \left[\frac{W}{m \cdot ^\circ C} \right]; \\ h &= 4.5 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]; & \lambda_{cas} &= 54 \left[\frac{W}{m \cdot ^\circ C} \right]; \\ c_{p,air} &= 1.0057 \left[\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \right]; & \epsilon_{fil} &= 0.526[-] \\ c_{p,staal} &= 0.473 \left[\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \right]; & \epsilon_{iso} &= 0.75[-] \\ c_{p,sp} &= 0.78 \cdot c_{p,staal} + 0.22 \cdot c_{p,air} = & \epsilon_{sp} &= 0.066[-] \\ 0.5902 \left[\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \right] & & \eta &= 0.7[-] \end{aligned}$$

De waarden zijn verkregen uit: (Holman, 2010)

4.3.2 Overdrachtsfunctie van het open loop proces

In Matlab kan doormiddel van de lineair analyse tool een state-space model verkregen worden, deze is als volgt:

$$A = \begin{bmatrix} -45.9779 & 26.1654 \\ 0.015 & -0.015 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 6.9054 \\ 1.6834E-12 \end{bmatrix}$$

$$C = [0 \quad 1]$$

$$D = [0]$$

$$\dot{x}(\tau) = A(\tau)x(\tau) + B(\tau)u(\tau)$$

$$y(\tau) = C(\tau)x(\tau) + D(\tau)u(\tau)$$

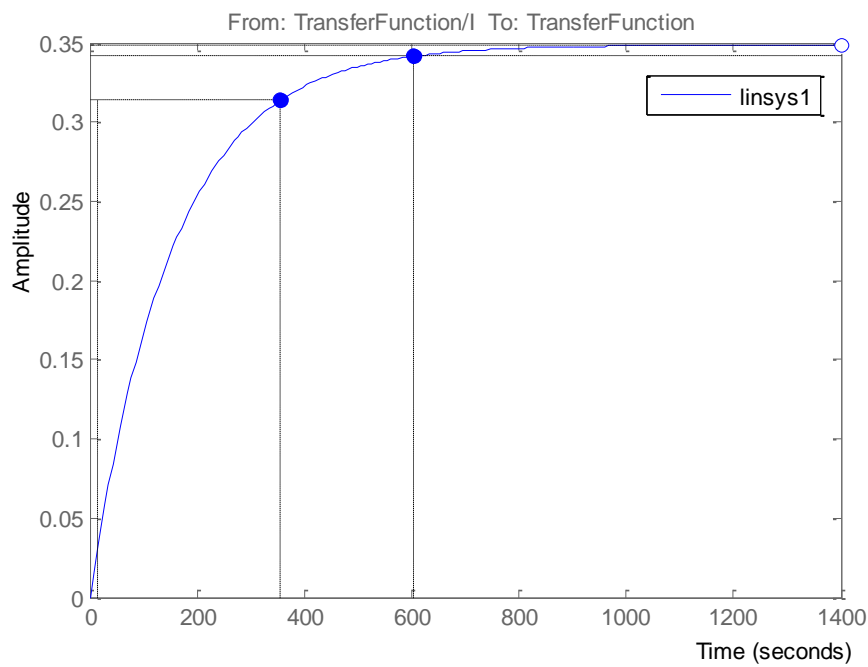
Deze state-space model kan omgezet worden naar de volgende transfer functie:

$$H(s) = \frac{-1.683e - 12 s + 0.1039}{s^2 + 45.99 s + 0.2981}$$

Vergelijking 11 Transfer functie van het opwarmen van de spindel

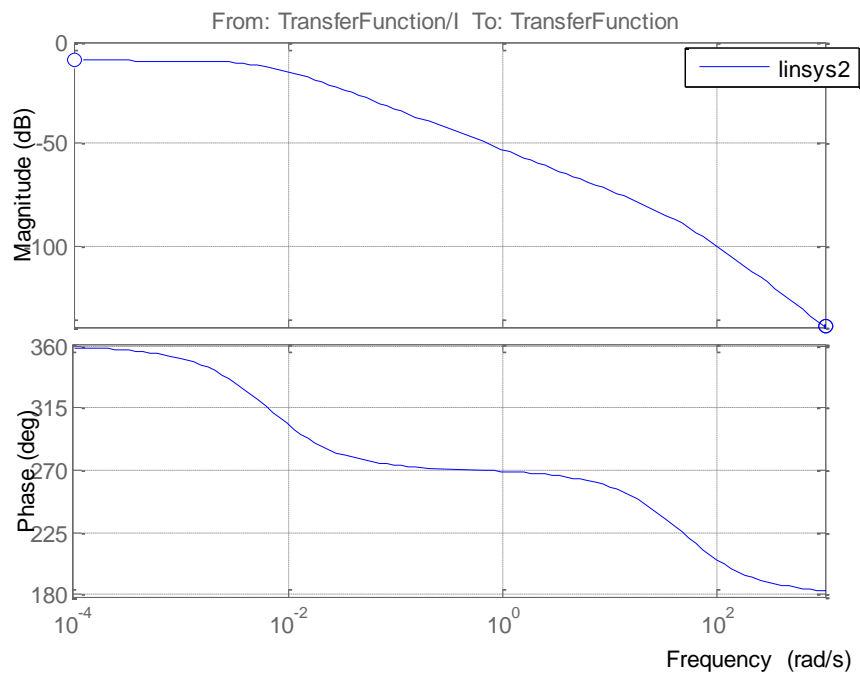
Hieruit wordt duidelijk het systeem zich gedraagt als een tweede order systeem.

Step respons van het opwarmen



Figuur 8 step respons van het opwarmen van de spindel

Bode diagram van het opwarmen



Figuur 9 Bode diagram van het opwarmen van de spindel

4.3.3 Bepalen van de overdrachtsfunctie van de regeling

Met de PID toolbox in Matlab 2013b is een onderstaande PI-regelaar geconstrueerd.

$$C(s) = P_k + P_i \cdot \frac{1}{s}$$

Vergelijking 12 PI-regelaar voor het opwarmen van een spindel

$$P_k = 278$$

$$P_i = 3.0586$$

4.3.4 Verwachte performance van het volledige systeem

De transfer functie van het teruggekoppeld gesloten systeem met deze PI-regelaar is:

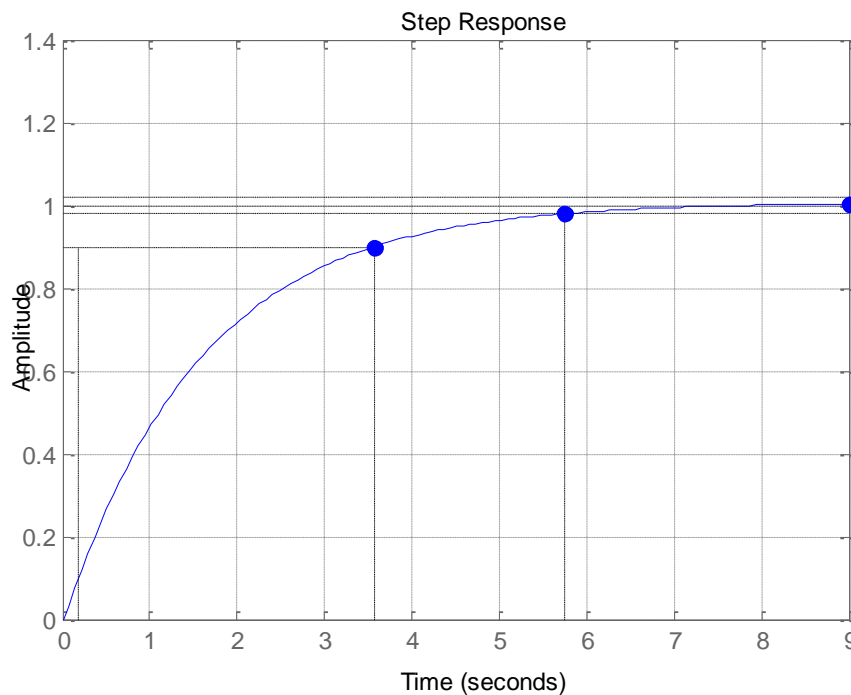
$$H(s) = \frac{-4.679 \times 10^{-10} s^2 + 28.88 s + 0.3176}{s^3 + 45.99 s^2 + 29.18 s + 0.3176}$$

Vergelijking 13 Totale overdracht functie

Vergelijking 13 kan dienst doen als de gesimuleerde transfer functie, welke in de besturing ingevoerd kan worden voor simulatie. Zie hoofdstuk 4.1.1 Met deze PI-regelaar heeft het systeem de volgende karakteristieken:

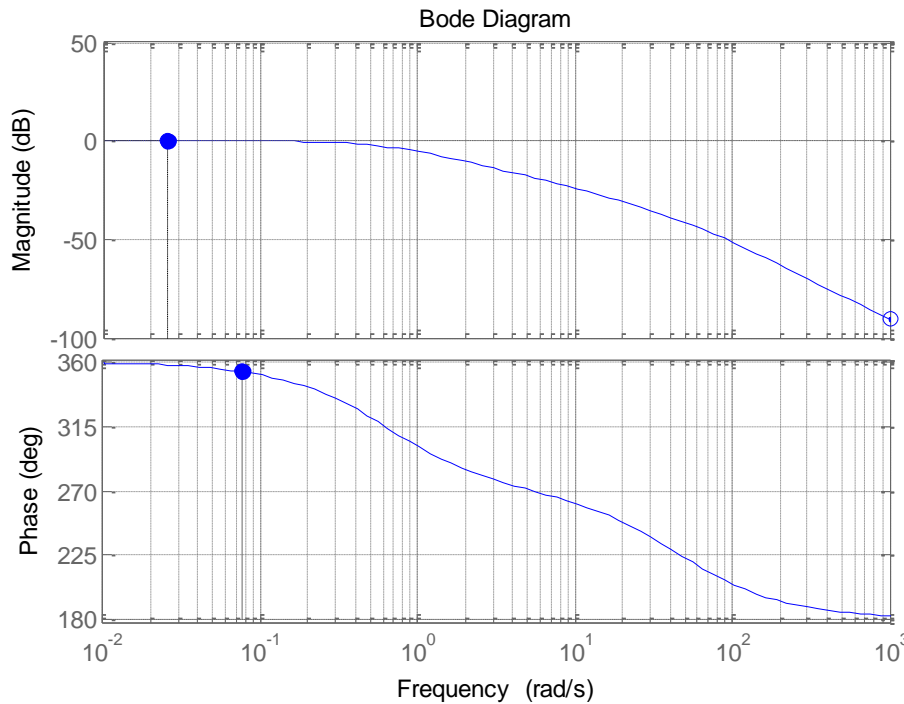
- RiseTime: 3.3776
- SettlingTime: 5.7444
- SettlingMin: 0.9002
- SettlingMax: 1.0056
- Overshoot: 0.5580
- Undershoot: 0
- Peak: 1.0056
- PeakTime: 10.8518

Step respons van het teruggekoppeld gesloten systeem voor het opwarmen van een spindel



Figuur 10 Step respons van het teruggekoppelde gesloten transfer functie voor het opwarmen van de spindel

Bode diagram van het teruggekoppelde gesloten system voor het opwarmen van een spindel



Figuur 11 Bode diagram van het teruggekoppelde gesloten transfer functie voor het opwarmen van de spindel

4.3.5 Uniforme spindel temperatuur

Het hierboven omschreven proces vertelt een gemiddelde benaderde temperatuur van de spindel. Vanwege de dimensies van deze spindel zal de temperatuur gradatie in deze spindel niet uniform zijn. Zoals in hoofdstuk 4.3 beschreven wordt, wordt deze spindel voornamelijk opgewarmd door convectie. Deze warmteoverdracht vindt plaats op de huid van een spindel. Warmte welke hier wordt overgedragen, wordt door conductie naar de koudere kern van een spindel getransporteerd.

Doordat een thermische geleidbaarheid van een spindel aanzienlijk groter is dan de convectie warmte overdracht coëfficiënt kan er met behulp van de oplossingsmethodiek: “een overgaande warmtestroom in een semi-oneindig grootte massa”, bepaald worden hoe een temperatuur gradatie zich gedraagt als een functie van tijd. Deze methodiek is beschreven in (Holman, 2010). Hierbij wordt de temperatuur gradatie in de spindel omschreven als een partiële afgeleide van een functie van tijd en positie.

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial \tau}$$

Vergelijking 14

Waarbij de grens- en startcondities als volgt zijn:

$$\begin{aligned} T(x, 0) &= T_i \\ T(0, \tau) &= T_0 \text{ for } \tau > 0 \end{aligned}$$

Doormiddel van de Laplace transformatie kan deze functie omschreven worden als

$$\frac{T(x, \tau) - T_0}{T_i - T_0} = \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{\alpha \tau}}$$

Vergelijking 15

De Gauss error functie is hierbij gedefinieerd als:

$$\operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{\alpha \tau}} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{x}{2\sqrt{\alpha \tau}}} e^{-\eta^2} d\eta$$

Vergelijking 16

Door Vergelijking 15 te herschrijven kan temperatuur als een functie van positie en tijd verkregen worden:

$$T(x, \tau) = T_0 + (T_i - T_0) \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{x}{2\sqrt{\alpha \tau}}} e^{-\eta^2} d\eta$$

Vergelijking 17

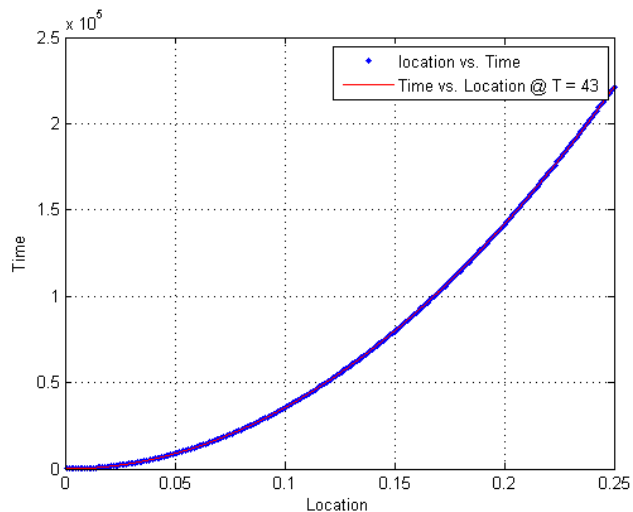
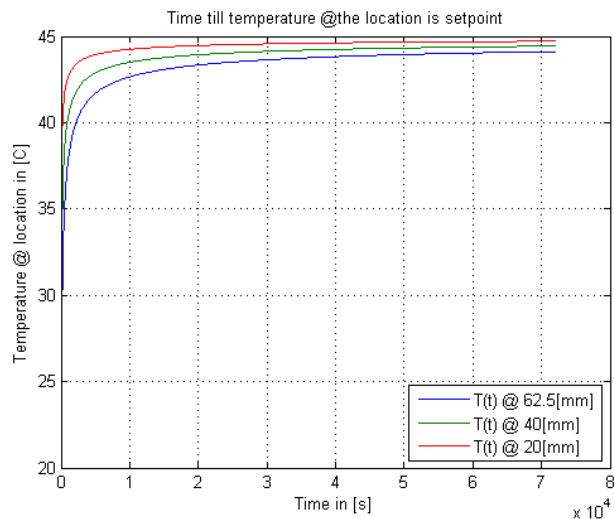
Voor deze case weten we dat:

$$T_0 = T_{\text{ambient}} = 20[^\circ\text{C}]$$

$$T_i = T_{\text{setpoint}} = 45[^\circ\text{C}]$$

$$\alpha = 1.4E-5 \left[\frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right]$$

In de grafiek hiernaast zijn de op drie locaties in een spindel de temperatuur als een functie van tijd uitgezet. Hieruit blijkt dat dat het tot een enkele tientallen uren kan duren, eer dat de gehele spindel $45[^\circ\text{C}]$ zal zijn. Omdat dit geen werkbare situatie is wordt er aangeraden de spindel eerst 4 uur voor te verwarmen in een aparte behuizing. Op dat moment is de temperatuur van de draden op de buitenste lagen op de setpoint temperatuur. Op het verste punt van de huid is de spindel dan $43[^\circ\text{C}]$. Er kan nu productie gedraaid worden met deze spindel, want verdere opwarming vind plaats tijdens het afwikkelen van de spindel.



Doordat de diameter van de spindel kleiner wordt naarmate het afwikkelen vordert zal de warmte steeds makkelijker penetreren. De temperatuur op het verst gelegen punt van de huid zal daarom ten tijden van de productie op 45[°C] uitkomen. Zie bijlage VII voor de uitwerking en bijlage VIII Voor correspondentie over deze eis.

Kaandam engineering kan alleen een productie temperatuur van 45[°C] garanderen mits deze spindel vier uur is opgewarmd in een (aparte) behuizing waar de temperatuur 45[°C] is

4.4 SIMULATIE VAN HET SYSTEEM IN LABVIEW MET GEBRUIK VAN MATLAB

Het besturingsprogramma heeft een mogelijkheid tot simulatie van het proces. Om deze simulatie uit te kunnen voeren zal Matlab 2013b op de computer geïnstalleerd moeten zijn. Meegeleverd met het besturingsprogramma is een installer voor het programma SimTF. Welke communicatie tussen Labview en Matlab verzorgt. Zie bijlage VIII voor de code van de DLL (Dynamic Link Library). Deze DLL is geschreven KaanDam Engineering en verzorgt de communicatie tussen Labview en Matlab.

ENKELE OPMERKING OVER HET SIMULEREN VAN TRANSFER FUNCTIES IN LABVIEW

Deze opmerking behoort niet tot het ontwerprapport en is geschreven uit het oogpunt van een student.

In het blok dH7 wordt er van ons studenten verwacht dat we in Matlab een transfer functie modeleren en in Labview een besturing schrijven. De student wordt beoordeeld op het simuleren van deze transfer functie in het zelf geschreven besturingsprogramma. Labview 2013 biedt bij mijn weten alleen een betaalde mogelijkheid voor het simuleren van een Transfer Functies. Studenten hebben dus geen legale gratis mogelijkheid om dit netjes uit te voeren.

In de praktijk komt dit neer op het terug transformeren van het s-domein naar het t-domein waarna t-domein waardes verkregen kunnen worden door de huidige tijd in de verkregen e-macht functie in het t-domein in te voeren. Dit is technisch gezien geen simulatie. Matlab daarin tegen heeft wel een mogelijkheid tot het simuleren van een transfer functie met het commando "lsim".

Omdat in Labview een mogelijkheid bestaat voor het uitvoeren van .NET dynamic link library's en Matlab aangestuurd kan worden vanuit een C#.NET taal heb ik een kleine "wrapper" geschreven welke als rosseta steen tussen deze twee programma geplaatst is en de onderlinge vertaling verzorgt.

Deze code is bijgevoegd in bijlage VIII Deze is vrijgegeven onder een open source MIT licentie. Ook heb een kleine installer geschreven waarmee een student deze dll kan installeren op zijn/haar computer.

Vanwege tijdgebrek ga ik geen nazorg en updates verzorgen ook kan ik niet garanderen dat deze wrapper op een andere computer dan die van mij zal werken. Deze wrapper is geschreven en gecompileerd voor Labview 2013 en Matlab 2013b en heeft beide programma's nodig. Wellicht is het een idee om een ICA student te vragen om deze tool robuuster te (her)schrijven zodat deze gratis aan volgende generaties student verstrekt kan worden. Ambitieuze WTB studenten kunnen ook meegeleverde code op hun computer compileren met verwijzingen naar hun Matlab versie. Dit kan met een gratis versie van Visual Studio voor C#.

Jelle Spijker

P.S. Mochten wij een andere examinerator dan B. Hodzelmans toegekend krijgen dat verwijst ik u door naar de heer Hodzelmans voor eerder overeenkomen afsnaken :-)

In Labview kan er als volgt gebruik gemaakt worden van transfer functie simulator.

- Zorg dat Matlab 2013b geïnstalleerd is op het systeem.
- Installeer de met dit ontwerprapport meegeleverde installer Setup.exe
 - Deze schrijft een file SimTF.dll naar de GAC (Global Assembly Cache) Hierdoor is deze dll oproepbaar in Labview.
 - In de “mijn document” map van de gebruiker installeert hij de broncodes en de door ons geschreven VI voor Labview waarin de werking aangetoond wordt. Ook wordt er in deze directory een 2 dll files geplaatst welke los gebruikt kunnen worden in Labview.
- Zie documentatie van Labview voor het aanroepen van een .NET dll
 - Plaats de VI .NET constructor
 - Selecteer de juiste assembly **SimTF.dll**
 - Vul de “**num**” en “**den**” properties met een VI. Dit zijn double arrays
 - Roep de methode “**setTFtoMatlabEnviroment**” aan
 - Doe de werkelijke simulatie met de methode SimTF
 - Input parameters zijn een:
 - **Uvector** (input van de transfer)
 - **Tvector**(tijd)
 - **Dt** (gesimuleerde stap grote)
 - Omdat Labview geen accurate timing in zijn loops heeft, de U en T vector even groot moeten zijn en deze T vector een vector welke “evenly spaced” moet zijn (0:dt:eind). Moet de gebruiker de verwachte dt opgeven. Deze inputparameter zorgt voor een genormaliseerde vector. Dt is de gewenste stap grote. Zie sample programma hieronder.
 - Output is een double vector

5 CONCLUSIE

Bij het ontvangen van de opdracht van Coil Machines lag er voor de ingenieurs van KaanDam ingenieurs een mooie uitdaging voor de verdere uitwerking van het ontwerp van de draadtoevoermachine. Dit was zowel terug te vinden in de selectie van componenten om de machine werkend te krijgen, maar ook in de automatisering.

Voor de automatisering is er op regeltechnisch en besturingstechnisch vlak een gedegen ontwerp geschreven waarbij eenvoud, gebruiksgemak en bedrijfszekerheid voorop staan. Deze drie definities zijn ook gehanteerd bij de selectie van componenten. Het belangrijkste doel wat er door Coil Machines, maar ook door KaanDam ingenieurs, gesteld werd: een goed en degelijk product op de markt zetten wat voldoet aan de hedendaagse techniek.

Terugkijkend op het boven gestelde verwachtingspatroon ligt er volgende de ingenieurs van KaanDam een ontwerp wat ruimschoots aan het verwachtingspatroon voldoet.

6 BIBLIOGRAFIE

Holman, J. P. (2010). *Heat Transfer*. New York: Mc Graw Hill.

van Eijden, J. (2013). studiehandleiding DH7. HAN.

BIJLAGE I: PLAN VAN AANPAK

Zie extern document

BIJLAGE II: PAKKET VAN EISEN

Zie extern document

BIJLAGE III: METHODISCH PRODUCT ONTWERP

Zie extern document

BIJLAGE IV: COMPONENTEN SELECTIE

Zie extern document

BIJLAGE V: ONTWERP REGELING VOOR HET AFWIKKELEN VAN EEN SPINDEL

REGELTECHNIEK AFWIKKELEN VAN EEN SPINDEL

```
%{
* ft_3(t) = omega van de spindel [rad/s]
* t = tijd [s]
* s = laplace transform van tijd [-]
* FT3 = laplace transform omega van de spindel [-]
* U = Input spanning [V]
%}
clear all;
syms ft_3(t) t s FT3 U
km = 1; %motor constante [-]
Ra = 0.5; %weerstand over de spoel [Ohm]
FrictionC = 0.4; % friction van de spindel [-]
RadiusInC = 0.125; % binnen radius spindel [m]
RadiusOutC = [0.15 0.2 0.25]; % buiten radius spindel [m]
Hoogte_spindel = 0.5; % Hoogte van de spindel [m]
rho_staal = 7800; % Soortelijke massa van staal [kg/m^3]
Ratio_draad = 0.78; % verhouding tussen v_draad en v_spindel [-]
Mass_spindel = pi/4 * ((2 * RadiusOutC).^2 - (2 * RadiusInC).^2) * Hoogte_spindel * rho_staal
* Ratio_draad; % massa van de spindel [kg]
J2_riem = 0.959e-6; % Massatraagheid riem [kg * m^2]
J3_pulley = 41e-6; % Massatraagheid pulley [kg * m^2]
J3_spindel = (1/2) * Mass_spindel * (RadiusInC^2 + RadiusOutC.^2); % massatraagheid spindel
[kg * m^2]
i_overbreng = 5; % overbrengingsverhouding [-]
etha = 0.9; % verliezen
```

OPSTELLEN VAN DE DIFFERENTIAAL VERGELIJKING

```
%{ De termen voor het moment van de draad, encoder en torsie van de as. Deze termen zijn
verwaarloosbaar.
%}
M_motor = ((U - km * diff(ft_3(t), 1, t)) / Ra) * km;
M_spindel = diff(ft_3(t), 1, t) * ((J3_pulley + J3_spindel) / i_overbreng^2);
M_friction = FrictionC * ft_3(t);
M_overbreng = diff(ft_3(t), 1, t) * (J2_riem / i_overbreng^2);
DV = M_motor == etha * (M_spindel + M_friction + M_overbreng);
```

LAPLACE TRANSFORMATIE

```
L = laplace(DV, t, s);
L = subs(L, {'ft_3(0)', 'D(ft_3)(0)', 'laplace(ft_3(t), t, s)', 'ft_1(0)', 'laplace(ft_1(t),
t, s)'}, {0, 0, 'FT3', 0, 'FT1'})
```

L =

```
[ (2*U)/s - 2*FT3*s == (9*FT3)/25 + (394438754947686355080783*FT3*s)/302231454903657293676544,  
(2*U)/s - 2*FT3*s == (9*FT3)/25 + (451303004929132426073679*FT3*s)/302231454903657293676544,  
(2*U)/s - 2*FT3*s == (9*FT3)/25 + (571205337747153002075727*FT3*s)/302231454903657293676544]
```

OVERDRACHTSFUNCTIE VAN HET PROCES Hp(s)

```
%{  
    U    |-----| omega_spindel  
---->|  Hp(s)  |----->  
      |-----|  
%}  
  
for ii = 1:3  
    FT3_eqn(ii) = solve(L(ii), FT3);  
    H_eqn(ii) = simplify(FT3_eqn(ii) * (1/U));  
    Hp(ii) = syms2tf(H_eqn(ii));  
end  
Hp  
step(Hp(1),Hp(2), Hp(3))  
title('Step plots van de Transfer Functies')  
legend('TF - radius 0.15', 'TF - radius 0.2', 'TF - radius 0.25', 'Location', 'Northwest')  
grid on
```

Hp =

From input 1 to output:
1.511e25

2.497e25 s^2 + 2.72e24 s

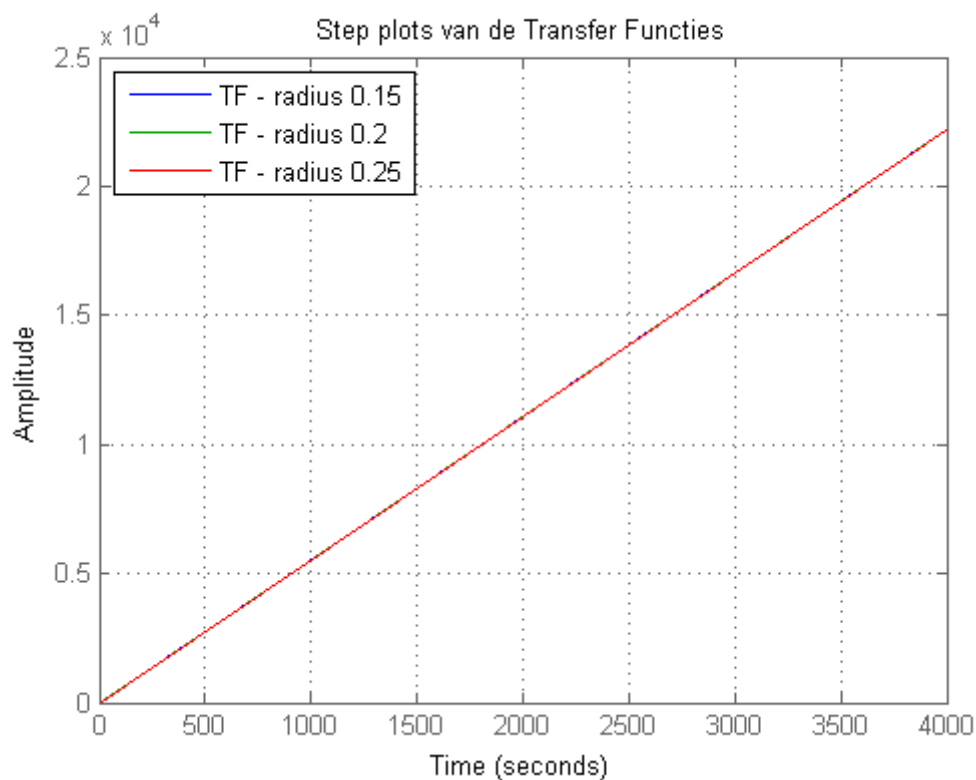
From input 2 to output:
1.511e25

2.639e25 s^2 + 2.72e24 s

From input 3 to output:
1.511e25

2.939e25 s^2 + 2.72e24 s

Continuous-time transfer function.



OVERDRACHTSFUNCTIE VAN DE REGELAAR

Samengesteld met SiSoTool

```
z = [-3]; % Zeros
p = [ ]; % Poles
k = 90; % Gain
c = tf(zpk(z,p,k))
```

C =

90 s + 270

Continuous-time transfer function.

BODE DIAGRAM VAN OPEN LOOP SYSTEM MET REGELAAR

```
T_w1 = C * Hp(1)
T_w2 = C * Hp(2)
T_w3 = C * Hp(3)
bode(T_w1, T_w2, T_w3)
title('Bode plots van de Closed loop van het proces en regelaar')
legend('TF - radius 0.15', 'TF - radius 0.2', 'TF - radius 0.25', 'Location', 'Southwest')
grid on
```

T_w1 =

$$\frac{1.36e27 \text{ s} + 4.08e27}{2.497e25 \text{ s}^2 + 2.72e24 \text{ s}}$$

Continuous-time transfer function.

T_w2 =

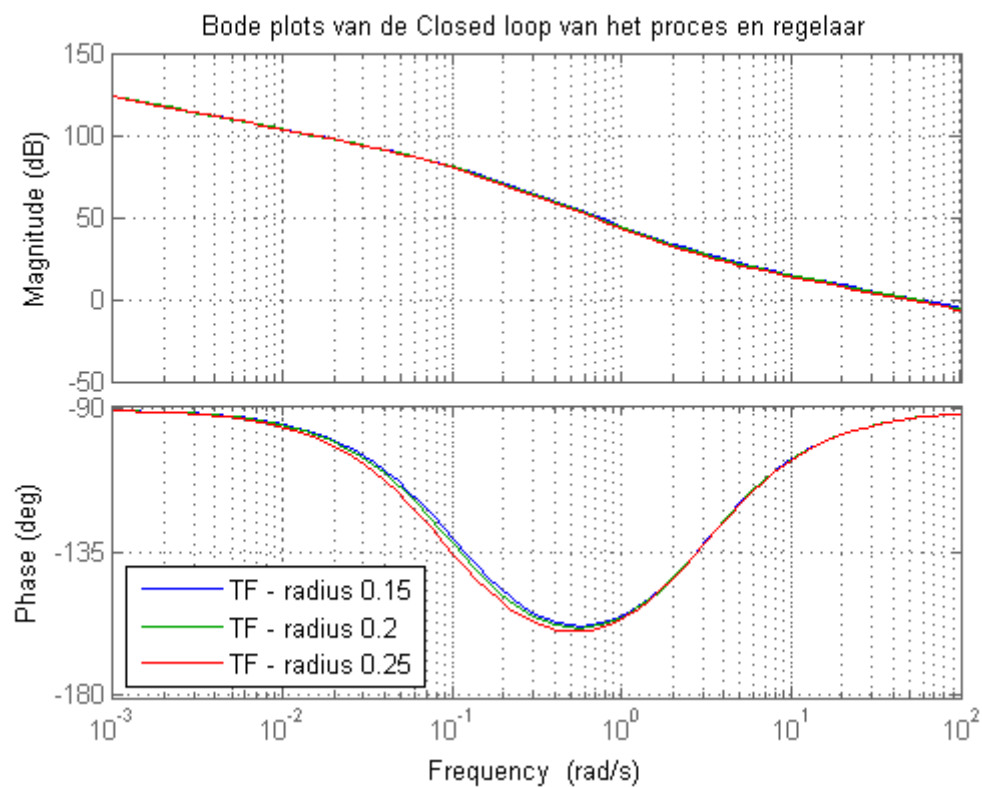
$$\frac{1.36e27 \text{ s} + 4.08e27}{2.639e25 \text{ s}^2 + 2.72e24 \text{ s}}$$

Continuous-time transfer function.

T_w3 =

$$\frac{1.36e27 \text{ s} + 4.08e27}{2.939e25 \text{ s}^2 + 2.72e24 \text{ s}}$$

Continuous-time transfer function.



CLOSED LOOP SYSTEM VAN HET PROCES EN REGELAAR

```
T1 = feedback(C * Hp(1), 1)
T2 = feedback(C * Hp(2), 1)
T3 = feedback(C * Hp(3), 1)
```

T1 =

$$\frac{1.36e27 \text{ s} + 4.08e27}{2.497e25 \text{ s}^2 + 1.363e27 \text{ s} + 4.08e27}$$

Continuous-time transfer function.

T2 =

$$\frac{1.36e27 \text{ s} + 4.08e27}{2.639e25 \text{ s}^2 + 1.363e27 \text{ s} + 4.08e27}$$

Continuous-time transfer function.

T3 =

$$\frac{1.36e27 \text{ s} + 4.08e27}{2.939e25 \text{ s}^2 + 1.363e27 \text{ s} + 4.08e27}$$

Continuous-time transfer function.

STEP VAN HET CLOSED LOOP SYSTEEM VAN HET PROCES EN REGELAAR

```
step(T1, T2, T3)
title('Step plots van de Closed loop van het proces en regelaar')
legend('TF - radius 0.15', 'TF - radius 0.2', 'TF - radius 0.25', 'Location', 'Northwest')
grid on
stepinfo(T1)
stepinfo(T2)
stepinfo(T3)
```

ans =

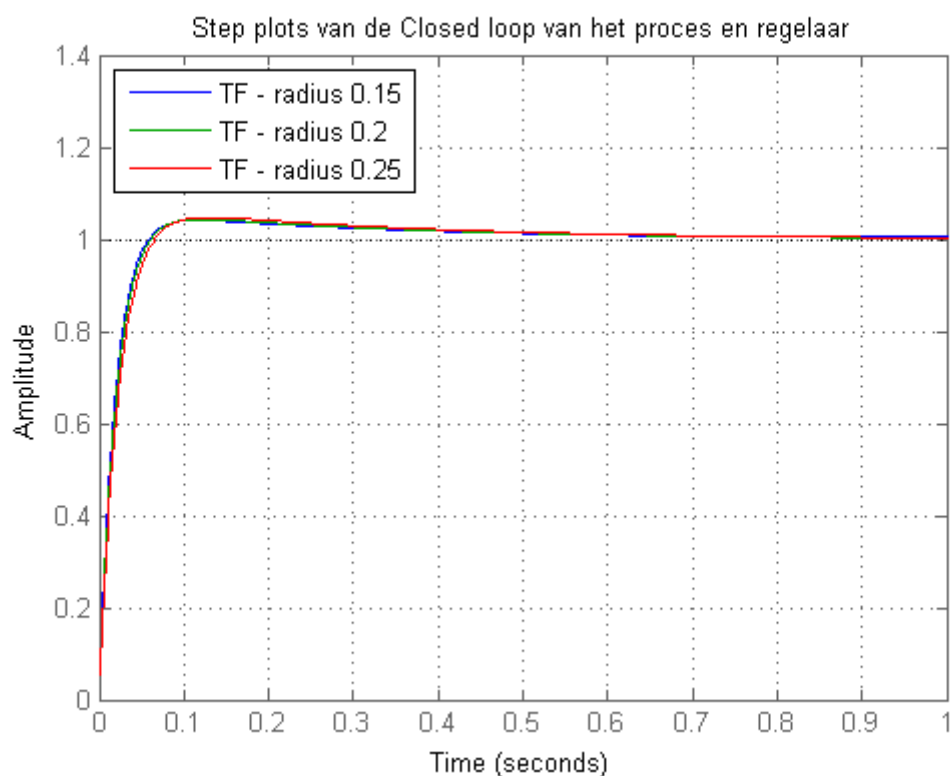
```
      RiseTime: 0.0354
SettlingTime: 0.3643
SettlingMin: 0.9028
SettlingMax: 1.0413
      Overshoot: 4.1301
      Undershoot: 0
           Peak: 1.0413
      PeakTime: 0.1165
```

ans =

```
RiseTime: 0.0371
SettlingTime: 0.3846
SettlingMin: 0.9057
SettlingMax: 1.0433
Overshoot: 4.3345
Undershoot: 0
Peak: 1.0433
PeakTime: 0.1207
```

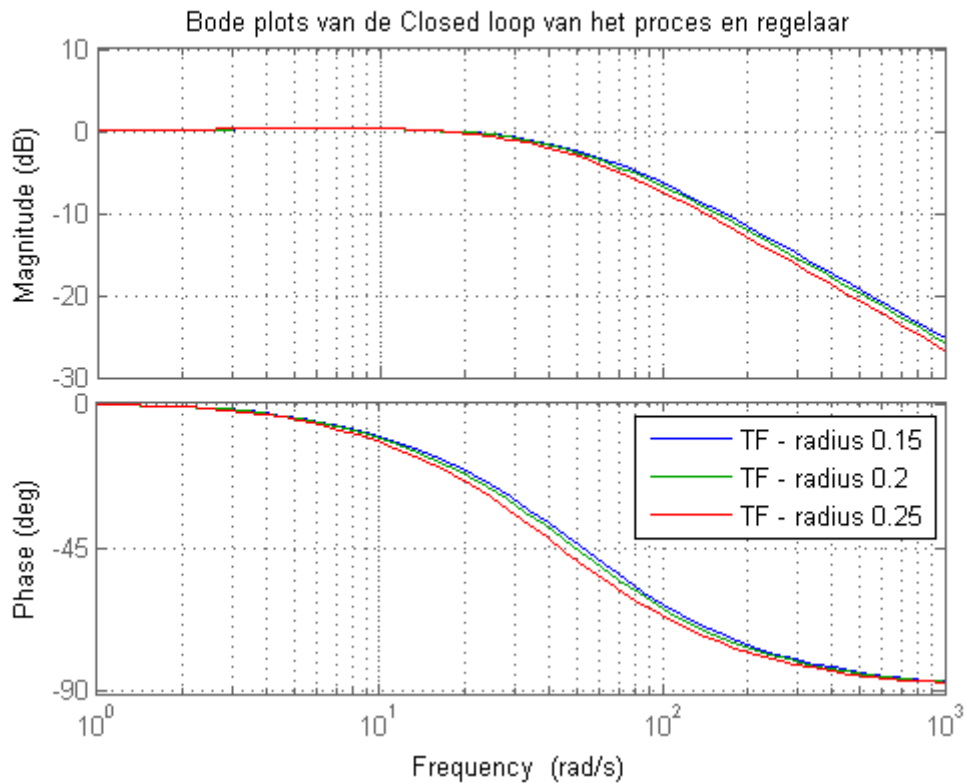
ans =

```
RiseTime: 0.0408
SettlingTime: 0.4240
SettlingMin: 0.9048
SettlingMax: 1.0476
Overshoot: 4.7557
Undershoot: 0
Peak: 1.0476
PeakTime: 0.1302
```



BODE VAN HET CLOSED LOOP SYSTEEM VAN HET PROCES EN REGELAAR

```
bode(T1, T2, T3)
title('Bode plots van de Closed loop van het proces en regelaar')
legend('TF - radius 0.15', 'TF - radius 0.2', 'TF - radius 0.25', 'Location', 'NorthEast')
grid on
```



THE CLOSED LOOP SYSTEM SIMULATED IN T = 10 [s]

```
%input = zeros(length(t_as),1);

u_max = 3/1.6;

t_start = 0:0.1:2;
u_start = t_start * (u_max/2);

t_cont = 2.1:0.1:8;
u_cont = ones(1, length(t_cont)) * u_max;

t_end = 2:-0.1:0.1;
u_end = t_end * (u_max/2);

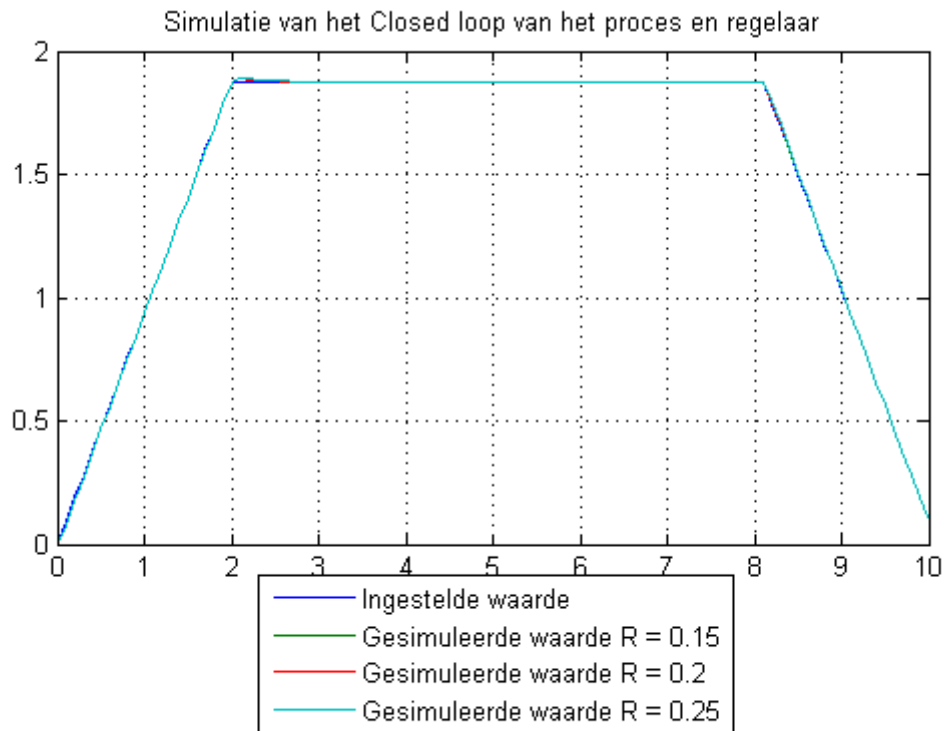
t_axis = 0:0.1:10;
in_axis = [u_start u_cont u_end];
out_axis1 = lsim(T1, in_axis, t_axis);
out_axis2 = lsim(T2, in_axis, t_axis);
out_axis3 = lsim(T3, in_axis, t_axis);
```



```

plot(t_axis, in_axis, t_axis, out_axis1, t_axis, out_axis2, t_axis, out_axis3);
title('Simulatie van het Closed loop van het proces en regelaar')
legend('Ingestelde waarde', 'Gesimuleerde waarde R = 0.15', 'Gesimuleerde waarde R = 0.2',
'Gesimuleerde waarde R = 0.25', 'Location', 'SouthOutside')
grid on

```



Published with MATLAB® R2013b

BIJLAGE VI: TEMPERATUUR IN DE SPINDEL

TEMPERATURE GRADIATION BEHAVIOUR IN THE SPINDLE

This shows the temperature as a function in time at three points from the surface of the spindle

```
T = @(tau, x) 45 + (20-45)*erf(x/(2*sqrt(1.4e-5 * tau))); % Creates the function

%Set the time matrix for 20 hours
x = 0:60:20*3600;

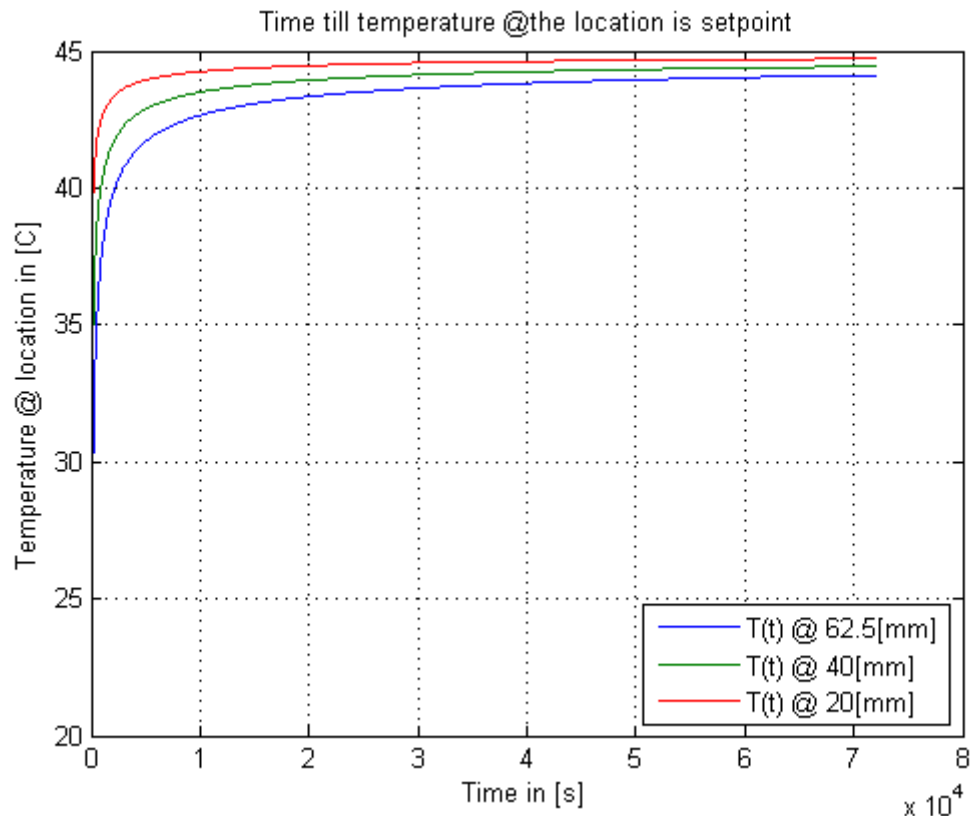
%sets the location @ 62.5 [mm], the furthers point from the surface
y625 = x;
y625(1) = T(0, 0.0625);

%sets the location @ 40 [mm]
y400 = x;
y400(1) = T(0, 0.04);

%sets the location @ 20 [mm]
y200 = x;
y200(1) = T(0, 0.02);

%Calculates the T(tau) function @ the three locations
for ii = 1:length(x)-1
    y625(ii+1) = T(ii*60, 0.0625);
    y400(ii+1) = T(ii*60, 0.04);
    y200(ii+1) = T(ii*60, 0.02);
end

%Plots the three functions
plot(x, y625, x, y400, x, y200)
grid on
title({'Time till temperature @the location is setpoint'});
legend('T(t) @ 62.5[mm]', 'T(t) @ 40[mm]', 'T(t) @ 20[mm]', 'Location','SouthEast');
xlabel({'Time in [s]'});
ylabel({'Temperature @ location in [C]'});
```



ACCEPTABLE TEMPERATURE GRADIENT LOCATION VS TIME

Create a function that shows how long it takes at a location when it reaches 43[C]

```
loc = 0.001:0.001:0.250;
Time = zeros(1, 250);
syms tau;
for ii = 1:1:250
    Time(ii) = vpasolve(T(tau, loc(ii)) == 43, tau ,1000);
end

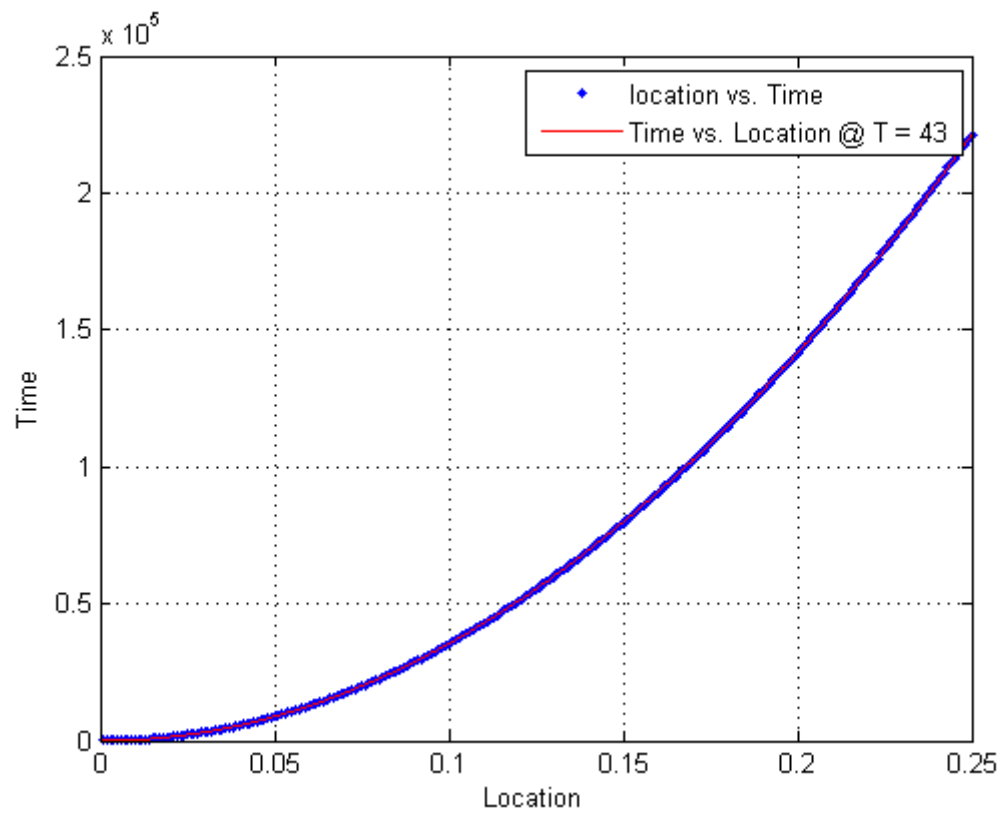
[xData, yData] = prepareCurveData( loc, Time );

% Set up fittype and options.
ft = fittype( 'power1' );
opts = fitoptions( 'Method', 'NonlinearLeastSquares' );
opts.Display = 'Off';
opts.StartPoint = [3540648.92578817 2];

% Fit model to data.
[fitresult, gof] = fit( xData, yData, ft, opts );

% Plot fit with data.
figure( 'Name', 'Time vs. Location @ T = 43' );
h = plot( fitresult, xData, yData );
legend( h, 'location vs. Time', 'Time vs. Location @ T = 43', 'Location', 'NorthEast' );
% Label axes
xlabel( 'Location' );
```

```
ylabel( 'Time' );  
grid on
```



TIME IT TAKES WHEN THE SPINDLE IS AT AN ACCEPTABLE TEMPERATURE IN [HOURS]

```
fitresult(0.0625)/3600
```

ans =

3.8418

Published with MATLAB® R2013b

BIJLAGE VII: CORRESPONDENTIE OPWARMEN SPINDEL

Gmail - dH7 - eis gesteld voor het opwarmen van een spindel (Gro... <https://mail.google.com/mail/u/0/?ui=2&ik=989422efcc&view=p...>



Jelle Spijker <spijker.jelle@gmail.com>

dH7 - eis gesteld voor het opwarmen van een spindel (Groep Jelle Spijker en Ruben van Wiefferen)

Eijden Johan van <Johan.vanEijden@han.nl>

7 januari 2014 09:28

Aan: Jelle Spijker <spijker.jelle@gmail.com>

Cc: "Wieveren, Ruben van" <rubenvanwiefferen@gmail.com>

Jelle en Ruben,

Ik had zelf verwacht dat dat iets korter zou zijn. Jullie advies zal ik ter harte nemen.

Met vriendelijke groet,

Johan van Eijden
Kamer B2.82
tel : 026-3658159

Hogeschool Arnhem en Nijmegen
Ruitenberglaan 26
6826 CC Arnhem

From: Jelle Spijker [<mailto:spijker.jelle@gmail.com>]

Sent: Monday, January 06, 2014 7:24 PM

To: Eijden Johan van

Cc: Wieveren, Ruben van

Subject: dH7 - eis gesteld voor het opwarmen van een spindel (Groep Jelle Spijker en Ruben van Wiefferen)

Beste Johan,

In de gesprekken tijdens het projectuur is er aangegeven dat u de wenst heeft een spindel binnen twee uur op te warmen. Wij hebben de vrijheid genomen om uit te reken welke tijd er minimaal nodig is om een spindel binnen een uniforme temperatuur gradatie op te warmen en wij komen uit op een tijdsbestek van 4,5 uur. Na 4,5 uur heeft deze spindel een acceptabele uniforme temperatuur en kunnen wij garanderen dat de draad 45 graden is tijdens productie. (Zie berekeningen in meegestuurde pdf).

Omdat tijdens het productieproces van een dergelijke spindel in 4 uur afgewikkeld wordt raden wij u aan om een aparte pre-heater aan te schaffen. Hiermee bent u verzekerd van een continuerend productie proces.

Indien u nu of op een later tijdstip een extra pre-heater wenst aan te schaffen dan zal onze regelaar deze kunnen aansturen.

Met vriendelijke groet,
With best regards,
Cordiali saluti,
Mit freudlichen Gruessen,

Jelle Spijker



Private: Spijker.jelle@gmail.com
Work: j.spijker@ihcmerwede.com
School: J.spijker@student.han.nl
[+31\(0\)6-43272644](tel:+31(0)6-43272644)

BIJLAGE VIII: CODE VOOR DE SIMULATIE VAN EEN TRANSFER FUNCTION IN MATLAB VANUIT LABVIEW

```
/*
The MIT License (MIT)

Copyright (c) 2013 Jelle Spijker

Permission is hereby granted, free of charge, to any person obtaining a copy
of this software and associated documentation files (the "Software"), to deal
in the Software without restriction, including without limitation the rights
to use, copy, modify, merge, publish, distribute, sublicense, and/or sell
copies of the Software, and to permit persons to whom the Software is
furnished to do so, subject to the following conditions:

The above copyright notice and this permission notice shall be included in
all copies or substantial portions of the Software.

THE SOFTWARE IS PROVIDED "AS IS", WITHOUT WARRANTY OF ANY KIND, EXPRESS OR
IMPLIED, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO THE WARRANTIES OF MERCHANTABILITY,
FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE AND NONINFRINGEMENT. IN NO EVENT SHALL THE
AUTHORS OR COPYRIGHT HOLDERS BE LIABLE FOR ANY CLAIM, DAMAGES OR OTHER
LIABILITY, WHETHER IN AN ACTION OF CONTRACT, TORT OR OTHERWISE, ARISING FROM,
OUT OF OR IN CONNECTION WITH THE SOFTWARE OR THE USE OR OTHER DEALINGS IN
THE SOFTWARE.
*/

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;

namespace JelleMath
{
    public class SimTF
    {
        #region Matlab Commands
        /// <summary>
        /// The Matlab command to create the Transfer Function
        /// </summary>
        private const string STR_SysTfnumDen = "sys = tf(num, den);";
        /// <summary>
        /// The Matlab simulate command
        /// </summary>
        private const string STR_SresLsimsysUvectorTvector = "Yarray = lsim(sys,
Uvector, Tvector)";
        #endregion

        #region Fields

        private MLab.MLab MWinstance;

        private string _result;

        private Double[] _num;

        private Double[] _den;

        #endregion

        #region Properties
```

```

    /// <summary>
    /// Last Matlab results as a string
    /// </summary>
    public string Result
    {
        get
        {
            return _result;
        }
        set
        {
            _result = value;
        }
    }

    /// <summary>
    /// Numerator coefficients of the transfer function polynomial
    /// </summary>
    public Double[] num
    {
        get { return _num; }
        set { _num = value; }
    }

    /// <summary>
    /// Denominator coefficients of the transfer function polynomial
    /// </summary>
    public Double[] den
    {
        get { return _den; }
        set { _den = value; }
    }
}

#endregion

#region Constructors
    /// <summary>
    /// Standard Constructor to initiate the class
    /// </summary>
    public SimTF()
    {
        // Inits the Matlab app
        MWinstance = new MLab.MLab();
    }

    /// <summary>
    /// Overload constructor that takes the transfer function as input and
    initiate The start variables in Matlab
    /// </summary>
    /// <param name="num">Numerator coefficients of the transfer function
    polynomial</param>
    /// <param name="den">Denominator coefficients of the transfer function
    polynomial</param>
    public SimTF(Double[] num, Double[] den)
    {
        MWinstance = new MLab.MLab();

        // Puts the num en den in the Matlab enviroment
        MWinstance.PutWorkspaceData("num", "base", num);
        MWinstance.PutWorkspaceData("den", "base", den);

        //Create the transfer function
        MWinstance.Execute(STR_SysTfnumDen);
    }

```



```

    }
    #endregion

    /// <summary>
    /// Sets the Transfer Function in Matlab
    /// </summary>
    public void setTFtoMatlabEnviroment()
    {
        // Puts the num en den in the Matlab enviroment
        MWinstance.PutWorkspaceData("num", "base", num);
        MWinstance.PutWorkspaceData("den", "base", den);

        //Create the transfer function
        MWinstance.Execute(STR_SysTfnumDen);
    }

    /// <summary>
    /// Sets the Transfer Function in Matlab
    /// </summary>
    /// <param name="num">Numorator cooefficients of the transfer function
    polynomial</param>
    /// <param name="den">Denominator cooefficients of the transfer function
    polynomial</param>
    public void setTFtoMatlabEnviroment(Double[] num, Double[] den)
    {
        // Puts the num en den in the Matlab enviroment
        MWinstance.PutWorkspaceData("num", "base", num);
        MWinstance.PutWorkspaceData("den", "base", den);

        //Create the transfer function
        MWinstance.Execute(STR_SysTfnumDen);
    }

    /// <summary>
    /// Simulates the transfer function in matlab and outputs the results a a
    Double array
    /// </summary>
    /// <param name="Uvector">The Input vector, these input should have the same
    size as the Time Vector at regular intervals</param>
    /// <param name="Tvector">The Output vector, this vector should have a
    regular non repeating sequence of real numbers t0:dt:t1</param>
    public double[] Simulate(Double[] Uvector, Double[] Tvector)
    {
        // Put the variables in de matlab workspace
        MWinstance.PutWorkspaceData("Uvector", "base", Uvector);
        MWinstance.PutWorkspaceData("Tvector", "base", Tvector);

        // Execute the Transfer Function
        Result = MWinstance.Execute(STR_SresLsimsysUvectorTvector);

        // Get the Yvector from the Matalb instance
        Double[,] Yarray = MWinstance.GetVariable("Yarray", "base");

        // Gets a 1-dimensional Yvector from the 2-dimenisional Yarray
        Double[] Yvector = new Double[Yarray.Length];
        int i = 0;

        foreach (var row in Yarray)
        {
            Yvector[i++] = row;
        }
    }

```

```

    }

    return Yvector;
}

/// <param name="Uvector">Overload constructor that takes the transfer
function as input and initiate The start variables in Matlab</param>
/// <param name="Tvector">The Output vector, this vector should have a
regualor non repeating sequence of real numbers t0:dt:t1 Beacause of Labview shitty
timing this will be normalised by the dt variable</param>
/// <param name="dt">Used to normalise the Tvector</param>
public double[] Simulate(Double[] Uvector, Double[] Tvector, Double dt)
{

    //Makes the Tvector vector workable in Matlab
    Double[] tvec = new Double[Tvector.Length];

    for (int i = 0; i < Tvector.Length; i++)
    {
        tvec[i] = Math.Round(Math.Round(Tvector[0], 0) + i * dt, 3);
    }

    // Sort the U vector using the T vector as key
    Double[,] UT_Matrix = new Double[Tvector.Length, 2];

    // Put the variables in de matlab workspace
    MWinstance.PutWorkspaceData("Uvector", "base", Uvector);
    MWinstance.PutWorkspaceData("Tvector", "base", tvec);

    // Execute the Transfer Function
    Result = MWinstance.Execute(STR_SresLsimsysUvectorTvector);

    // Get the Yvector from the Matalb instance
    Double[,] Yarray = MWinstance.GetVariable("Yarray", "base");

    // Gets a 1-dimensional Yvector from the 2-dimenisional Yarray
    Double[] Yvector = new Double[Yarray.Length];

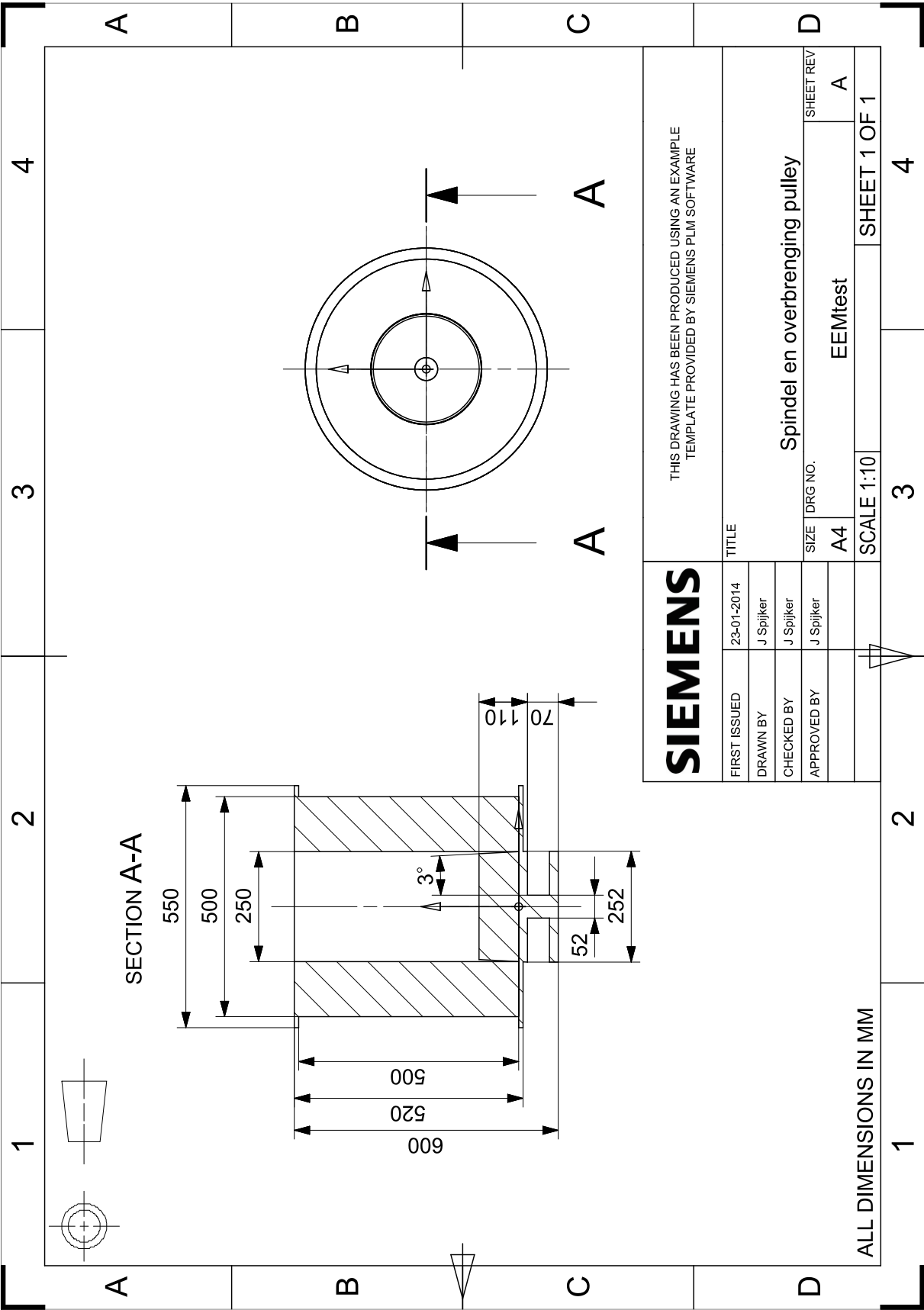
    for (int i = 0; i < Yarray.Length; i++)
    {
        Yvector[i] = Yarray[i, 0];
    }

    return Yvector;
}

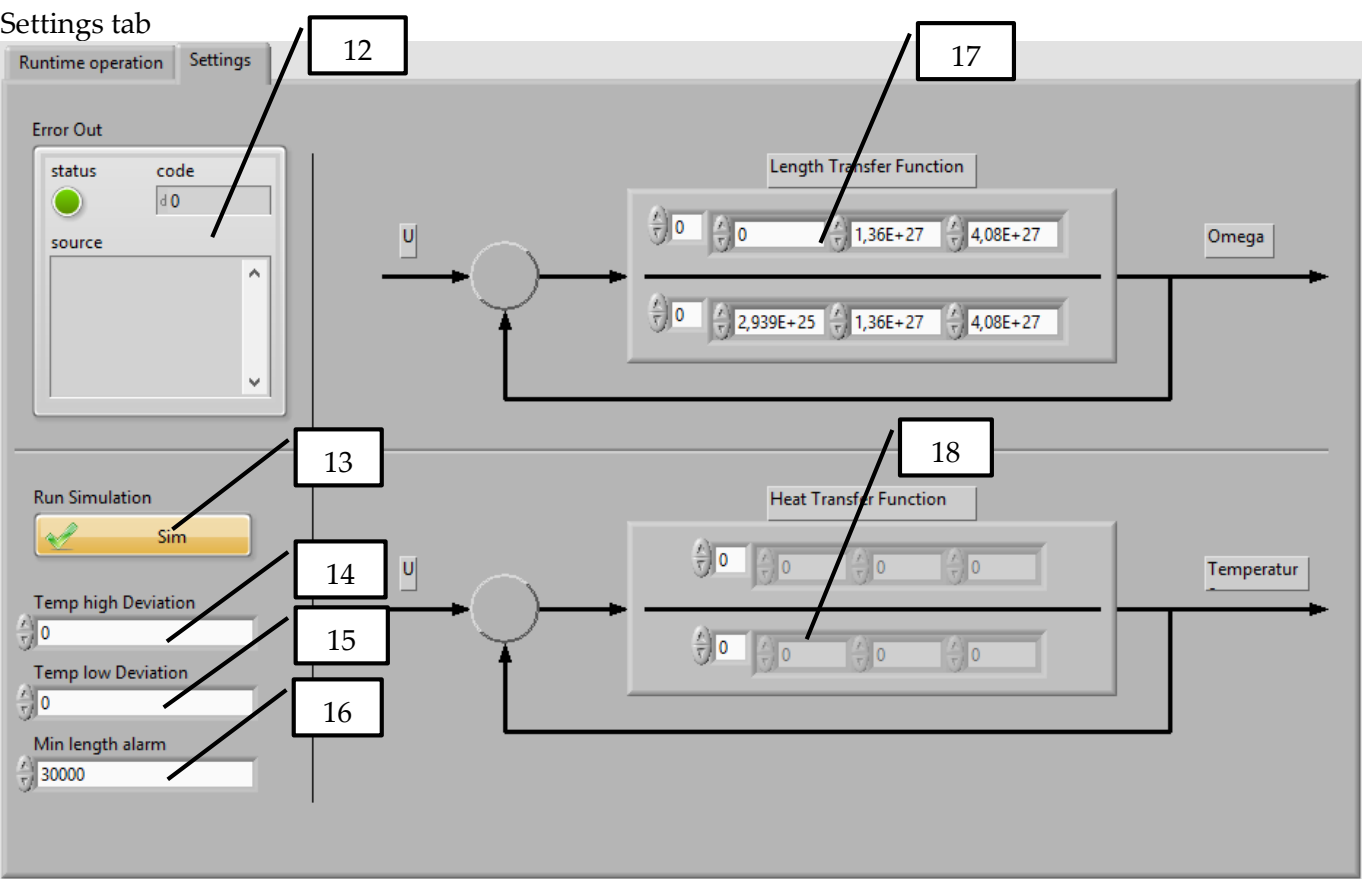
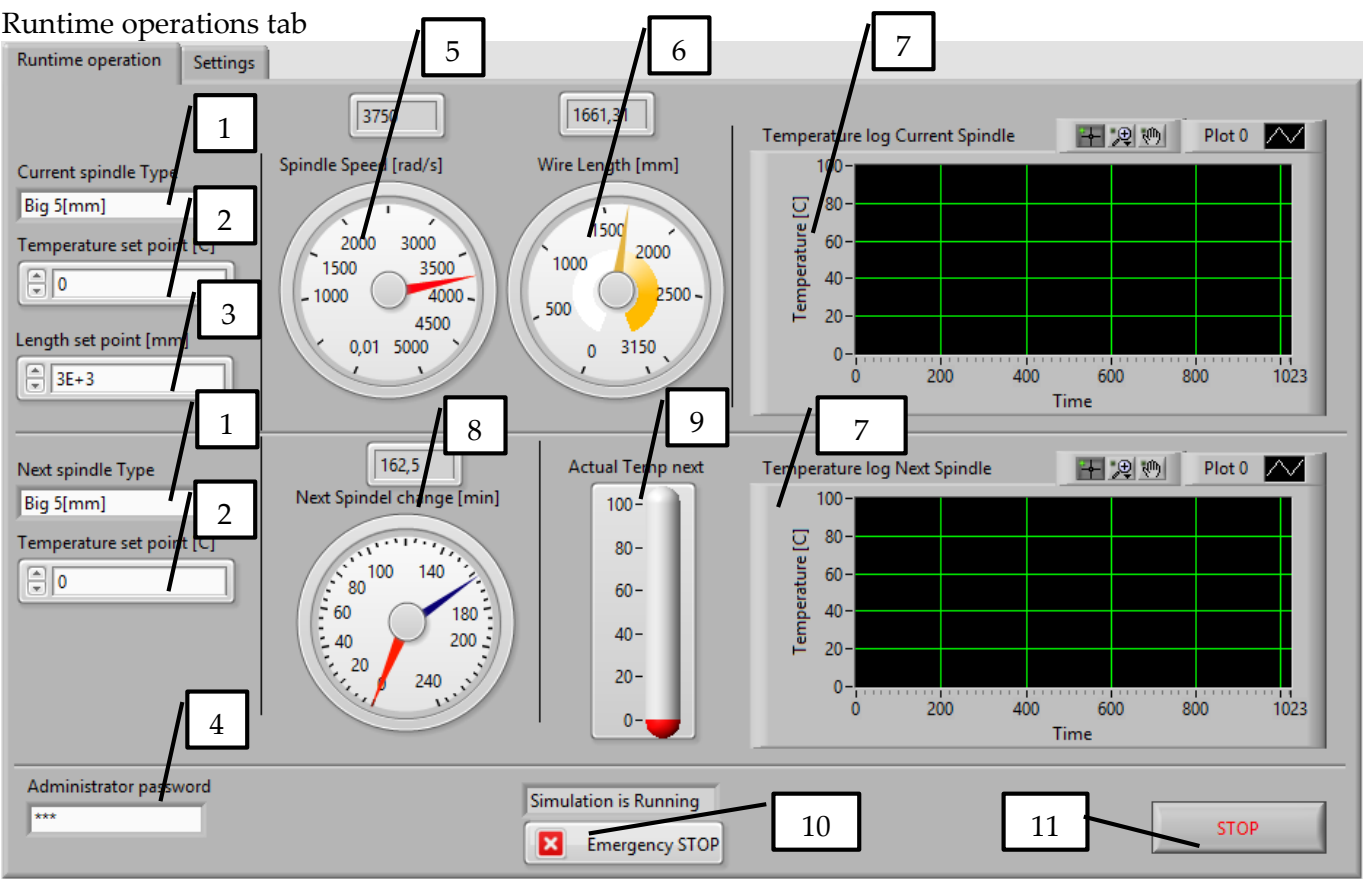
#region Destructors
~SimTF()
{
    MWinstance.Quit();
}
#endregion
}
}

```

BIJLAGE IX: TEKENING SPINDEL



BIJLAGE X: INTERFACE VAN DE REGELING




LEGENDA

Item	Naam	Omschrijving
1	Spideltype	Spindel type instellen. Keuze uit groot, middel en klein
2	Temp setpoint	Instellen gewenste temperatuur
3	Length setpoint	Instellen gewenste lengte
4	AdminPassword	Invoeren van administrator wachtwoord (HAN)
5	Speed Dial	Toont de huidige snelheid van de spindel
6	Length Dial	Toont de huidige lengte
7	Temp log	Toont de log van de gemeten temperatuur, setpoint en deviation
8	Change Dial	Toont wanneer de volgende spindel klaar moet zijn en zal zijn
9	Currenttemp	Toont de temperatuur gradatie van de volgende spindel

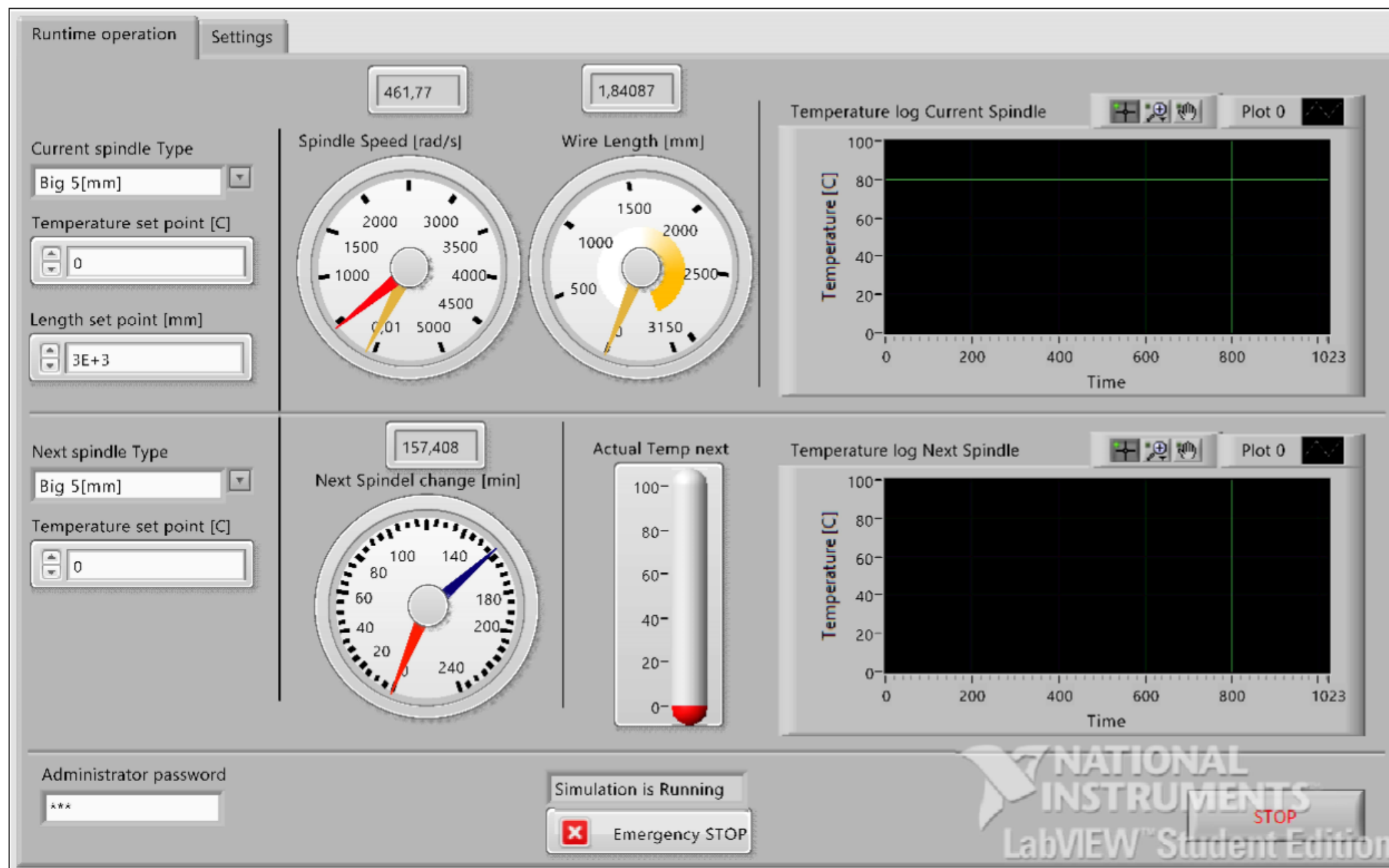
10	SimEmergBtn	Simuleert een noodstop (alleen in simulatie modus)
11	Stop btn	Stop het proces
12	Error warning	Toont waarschuwingen en errors voor de admin
13	Sim mode	Switch tussen simulatie en echte modus
14	temphighdev	Instellen temperatuur bovengrens alarm
15	templowdev	Instellen temperatuur ondergrens alarm
16	Minlengthalarm	Instellen min. Lengte voordat hij de gebruiker waarschuwt
17	TF rotation	Instellen Transfer functie van de rotatie
18	TF heat	Instellen Transfer functie van de opwarming

BIJLAGE : LABVIEW

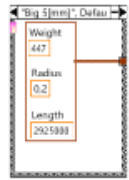
Student Edition
DraadtoevoerMachine.vi
D:\My documents\HAN - Simulate TF_backup\Labview\DraadtoevoerMachine.vi
Last modified on 27-12-2013 at 14:21
Printed on 26-1-2014 at 15:07

Page 1 

DraadtoevoerMachine.vi (4815)







Elapsed Time

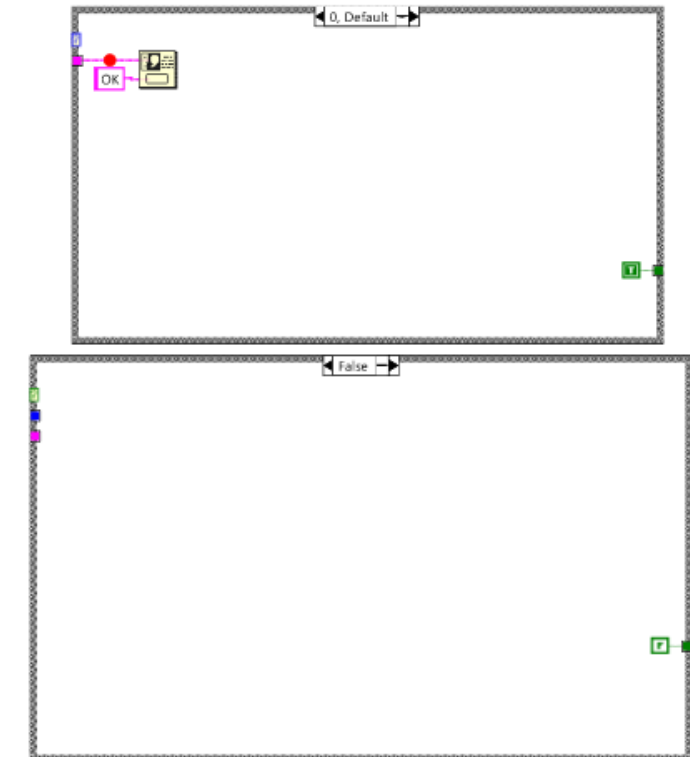
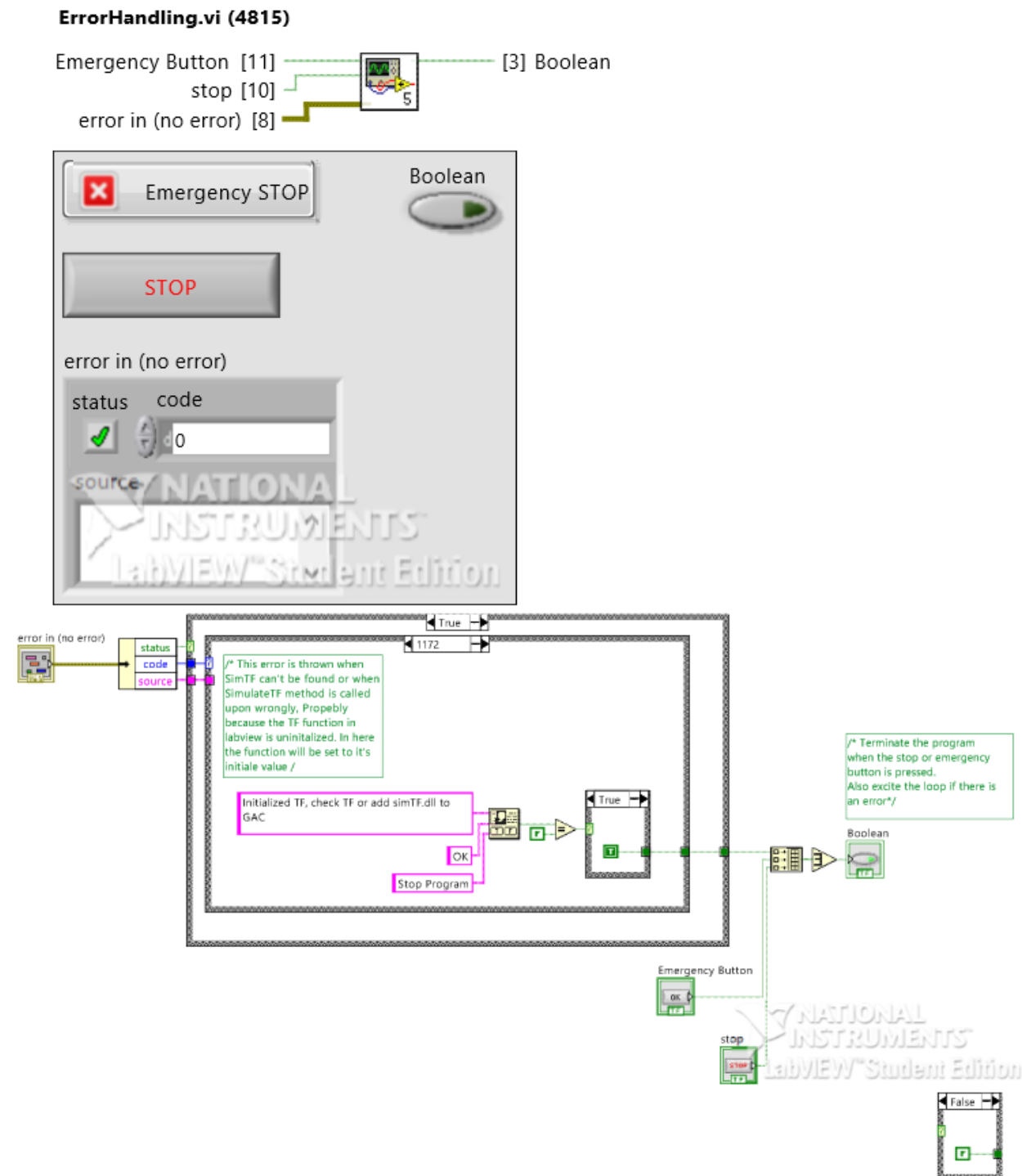
Elapsed Time

Indicates the amount of time that has elapsed since the specified start time.




This Express VI is configured as follows:

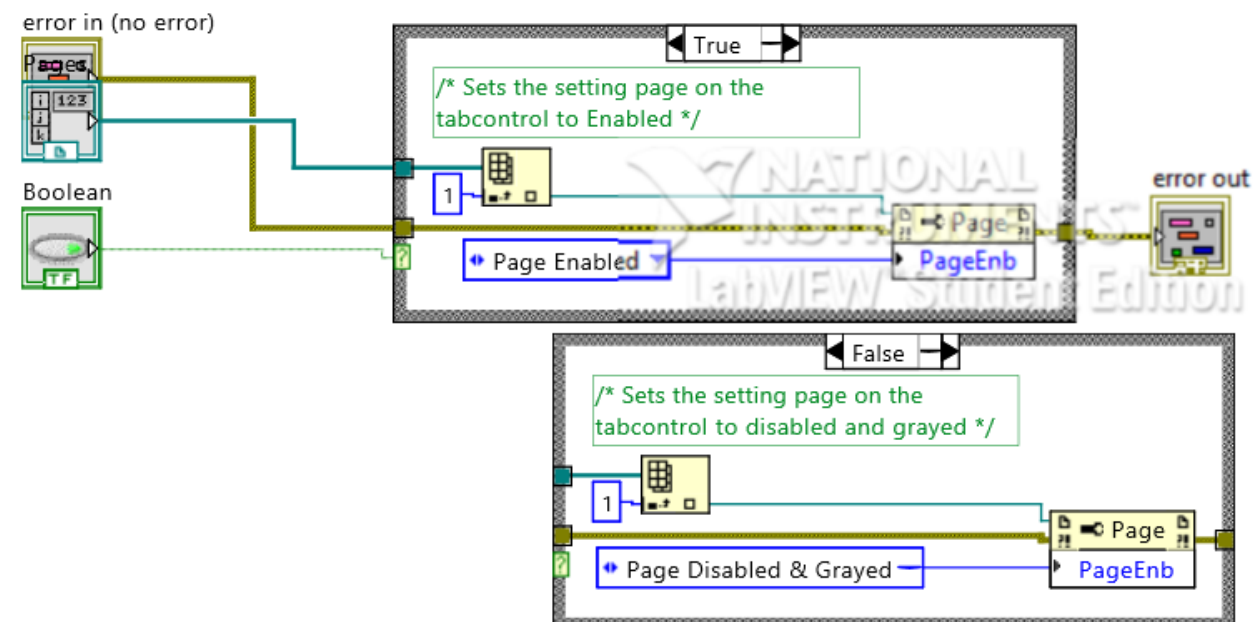
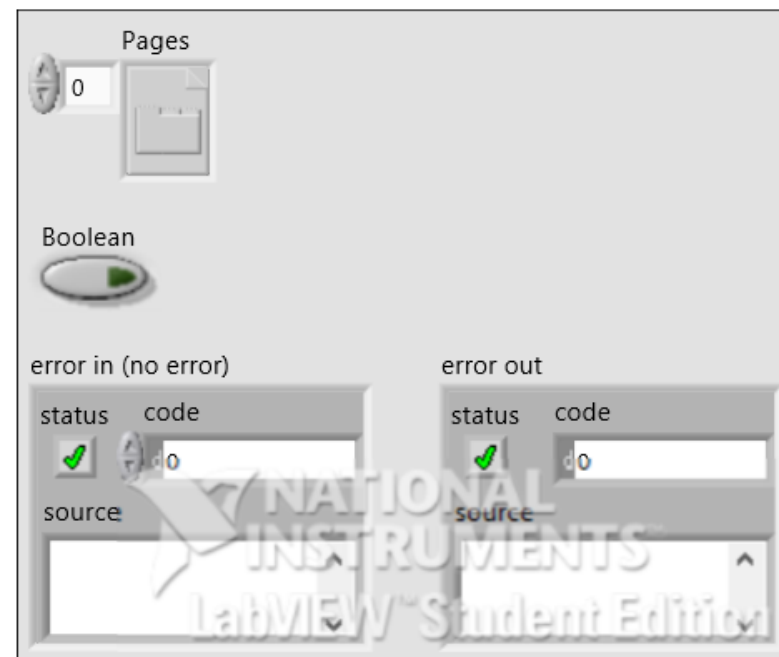
Time Target: 10 s



Auto Reset: On

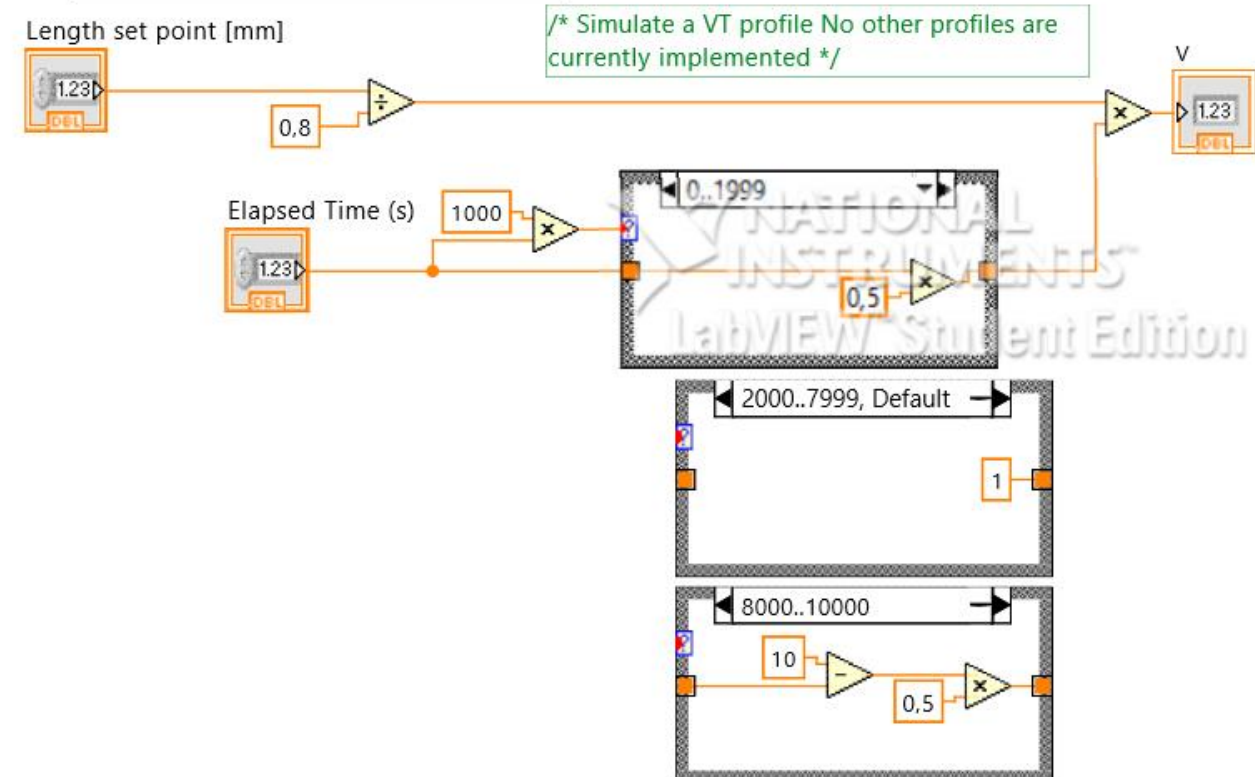
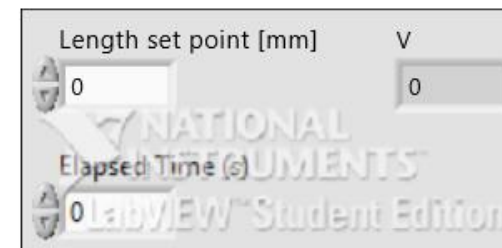


TabControl.vi (4815)

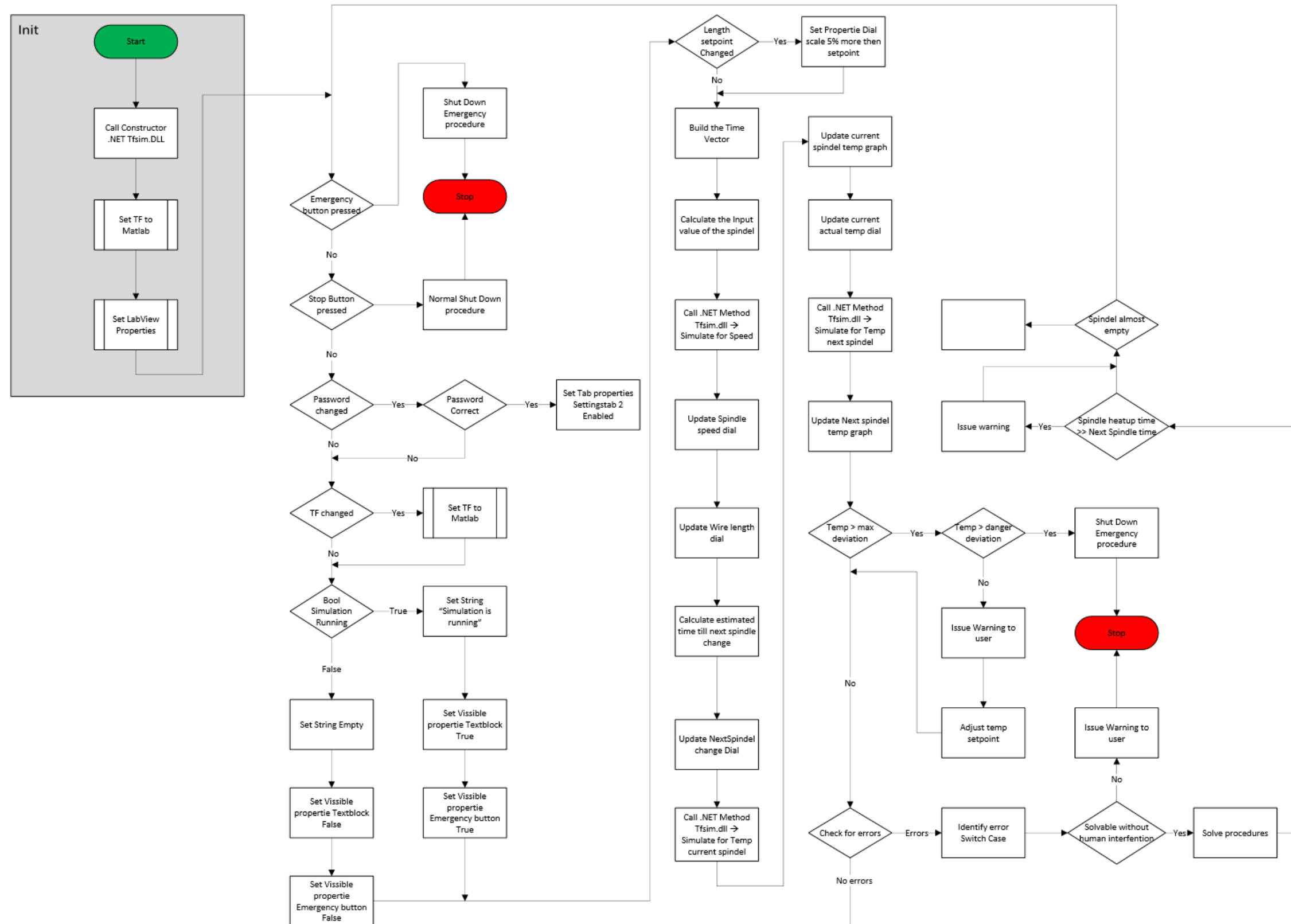
error in (no error) [11] 
 Boolean [10] 
 Pages [8]  [0] error out

**VToutput.vi (4815)**

Length set point [mm] [11] 
 Elapsed Time (s) [10]  [3] V



BIJLAGE XII: SEQUENTIAL FOW CHART



BIJALGE XIII: STATE DIAGRAM

