

Examensarbete, Högskolan på Åland, Utbildningsprogrammet för elektroteknik

STYRSYSTEM FÖR GASTURBIN

Gideon Eklund, Nina Runcrantz



Datum för publicering: <19.05.2016>
Handledare: Matias Waller

EXAMENSARBETE

Högskolan på Åland

Utbildningsprogram:	Elektroteknik
Författare:	Gideon Eklund, Nina Runcrantz
Arbetets namn:	Styrssystem för gasturbin
Handledare:	Matias Waller
Uppdragsgivare:	Högskolan på Åland

Abstrakt

Vi fick i uppdrag att utveckla ett styrssystem för en gasturbin med en vattenbroms som belastar turbinen. Dessa hade Högskolan på Åland förvärvat i utbildningssyfte. Syftet var att programmera styrsystemet i LabVIEW, välja lämplig signalbehandlingsenhet och givare. Programmet skulle innehålla funktioner som start, stopp, varvtalsreglering och övervakning av bl.a. temperaturer och tryck hos gasturbinen. Driftsäkerheten var en annan faktor som vi var tvungna att ta hänsyn till.

Metoden som användes för utvecklingen av styrsystemet var kvalitativ aktionsforskning.

Styrsystemet vi utvecklade uppfyllde de krav vi hade på säkerhet, flexibilitet och framtida utveckling.

Vid projektets slut startades gasturbinen upp med hjälp av vårt styrsystem utan problem. Tyvärr hann vi inte med att slutföra styrsystemet för den vattenbroms som är tänkt att fungera som belastning för gasturbinen.

Nyckelord (sökord)

LabVIEW, styrsystem, gasturbin, DAQ

Högskolans serienummer:	ISSN:	Språk:	Sidantal:
2016:14	1458-1531	Svenska	37

Inlämningsdatum:	Presentationsdatum:	Datum för godkännande:
13.05.2016	13.05.2016	19.05.2016

DEGREE THESIS

Åland University of Applied Sciences

Study program:	Electrical Engineering
Author:	Gideon Eklund, Nina Runcrantz
Title:	Control system for a gas turbine
Academic Supervisor:	Matias Waller
Technical Supervisor:	Åland University of Applied Sciences

Abstract
<p>We were commissioned to develop a control and supervisory system for a gas turbine with a hydraulic dynamometer for load. The Åland University of Applied Sciences had acquired these for educational purposes. The aim was to program the control system in LabVIEW, to select appropriate signal processing unit and sensors. The program was to include features of the gas turbine such as start, stop, speed control and monitoring of temperatures and pressures, among other things. The reliability was another factor that we had to take into account.</p> <p>The method used for the development of the control system was qualitative action research. The control system we developed met the requirements we had set up regarding security, flexibility and future development.</p> <p>At the end of the project we started the gas turbine with the help of our control system without problems. Unfortunately, we were unable to finalize the control system for the hydraulic dynamometer which is intended to act as a load of the gas turbine.</p>

Key words
LabVIEW, control system, gas turbine, DAQ

Serial number:	ISSN:	Language:	Number of pages:
2016:14	1458-1531	Swedish	37

Handed in:	Date of presentation:	Approved on:
13.05.2016	13.05.2016	19.05.2016

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1 INLEDNING.....	7
1.1 Bakgrund.....	7
1.2 Syfte och frågeställning	8
1.3 Avgränsningar.....	8
1.4 Definitioner och förkortningar	8
1.5 Disposition	9
2 TEORETIK REFERENSRAM.....	10
2.1 Gasturbinen	10
2.2 Vattenbroms	12
2.4 DAQ och LabVIEW	13
3 METOD	14
3.1 Kvalitativ aktionsforskning.....	14
3.2 Materialbeskrivning	15
4 RESULTAT	16
4.1 Givarval.....	16
4.2 Signalbehandlingsenhet	16
4.3 LabVIEW-programmet	18
4.3.1 Inputs.....	18
4.3.2 Outputs.....	20
4.3.3 Startsekvens	21
4.3.4 Starttimer.....	22
4.3.5 Frontpanelen	23
4.4 Driftsäkerhet	25
4.5 Simulering av signaler	27
4.6 Verkningsgrad.....	28

4.7 Gasreglaget	29
4.8 Kretsar för startmotor, tändning, matarpump för bränsle och bränslemagnetventil	30
4.9 Uppstart och testkörning av gasturbinen.....	31
5 VIDARE FORSKNING OCH FÖRDJUPNING.....	33
5.1 Vattenbromsen	33
5.2 Gasturbinen	33
5.2.1 Gasreglering.....	33
5.2.2 Ändringar av parametrar	34
5.2.3 Dataloggning.....	34
6 SLUTSATSER.....	35
6.1 Egna reflektioner.....	36
KÄLLFÖRTECKNING.....	37

Bilagor

Bilaga 1 – DAQ-komponenter

Bilaga 2 – Överblick av programmet

Bilaga 3 – Datablad Darlington NPN BD675AG

Bilaga 4 – Datablad OP-förstärkare LM 741 CN

Figurer

Figur 1. Gasturbinensprincip (Försvarets materialverk, 1991, s. 46).	11
Figur 2. Vattenbromsen.	13
Figur 3. cDAQ-chassi. (National Instruments, 2010)	17
Figur 4. Valvtals- och bränsleflödesmätning.	18
Figur 5. Temperaturmätning.	19
Figur 6. Tryckmätning.	19
Figur 7. Programdelen för utgångarna.	20
Figur 8. Villkor för att kunna starta gasturbinen.....	21
Figur 9. Startsekvens.....	21
Figur 10. Starttimer.	22
Figur 11. Frontpanel.....	24
Figur 12. Trippar med hållkretsar.	25
Figur 13. Variabler som blir satta till noll vid tripp eller stopp.	26
Figur 14. Watchdogfunktionen i programmet.	26
Figur 15. Temperatursimulering.	27
Figur 16. Trekantsvåg ifrån turbinens tachometern.....	27
Figur 17. Uträkning av T_3	29
Figur 18. Gasreglagekretsen.	30
Figur 19. Krets för startmotor, tändning, matarpump och magnetventil för bränslet.	31
Figur 20. Testkörning vid Högskolan på Åland.....	31

1 INLEDNING

1.1 Bakgrund

Vi fick höra att det fanns ett examensarbete rörande den gasturbin, som Högskolan på Åland hade införskaffat för att använda i utbildningssyfte. Till turbinen finns även en vattenbroms som hade förvärvats separat till anläggningen. Vattenbromsen ska fungera som en belastning till turbinen. Examensarbetet gick ut på att utveckla ett styrsystem för gasturbinanläggningen. Vi tyckte att det lät väldigt intressant eftersom det var ett arbete som innebar en hel del praktiska moment och lösningar till problemet och inte endast teoretiska. Vi tog därför kontakt med Göran Henriksson på Högskolan på Åland för att meddela att vi gärna tog på oss att göra arbetet. Henriksson hänvisade oss vidare till Ove Westerlund, laboratorieassistent på skolan. Westerlund har sedan dess varit vår kontaktperson under arbetets gång.

När vi började arbetet var gasturbinen inte överhalad eller driftsduglig. Många givare som beställaren önskade saknades, framför allt olika tryckgivare till turbinen, men även massflödesgivare för bränslet. Under tiden som arbetet har pågått, dvs. under hösten 2015 och våren 2016, har Westerlund överhalat och byggt om turbinen för att få den driftsduglig för dess ändamål som undervisningsmaskin. Vattenbromsen som ska fungera som gasturbins belastning, har fått stå undan lite för det prioriterade arbetet med gasturbinen. Vattenbromsen kommer inte att hinna bli ihopkopplad med gasturbinen under det här arbetets gång. Det styrsystem vi utvecklat är dock vara förberett för det slutgiltiga systemet och innehåller viss funktionalitet för vattenbromsen.

Styrsystemet till gasturbinsystemet ska hantera mätningar av olika tryck, temperaturer, varvtal, moment, massflöde av bränslet och volymflöden av luft för gasturbinen. Det ska också visa uppmätta värden för vattentemperaturer, tryck och moment för vattenbromsen. Vidare ska det finnas start- och stoppfunktioner och säkerhetssystem som larmar och stänger ner gasturbinen, vid felfunktioner. Det ska även utifrån uppmätta värden räkna ut effekter och verkningsgrader för systemet.

1.2 Syfte och frågeställning

Syftet med arbetet var att skapa ett styrsystem för gasturbinanläggningen. Styrsystemet har enligt uppdragsgivarens önskan, skapats i LabVIEW. Programmet registrerar olika tryck, temperaturer, moment, varvtal och bränslets massflöde. Programmet ska vidare räkna ut effekter och verkningsgrader baserat på mätvärdena. Dessutom har vi undersökt möjligheterna att utnyttja programmet för styrning och reglering, dvs. möjligheten att ändra varvtal, styra vattenbromsen för att ändra belastningen för turbinen, samt att starta och stoppa turbinen via programmet. De konkreta problem som vi har löst är sammanfattade i följande punkter.

- Utveckla styrsystemet i mjukvaran LabVIEW
- Val av signalbehandlingsenhet
- Skapa startfunktion för turbinen i styrsystemet
- Utveckla varvtalsreglering i styrsystemet
- Val av givare

1.3 Avgränsningar

Arbetets omfattning berör endast Högskolan på Ålands gasturbinanläggning. Programmeringen har skett i LabVIEW och signalbehandlingen har skett med hjälp av en DAQ-enhet. Anledningen till denna avgränsning är att det är uppdragsgivarens önskemål att programmeringen skulle ske i mjukvaruprogrammet LabVIEW. Arbetet har i huvudsak berört gasturbinen och inte vattenbromsen, på grund av tidsbrist.

1.4 Definitioner och förkortningar

DAQ: Data Acquisition

I/O: Input/Output

LabVIEW: Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench

OP-förstärkare: Operationsförstärkare

1.5 Disposition

Uppsatsen börjar med presentation av teoretisk referensram och metod. Teorin behandlar funktionen hos både gasturbinen och vattenbromsen, samt lite kort om mjuk-och hårdvaran som används i projektet. Metoddelen består av en presentation av kvalitativ aktionsforskning och materialbeskrivning. Därefter följer resultatet av undersökningarna och problemlösningarna, indelade under nio rubriker. Detta följs av vidare forskning och fördjupning, med andra ord en reflektion över vad som inte fick rum innanför ramen för det här projektet. Slutligen återfinns slutsatser med egna reflektioner, som följs av källförteckning och bilagor.

2 TEORETIK REFERENS RAM

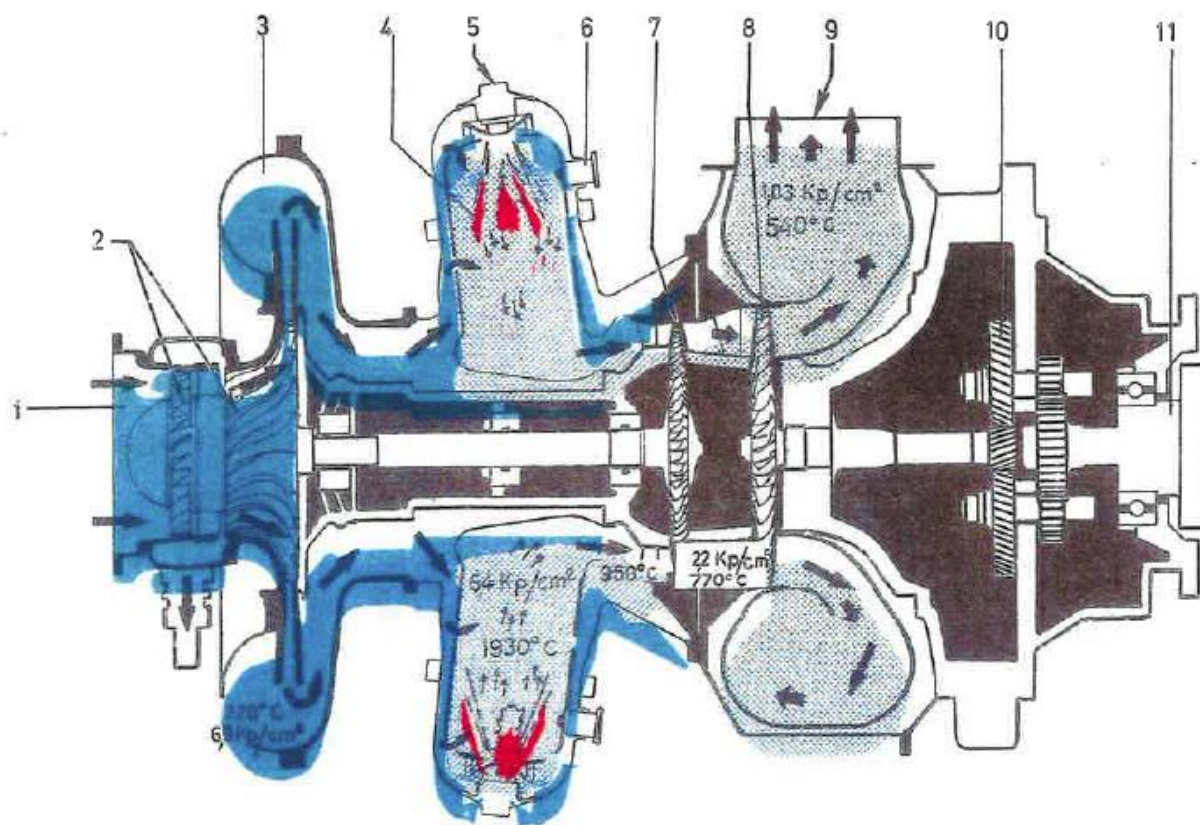
2.1 Gasturbinen

En gasturbin överför rörelseenergi till mekanisk energi med hjälp av gasströmmar som med hög hastighet träffar ett turbinhjul och får det att rotera för att det i sin tur, via en axel kan driva en generator eller en motor (Försvarets materialverk, 1991, s. 46). Det som skiljer en gasturbinanläggning ifrån en förbränningsmotoranläggning, som också är en typ av gaskraftanläggning, är att värmeförseln i en gasturbinanläggning sker utanför värmemotorn (Alvarez, Energiteknik del 2, 2006, s. 957).

En gasturbinanläggning fungerar på följande sätt: Först komprimeras luften eller gasen i en kompressor. Värme ifrån förbränningen i brännkammaren tillsätts den komprimerade gasen. När värmen tillkommer expanderar gasen och det är den volymökningen som bidrar till att ett arbete kan utföras i gasturbinen (Alvarez, Energiteknik del 2, 2006, s. 957).

Den gasturbin som det här examensarbetet berör är en Caterpillar GT553 (Boeing 502) och har ursprungligen suttit i en stridsvagn¹ som har tillhört det svenska försvaret. Den är en tvåaxlig friaxelturbin. Med det menas att det inte finns någon axel som sammankopplar de två turbinhjulen. Gasturbinen består av två huvuddelar, gasgeneratorn och arbetsturbinen. Gasgeneratorn kan sedan delas in i ytterligare delar. Den består bland annat av tvåstegskompressorn, de två förbränningskammarna och turbinhjul med turbinaxel. I arbetsturbinen finns förutom arbetsturbinhjulet även reduktionsväxel med utgående axel emot vattenbromsen, och avgassamlare. Gasturbinens maximala varvtal vid högeffekt är 41 000 rpm, och tomgångsvarvtalet är 18 000 – 19 000 rpm (Försvarets materialverk, 1991, ss. 11, 44). En illustration över gasturbinens princip visas i Figur 1.

¹ Strv 103, tillverkad av Bofors och levererade mellan 1967 och 1971



Figur 1. Gasturbinens princip (Försvarets materialverk, 1991, s. 46).

- | | | |
|-------------------|-----------------------------|---------------------|
| 1. Luftinlopp | 5. Spridarmunstycke | 9. Avgasutlopp |
| 2. Kompressorhjul | 6. Tändstift | 10. Reduktionsväxel |
| 3. Kompressorhus | 7. Turbinhjul, gasgenerator | 11. Utgående axel |
| 4. Brännkammare | 8. Turbinhjul, arbetsturbin | |

Funktionen hos gasturbinen är sådan att luft sugas in i kompressorn. Efter att ha komprimerats i först ett axialsteg och sedan i ett centrifugalsteg, leds luften till de två brännkammarna. Brännkammarna har så kallade flamrör och är av typen vändspolning, som innebär att gasväxlingen, insug av friskluft och utsug av avgaser, sker på ett sådant sätt att friskluften kommer in i sidoportar i brännkammaren med en riktning uppåt, och trycker undan avgaserna neråt och ut genom andra sidoportar i brännkammaren (Alvarez, Energiteknik del 2, 2006, ss. 1037-1038). Den största delen av luften passerar runt flamrören och har en kylande funktion av dessa och deltar då inte i själva förbränningen, medan en liten del av luften förbränns ihop med bränslet. Föreningen av brännigas och luften expanderar efter brännkammaren och leds mot gasgeneratorns turbinhjul, som via fasta ledskenor får turbinhjulet att rotera.

Gasgeneratorns turbinhjul har som huvudsaklig uppgift att driva kompressorn. Gasströmmen fortsätter genom ett mellanhus och sätter på samma vis som gasgeneratorns turbinhjul, även arbetsturbinhjulet i rotation. Arbetsturbinen driver i sin tur reduktionsväxeln som i sin tur driver belastningen. Då arbetsturbinhjulet och gasturbinhjulet inte är sammankopplade, kallas det att gasturbinen är en friaxelturbin (Försvarets materialverk, 1991, ss. 44-46).

2.2 Vattenbroms

Gasturbinens utgående axel driver vattenbromsens axel och på så sätt överförs rotationskraft från gasturbinen till vattenbromsen. På vattenbromsens axel finns en dubbelsidig rotor som på var sida har snedställda skovlar. På motsatt sida av rotorn möter dessa skovlar statorns skovlar som är utformade på motsvarande sätt (Froude Engineering Limited, 1975, s. 1.1). Energin tas upp av vattenbromsen genom att vatten kommer in via statorns skovlar och passerar mellan rotorn och statorns skovlar. Den cirkulerar sedan runt dessa genom axelns och rotorns rotation, och ett hydrauliskt motstånd uppstår. Rörelseenergin omvandlas till värme och värmer upp vattnet innan det lämnar vattenbromsen igen. Vattenbromsens hölje, som även innefattar statorn, har möjlighet att röra sig tack vare att det bärs upp av svängtappslager som i sin tur vilar mot ett stativ. Energin i vattenflödet får höljet att röra sig då det sätter fart på rotorn. Vridmomentet som uppstår blir en mätbar last som överförs till en våg via en arm som är fäst på höljet. Genom att jämföra ingående och utgående vattentemperaturer fås en verkningsgrad (Froude Engineering Limited, 1975, ss. 1.1-1.2). Vattnets massa och dess hastighet i rotorn och statorns skovlar bestämmer den upptagna energin. Vattentrycket och flödet in regleras med en manuell ventil. Däremot är utflödet, och därmed även trycket ut, styrt av en elektro-pneumatiskt styrd *butterfly*-ventil. Det utgående trycket bestämmer vattnets massa inne i skovlarna (Froude Engineering Limited, 1975, s. 1.3). På nästa sida syns en bild på vattenbromsen i Figur 2.



Figur 2. Vattenbromsen.

2.4 DAQ och LabVIEW

Både DAQ-enheten och LabVIEW är en del av National Instruments produktlösning när det kommer till datainsamling och databehandling. DAQ är en förkortning för Data Acquisition och är hårdvaran i systemet. DAQ-enheten tar in analoga och digitala signaler från sensorer och ger ut digitala signaler till en dator med programmerbar mjukvara. LabVIEW är en sådan programmerbar mjukvara (National Instruments)

LabVIEW är en mjukvara med ett grafiskt programmeringsspråk. Ett program i LabVIEW kallas Visual Instrument (VI). Det har en frontpanel, där indikatorer (outputs) och kontroller (inputs) syns. Frontpanelen bildar det grafiska gränssnittet gentemot användaren. Programmet i LabVIEW har även ett diagramblock som visar hur de olika terminalerna och operanderna är sammansatta. Det är i diagramblocket som själva programmeringen och analysen av datan sker (National Instruments, 2013).

3 METOD

3.1 Kvalitativ aktionsforskning

Arbetet är avgränsat till att endast behandla den specifika gasturbinen som tillhör Högskolan på Åland och det går inte att garantera att slutresultatet kommer att kunna appliceras på andra gasturbiner. Att utveckla ett styrsystem innebär att vissa tidiga antaganden blir omöjliga eller bristfälliga i olika aspekter och dessa kommer då att förkastas och nya lösningar kommer att bli nödvändiga för arbetets fortskridande. Det innebär att metoden för det här arbetet är både kvalitativt och flexibelt (Höst, Regnell, & Runeson, 2006, ss. 30-31).

Genom att prova sig fram genom att anta ett förslag till en ändring eller ett utförande för att senare utvärdera resultatet och se om resultatet är tillfredställande eller om ett nytänk krävs, kallas för aktionsforskning (Robson, 2007, ss. 23-25). Vid programmering av styrsystemet, i ett mjukvaruprogram där djupare kunskap till en början kan vara bristfällig, men även vid planering av elektroniska lösningar och beställningar av delar, krävs att problemen som ämnas lösas kartläggs och att deras lösningar planeras. Olika förslag till lösningar kan ställas mot varandra och uteslutas innan de ens testas, medan andra förkastas då de befins otillräckliga eller funktionsodugliga efter utvärdering av testresultatet. Befinns lösningarna tillfredställande och lämpliga, fortskrider arbetet och andra problem kartläggs och analyseras för att lämplig lösning ska kunna presenteras. Ibland behövs omvärdering av lösningar som accepterades till en början, eftersom att nya problem och lösningar har adderats till de tidigare. Det kan göra att de tidigare lösningarna inte längre är applicerabara, eller att de på något sätt, ihop med nya lösningar, är otillräckliga. Det innebär att det under hela arbetet sker identifieringar av problem och utvärderingar av problemlösningar (Höst, Regnell, & Runeson, 2006, ss. 39-40).

3.2 Materialbeskrivning

Källmaterial som har använts vid arbetet bestod av böcker, Internetkällor, medföljande manualer till de olika maskinerna och apparaterna. Vid problemlösning av funktioner i LabVIEW-programmet har i huvudsak information och tips ifrån YouTube-klipp använts men även Lars Bengtsson bok ”LabVIEW från början” (Bengtsson, 2004). Konsultationer av handledare, men även andra, speciellt Ove Westerlund, har varit av väsentlig betydelse.

4 RESULTAT

4.1 Givarval

Den viktigaste detaljen när det kom till valet av givare var vilken utsignal som skulle vara kompatibel med signalbehandlingsenheten och programmet. Eftersom det går att ställa in vilken insignal givaren har i programmet spelar det inte så stor roll om signalen är 4-20 mA eller 0-10 V. Majoriteten av de befintliga givarna har en utsignal mellan 0-10 V, därför beslutades det att fortsätta med det för enlighetens skull.

4.2 Signalbehandlingsenhet

Vid inköpet av vattenbromsen medföljde en I/O-låda som förra ägaren hade försökt använda utan resultat då det fanns brister i existerande program. Efter en kort undersökning huruvida det var möjligt att använda den befintliga I/O-lådan konstaterades att det var en alltför komplicerad uppgift, då medföljande instruktionsbok inte var för den modellen. Det fanns ingen information hur den arbetade, vilka typer av insignaler den hanterade och vilka portar som gick till vad. Inte heller framgick det om den skulle vara möjlig att använda ihop till mjukvaran LabVIEW. Alternativet till den I/O-lådan var en DAQ-enhet eftersom det är kompatibelt med LabVIEW och möjligheten att bekanta sig med komponenterna fanns på högskolan. Då den till vattenbromsen medföljande I/O-lådan befanns oanvändbar, beslutades att en DAQ-hårdvara skulle användas som signalbehandlingskomponent.

Vid val av DAQ-enheter var säkerställandet av driftsäkerheten högsta prioritet. Vid ett eventuellt bortfall av strömförsörjning eller brist i kommunikation mellan mjukvara och hårdvara, måste alla utsignaler nollställas och anläggningen stoppas. Detta för att säkerställa att alla larm och nödstoppsfunktioner, som t.ex. övervarsskyddet och skyddet lågt smörjoljetryck ska fungera tillfredställande. Valet föll därför på ett DAQ-chassi med *watchdog*-funktion. En *watchdog* är en timer som räknar tills den får en resetsignal ifrån mjukvaran, och då börjar den om att räkna. Detta sker då både hårdvara och mjukvara fungerar som de ska. Resetsignalen som *watchdog*-funktionen får, får den endast om vissa villkor har uppfyllts i mjukvaruprogrammet, har villkoren inte uppfyllts får inte *watchdog*-funktionen

resetsignalen och *watchdog*-funktionen räknar då tills den får en förinställd timeout och utsignalerna nollställs (National Instruments, 2011) (National Instruments, 2014).

Till chassit valdes sedan två moduler för signaler ifrån termoelementen, dvs. temperaturgivarna, en modul för analoga ingångar för ström- och spänningssignaler, en modul för analoga utgångar för spänningssignaler och en med analoga ingångar för spänningssignaler med hög samplingsfrekvens till varvtalsgivarna. Chassit har plats för åtta moduler trots att endast fem moduler behövdes. Vid eventuell utbyggnad av systemet kan flera moduler bli önskvärda, därför valdes ett större chassi. En komplett lista på modulerna och chassit finns i bilaga 1. Figur 3 visar ett chassi av samma typ som inköptes till gasturbinen.



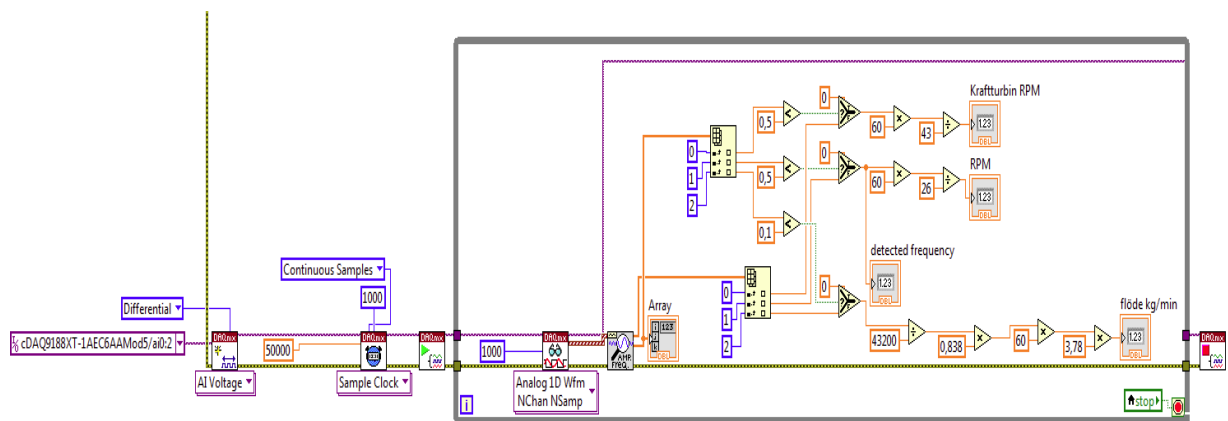
Figur 3. cDAQ-chassi. (National Instruments, 2010)

4.3 LabVIEW-programmet

En överblick över programmet i sin helhet finns i bilaga 2.

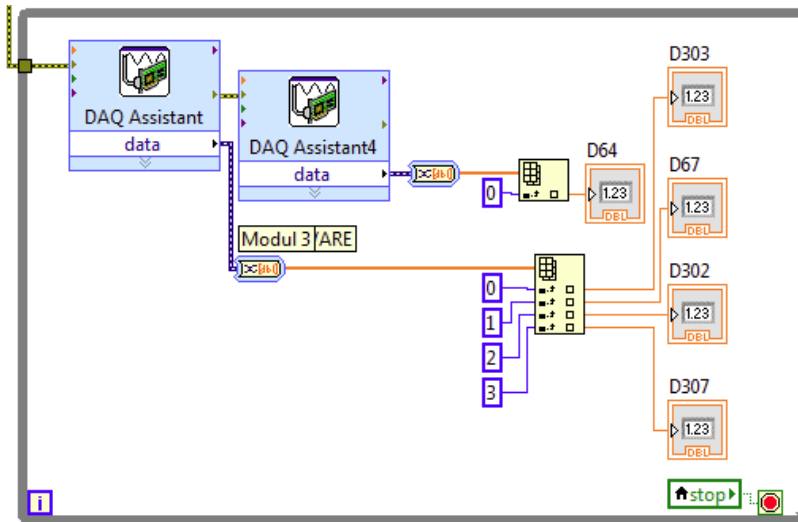
4.3.1 Inputs

För att mäta varvtalet från turbinen startas modulen för mätning av analog spänning som mäter 50 tusen mätningar per sekund per kanal. Används fler kanaler på samma modul görs 1000 mätningar på en kanal innan den skiftar till nästa kanal osv. även när bara en kanal används så tas 1000 mätningar åt gången innan de skickas in till programmet. Den kan alltså inte mäta flera kanaler samtidigt. Programmet tar sedan ut frekvens och amplitud ur vågformen som modulen skickar till programmet och gör om frekvensen till varv per minut. För att inte få utslag på varvmätningen när turbinen står still filtreras signalen bort om amplituden är för låg. Den här delen av programmet räknar också ut bränsleflödet till turbinen men den bör flyttas till en annan modul som räknar flanker snarare än tar ut frekvensen ur en vågform för att få en mer noggrann mätning. Hur programmeringen för varvtal och bränsleflödesmätning ser ut visas i Figur 4.

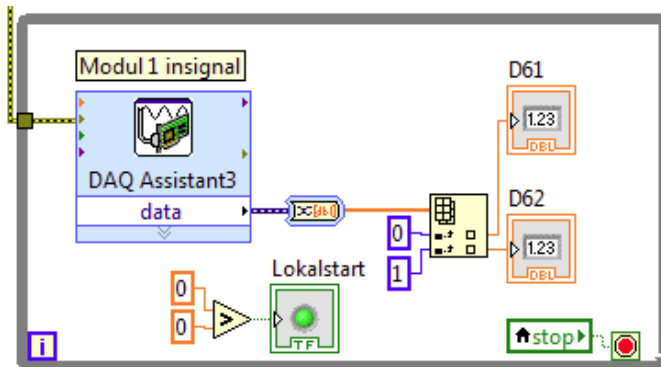


Figur 4. Valvtals- och bränsleflödesmätning.

För mätning av temperaturer kopplade vi in termoparen till modulerna för mätning av temperaturer. Tryckgivarna kopplades till modulen för mätning av analog ström och spänning. Signalen delas upp från en räkka till enskilda värden och tas sedan hand om via lokala variabler i andra delar av programmet. Se Figur 5 för programmeringsdelen av temperaturmätningen, och Figur 6 för mätning av tryck.



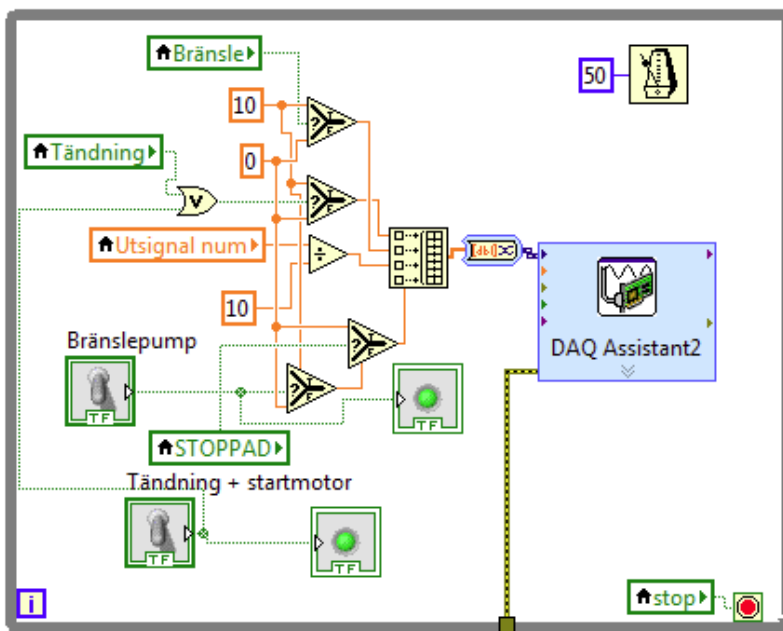
Figur 5. Temperaturmätning.



Figur 6. Tryckmätning.

4.3.2 Outputs

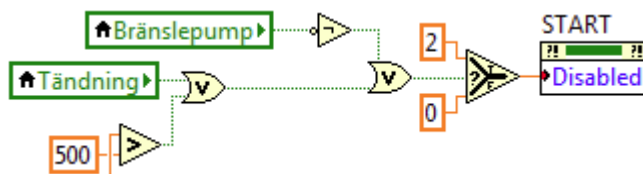
För att göra om programmets beräkningar till signaler för turbinen kopplades styrning av gasreglage, magnetventil för bränsle, bränslematarpumpen, tändning och startmotor till modulen som ger ut en analog spänning. Signalen från knappar och variabler med booleska värden görs om till 0V respektive 10V beroende på om värdet är *True* eller *False*. Styrning för gasreglaget skickas ut som en analog spänning mellan 0V-10V beroende på hur mycket gaspådraget är satt i programmet. Signalen skickas sedan vidare från DAQ-enheten, som bara kan ge ut 1mA, till ett kretskort som förstärker signalerna. Mer detaljer om kretskortet och dess kretsar finns under rubrik 4.7 och 4.8. I Figur 7 kan man se hur de olika utgångarna är kopplade till DAQ-enheten.



Figur 7. Programdelen för utgångarna.

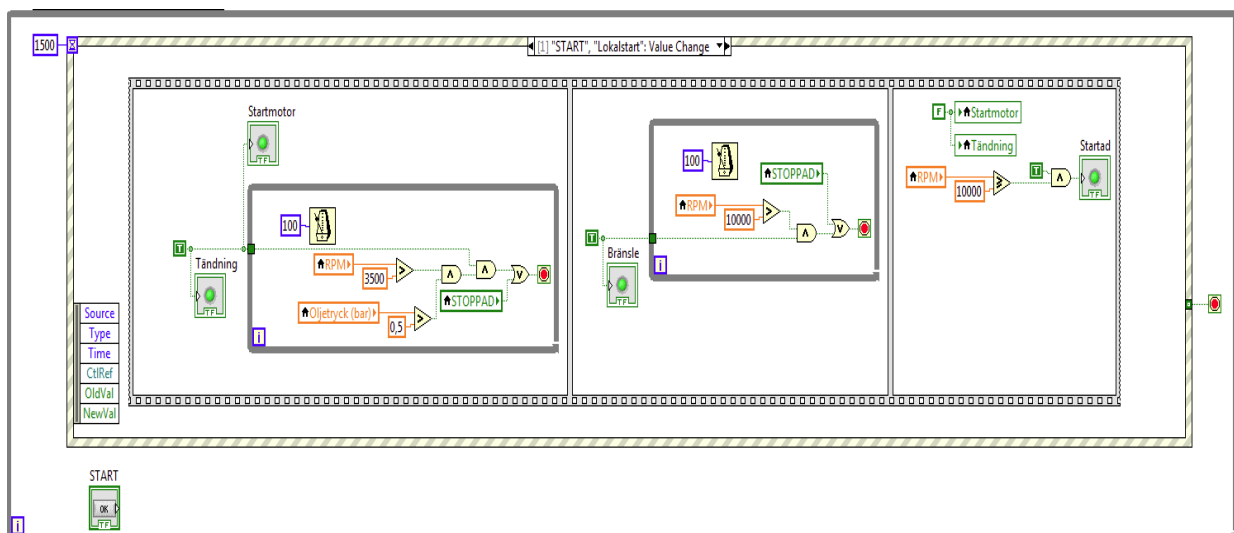
4.3.3 Startsekvens

När man trycker på startknappen i programmet skall signaler skickas till startmotor, tändning och bränslemagnetventilen i rätt ordning vid rätt tidpunkter. För att kunna trycka på startknappen måste vissa villkor vara uppfyllda; stoppknappen får inte vara intryckt, ingen trip får vara aktiverad och bränslematarpumpen måste vara igång och turbinen får inte snurra. I Figur 8 kan man villkoren för start kan initieras.



Figur 8. Villkor för att kunna starta gasturbinen.

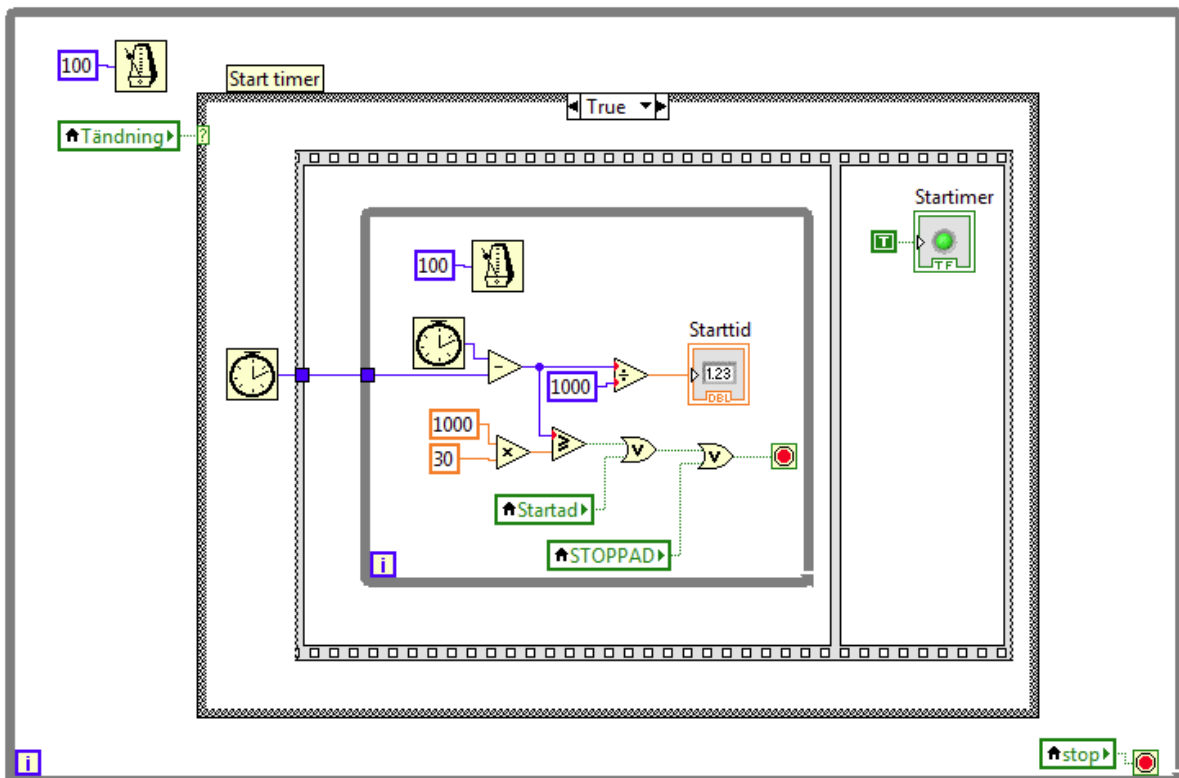
När startknappen tryckts ner startas en loop som ger signal till tändning och startmotor som väntar tills varvtalet på turbinen når 3500 RPM, går den vidare till nästa sekvens i loopen som öppnar bränslemagnetventilen. När bränslet har antänts och turbinens varvtal nått 10 000 RPM stängs tändning och startmotor av och en signal skickas till resten av programmet att turbinen är startad. Hela startsekvensen visas i Figur 9.



Figur 9. Startsekvens.

4.3.4 Starttimer

Så fort signalen till tändningen blir satt till *True*, jämför en loop den dåvarande systemtiden med en systemtid som uppdateras kontinuerligt för att få ut starttiden. Om loopen inte får en signal att turbinen är startad inom 30 sekunder efter att start påbörjats skickas en signal till trippen för lång starttid och startsekvensen avbryts. Men om tändningen stängs av under tiden starttimern räknar stoppas loopen och starttimern stannar. Hur det fungerar i programmet kan man se i Figur 10.

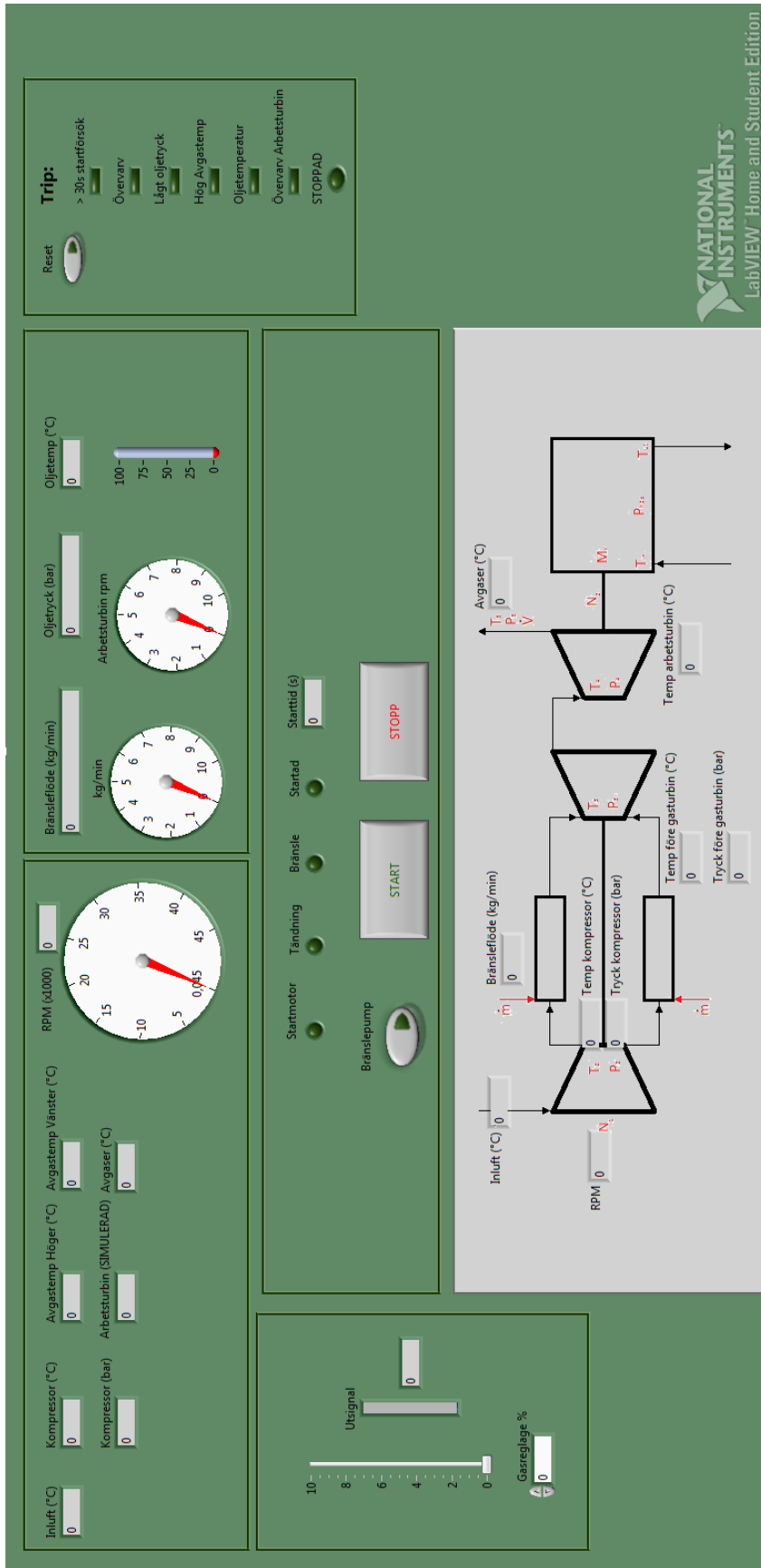


Figur 10. Starttimer.

4.3.5 Frontpanelen

Figur 11 på nästa sida visar frontpanelen för programmet. Överst i figuren kan man läsa av olika värden för tryck, temperatur, varvtal och bränsleflöde. I mittenpartiet finns knappar för start och stopp för gasturbinen, och en separat startknapp för bränslepumpen. Till höger i figuren finns de olika tripindikeringar och en reset-knapp. I figurens vänstra sida finns gasreglaget, där man antingen kan skriva in det önskade värdet i procent eller föra sliden till önskat läge. Gasreglagets läge går att avläsa till höger om sliden. Underst i figuren finns en skiss av gasturbinens process. Även där syns de olika värdena från processen, på ett mer överskådligt sätt.

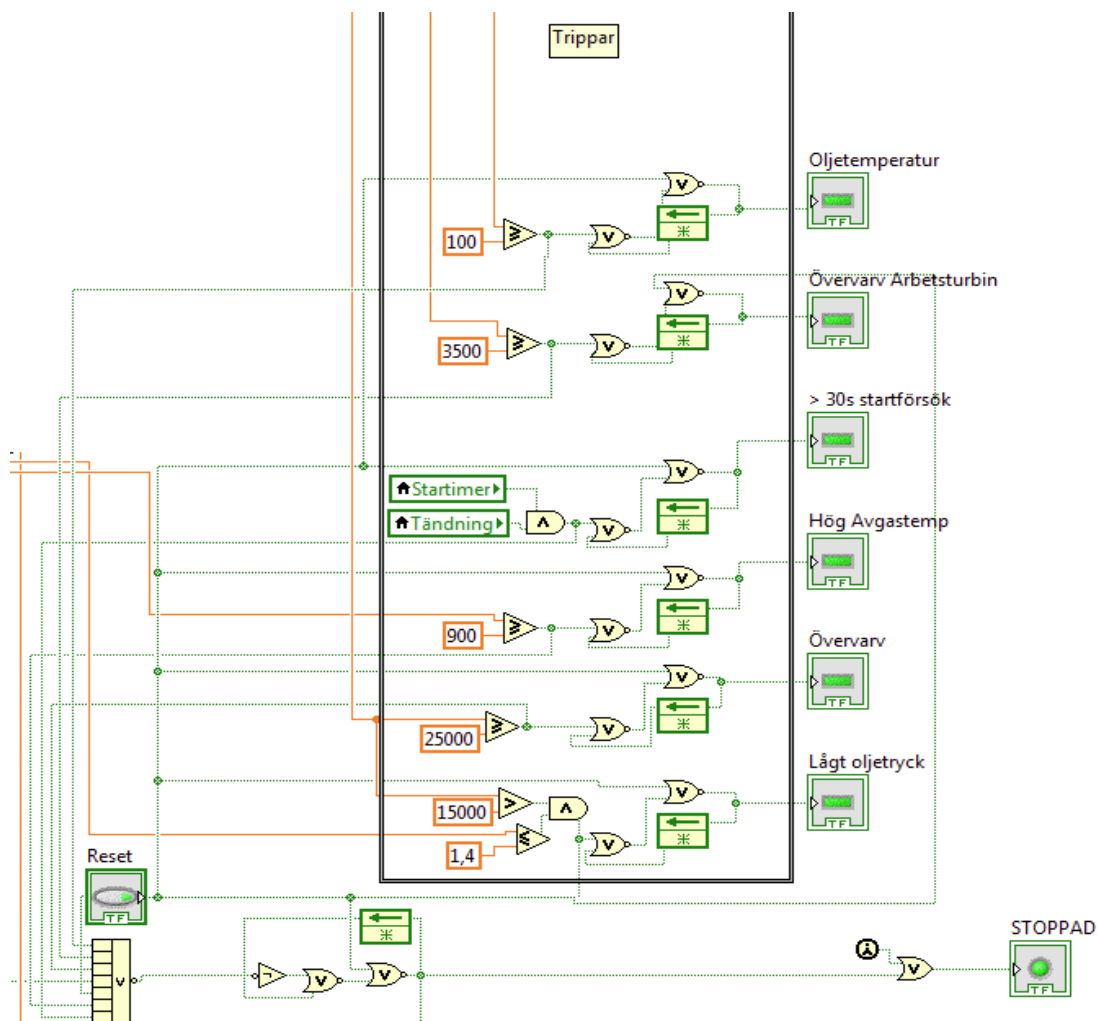
För att undvika att användare av misstag ska komma in och ändra i programmet, har en applikation av frontpanelen skapats. Det innebär att endast applikationen behöver vara öppen när gasturbinen ska köras, och inte själva programmet. På så sätt nås inte själva programmet och dess inställningar.



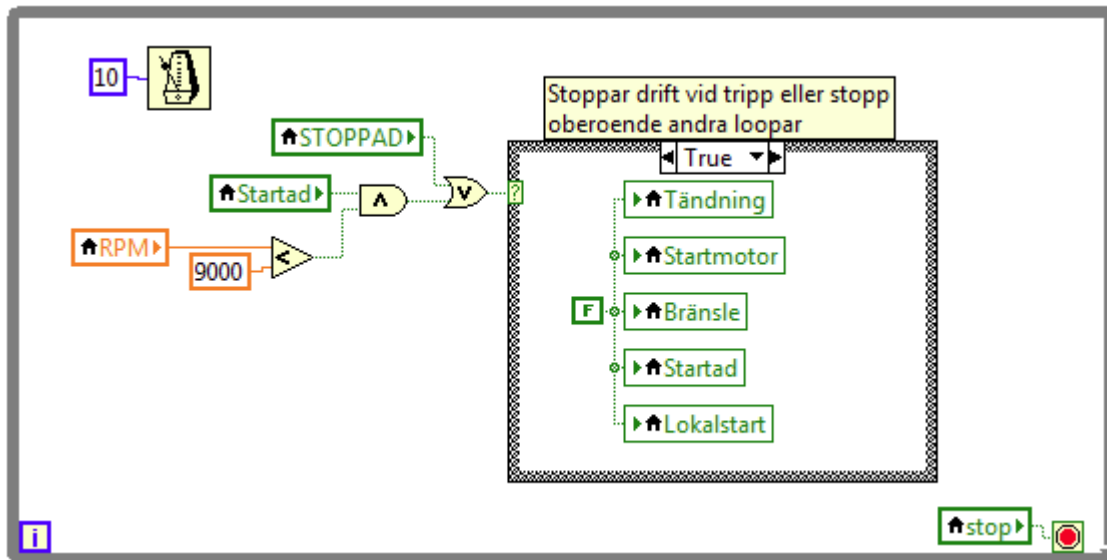
Figur 11. Frontpanel.

4.4 Driftsäkerhet

Driftsäkerheten utgörs av ett antal trippfunktioner i övervakningsprogrammet. Det vill säga att vid överskridandet av ett visst inställt värde stoppar programmet gasturbinen genom att ge ut en nollsignal till startmotorn, tändningen och bränslemagnetventilen så att den stänger och på så sätt stoppar bränsleflödet, även gasreglaget nollställs. Detta sker vid för högt eller lågt varvtal på arbetsturbinen eller gasturbinen, vid för lågt smörjoljetryck, för hög smörjoljetemperatur, och vid för hög avgasertemperatur. Om startförloppet inte fullbordats inom 30 sekunder avbryts startsekvensen. Figur 12 och Figur 13 visar hur trippfunktionen ser ut i programmet.

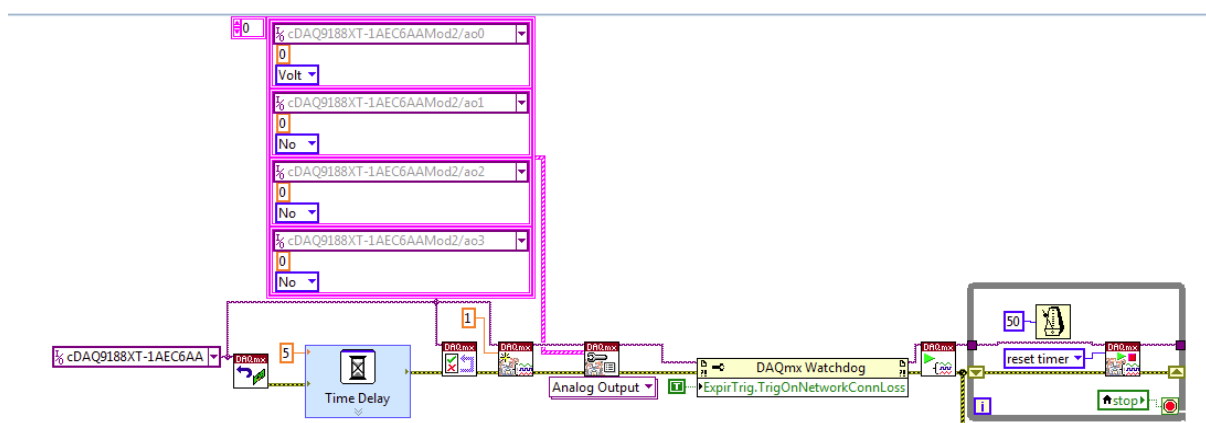


Figur 12. Trippar med hållkretsar.



Figur 13. Variabler som blir satta till noll vid tripp eller stopp.

Vid avbrott i kommunikationen mellan DAQ-enheten och programmet gör *watchdog*-funktionen att nollsignal skickas på samtliga ut signaler och gasturbinen stoppas. Hur det ser ut i programmet syns i Figur 14. Däremot upptäcktes det att *watchdog*-funktionen inte fungerade som tänkt om LabVIEW stängdes ned samtidigt som programmet kördes. Vid kontakt med National Instruments framkom det att de just blivit medvetna om problemet och att deras forsknings- och utvecklingsavdelning (R&D) arbetade med en lösning.

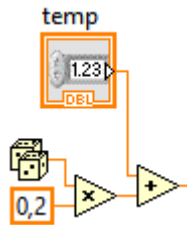


Figur 14. Watchdogfunktionen i programmet.

Ett fysiskt nödstopp har placerats innan magnetventilen för bränslet, så att när den aktiveras bryts spänningen till bränslemagnetventilen och bränsleflödet in till brännkamrarna stoppas.

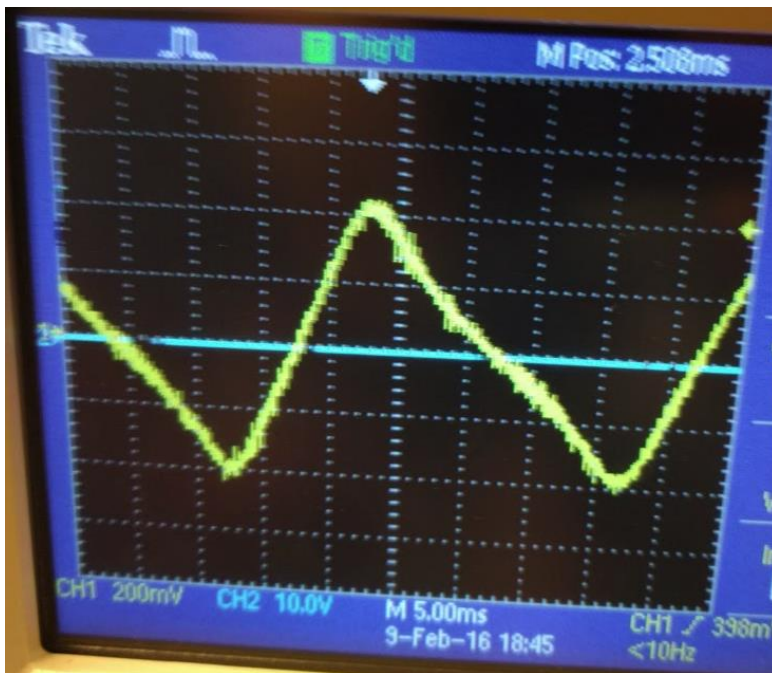
4.5 Simulering av signaler

För att kunna testa hur programmet fungerar vid olika driftförhållanden, när programmet utvecklades, behövde signalerna från turbinen simuleras. För att simulera temperaturerna skapades en user input som sedan varierade utsignalen med en slumpgenerator för att simulera störningar/brus, hur det ser ut ses i Figur 15 nedan. Det fungerade bra eftersom värdet på temperaturen som programmet tar in kunde justeras under tiden det körs.



Figur 15. Temperatursimulering.

Signalen från tachometern, som mäter varvtalet på turbinen, mättes upp med ett oscilloskop för att se hur signalen såg ut, den liknade på en blandning mellan en trekantsvåg och en sågkantsvåg. Den kunde återskapas med en signalgenerator genom att generera en trekantsvåg som försköts en aning. I Figur 16 syns trekantsvågen som uppmättes ifrån turbinens tachometer.



Figur 16. Trekantsvåg ifrån turbinens tachometern.

En signalgenerator kopplades till DAQ-enheten och amplituden och frekvensen togs ut från den starkaste tonen från triangelvågen i programmet. På så sätt kunde startsekvensen och övervarvsskyddet testas genom att justera frekvensen på signalgeneratoren.

Genom att simulera varvtalet från en signalgenerator istället för direkt i programmet fanns möjligheten att testa hur högt frekvensen kunde gå innan DAQ-enheten började mäta fel samt hur låg amplituden kunde gå.

4.6 Verkningsgrad

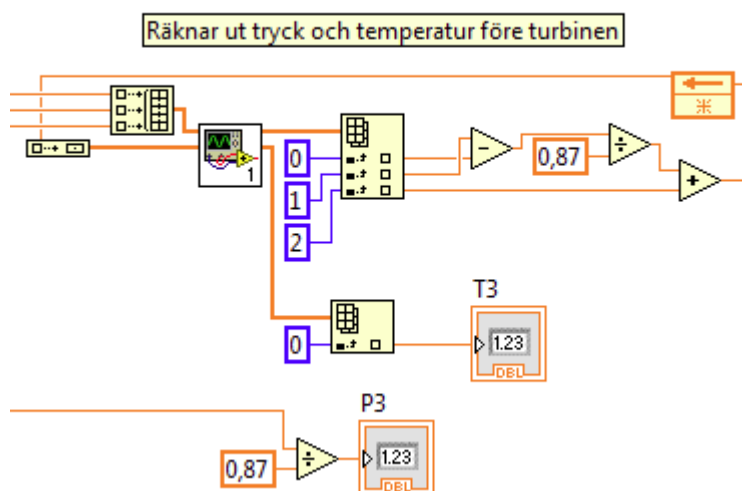
Det fanns ett önskemål ifrån uppdragsgivaren att kunna mäta den isentropiska verkningsgraden för gasturbinen. För att kunna räkna ut den behöver man ha tillgång till temperaturer innan (T_1) och efter kompressorhjulet (T_2), och innan (T_3) och efter gasturbinhjulet (T_4) (Alvarez, 2006, s. 265). På gasturbinen fanns det ingen temperaturgivare innan gasturbinhjulet, och det fanns eller ingen möjlighet att placera en givare där pga. risken att skada hållfastheten i det värmebeständiga materialet. Lösningen blev istället att skapa en teoretisk temperatur innan gasturbinhjulet (T_3) som sedan kan användas för uträkning av verkningsgrader vid framtida laborationer. För uträkning av T_3 användes en energibalansformel

$$\frac{P_K}{P_T} = \frac{T_2 - T_1}{T_3 - T_4}$$

där P_K är kompressoreffekten och P_T är turbineffekten. Värdena för T_1 , T_2 , T_3 , och T_4 togs ifrån manualen för gasturbinen (Försvarets materialverk, 1991, s. 23). Utifrån den högra sidan av ekvationen räknades en verkningsgrad på 87 % fram. Den teoretiska T_3 fås sedan ur

$$T_3 = \frac{T_2 - T_1}{0,87} + T_4$$

Hur den uträkningen är programmerad syns i Figur 17.

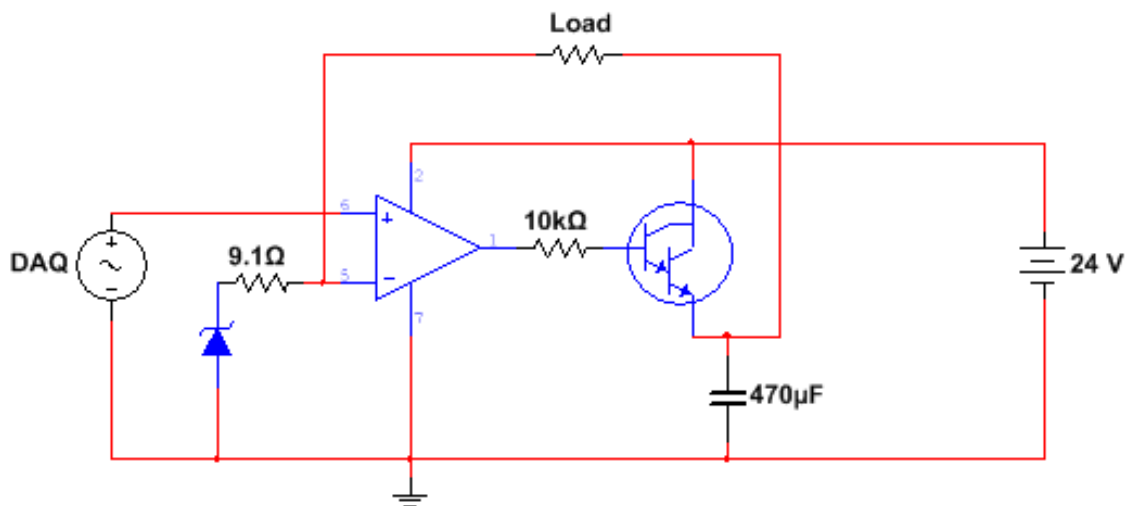


Figur 17. Uträkning av T_3 .

4.7 Gasreglaget

Spänningssignalen ifrån DAQ-enheten är 0-10 V och har en drivström på ± 1 mA. Gasreglaget har ett arbetsområde mellan 0-600 mA, därför var en förstärkningskrets nödvändig för att kunna styra gasreglaget (National Instruments, 2014). En testkrets byggdes upp i högskolans automationslaboratorium för att undersöka vilka komponenter som behövdes införskaffas. I förstärkarkretsen användes en OP-förstärkare 741 CN. OP-förstärkarens uppgift är att justera spänningen in till darlingtonkopplingen så att den i sin tur ger ut rätt ström till gasreglaget. En darlingtonkoppling består av två transistorer som är ihopkopplade till en komponent. Den behövs för att få den höga strömförstärkningen som krävdes och den kopplades till utgången på OP-förstärkaren (Molin, 2009, s. 327). Darlingtonkoppling som användes i kretsen var en BD675AG med en förstärkning 750 gånger. Ett effektmotstånd på 9,1 ohm placerades på OP-förstärkarens minusingång för att ge rätt strömstyrka i kretsen. Utifrån testkretsen hade ett motstånd på 15 ohm varit lagom för kretsen. Dock uppmärksammades inte det faktum att i testkretsen hade DAQ-enheten och elektronikkretsen olika referenspunkter på minussidan, medan i den slutgiltiga kretsen hade DAQ-enheten och elektronikkretsen samma referenspunkt. Detta innebar att effektmotståndet som till en början hade beställts inte fungerade för kretsen utan fick bytas ut mot ett motstånd på 9,1 ohm. Anledningen till att det krävdes ett effektmotstånd istället för ett vanligt motstånd, beror på den relativt höga strömmen på 600 mA som går igenom motståndet. Gasreglaget uppmättes till att ha ett motstånd på ca 10 ohm. Det visade sig att OP-förstärkaren bottenade vid ca 2 V, så för att få den att bete sig som att den

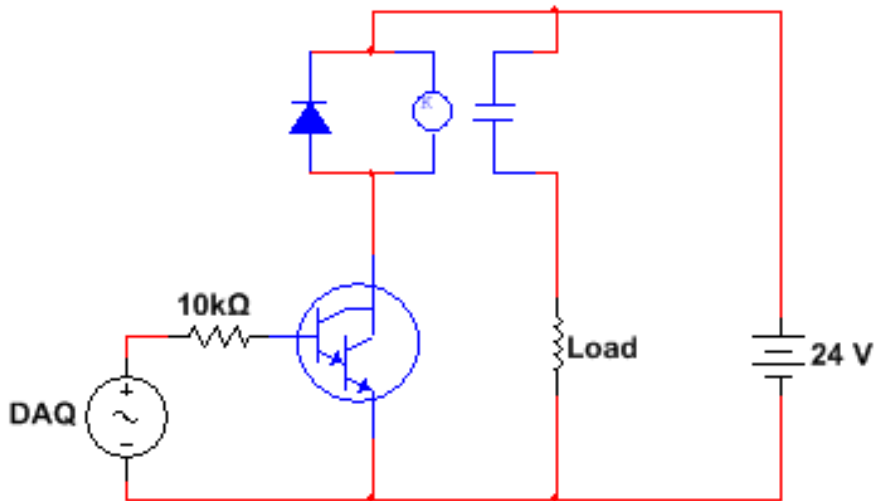
kom ner till 0 V sänktes spänningssignalen ifrån DAQ-enheten ca 2 V med hjälp av dioder på minussidan. Det innebär att DAQ-enheten skickar ut signaler mellan (-2)-8 V, fast OP-förstärkaren upplever det som att den får signaler mellan 0-10 V. Till en början kopplades tre stycken dioder med framspänning på 0,7 V seriekopplades för att tillsammans ge ett spänningsfall på 2,1 V, den kopplingen byttes senare ut mot en zenerdiod. För att ta bort eventuella självsvängningar i kretsen kopplades en kondensator på 470 μF mellan darlingtonkopplingens emitter och jord. Kretsen i sin helhet syns nedan i Figur 18, och noggrannare karakteristik för de darlingtonkopplingen och OP-förstärkaren finns i bilagorna 3 och 4.



Figur 18. Gasreglagekretsen.

4.8 Kretsar för startmotor, tändning, matarpump för bränsle och bränslemagnetventil

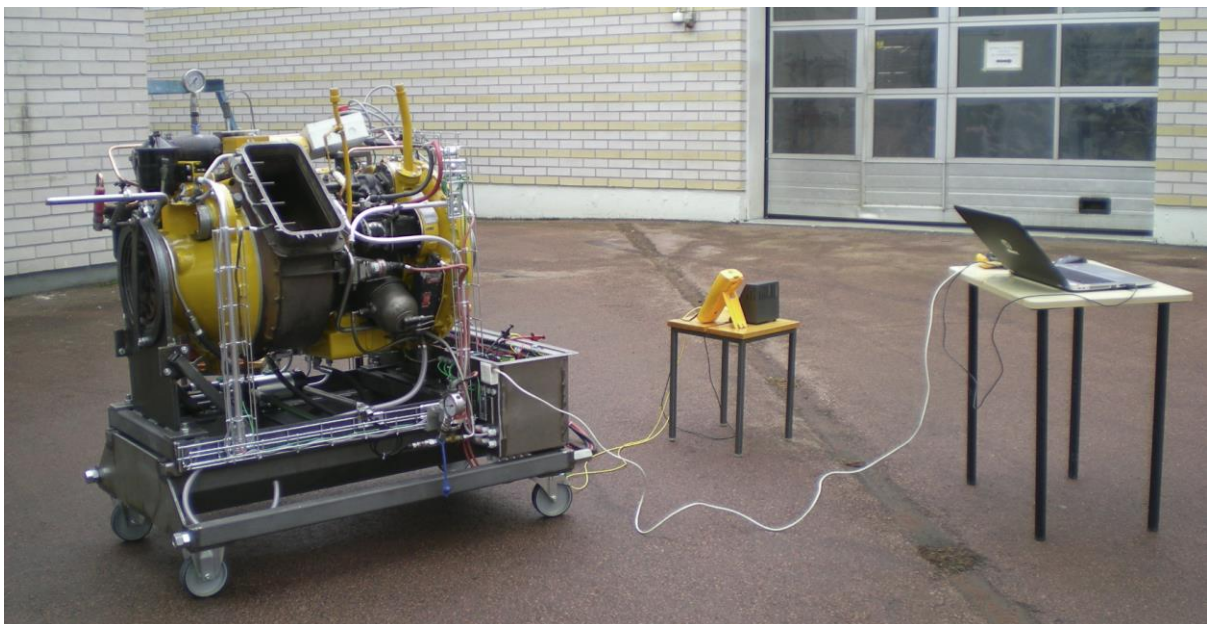
Kretsarna för startmotor, tändning, matarpump för bränsle och bränslemagnetventil ser likadana ut. DAQ-enheten ger maximalt 1 mA, vilket var för lite för att kunna aktivera de olika komponenterna. En darlingtonkoppling användes för att höja strömmen tillräckligt för att reläerna ska dra, reläerna i sin tur gav tillräcklig med ström för att kunna aktivera de olika komponenterna. Dioden kopplades parallellt med reläet som en backventil för att skydda darlingtonkopplingen mot backström som bildas när reläet släpper. I Figur 19 syns kopplingschemat för kretsarna.



Figur 19. Krets för startmotor, tändning, matarpump och magnetventil för bränslet.

4.9 Uppstart och testkörning av gasturbinen

Inför testkörningen testades alla insignaler ifrån givarna. Dessa fungerade som de skulle. Noggrannare tester gjordes på utsignalerna för att verkligen se att alla reläer drog och att tändning, bränslematarpump, startmotorn och magnetventilen för bränslet fungerade. Lite justeringar för gasreglaget behövdes för att få bort brus och självsvängningar, det åtgärdades med ett låpassfilter. Bränslemängden till brännkamrarna mättes och konstaterades stämma överens med uppgifterna i gasturbinens manual (Försvarets materialverk, 1991). Den startklara turbinen visas i Figur 20.



Figur 20. Testkörning vid Högskolan på Åland.

Testkörningen av gasturbinen ägde rum den 9/4 2016 utanför maskinlaboratoriet vid Högskolan på Åland. Vid första försöket startade gasturbinen vid ca 6000 rpm istället för vid 3500 rpm som manualen föreskrev. Anledningen var att ett av villkoren i programmet var att smörjoljetrycket skulle ha kommit upp till 1 bar innan magnetventilen för bränslet öppnar. Detta skedde inte vid 3500 rpm, utan det tog ca 20 sekunder innan oljetrycket var tillräckligt högt för start. Programmet stoppade uppstarten på grund av för lång starttid, vilken var satt till 30 sekunder. Enligt programmet måste varvtalet ha kommit över 16 000 rpm för att det ska räknas som att gasturbinen är startad. Vid testkörningen kom gasturbinen aldrig upp över det i tomgångskörning. Som åtgärd sänktes villkoret för uppnått varvtal för start och för smörjoljetrycket. Övervarvsskyddet var till en början satt till 20 000 som säkerhetsåtgärd. Vid testkörningen ökades gaspådraget så pass mycket att programmet nödstoppade gasturbinen på grund av övervarv. Vid de första försöken var arbetsturbinens axel låst för att undvika att arbetsturbinen skulle skena och ha sönder växeln. Efter några tester provade vi att köra turbinen med arbetsturbinens axel frikopplad och med ett övervarvsskydd för den satt till 3500 rpm. Totalt utfördes sex starter och högsta varvtalet som uppnåddes för gasturbinen var 22 000 rpm och för arbetsturbinen 3000 rpm.

5 VIDARE FORSKNING OCH FÖRDJUPNING

5.1 Vattenbromsen

Eftersom monteringen av vattenbromsen ihop med gasturbinen inte gjordes under tidsperioden prioriterades inte heller arbetet med vattenbromsen på programmeringssidan. Vissa temperaturer och tryckmätningar förbereddes men inte styrningen av den elektro-pneumatiskt styrda ventilen för utflöde och tryckreglering. Det skulle ha krävts mer fördjupning av dess funktion. Tonvikten lades därför på gasturbinen och att få den funktionsduglig och driftsäker under den givna projekttiden. Arbetet med vattenbromsen är alltså något som måste ske utanför ramarna av detta projekt och examensarbete.

5.2 Gasturbinen

5.2.1 Gasreglering

När man ställer gasreglaget i programmet så gör DAQ-enheten och gasreglagekretsen om signalen till en ström som gör att en viss mängd bränsle kommer in i turbinen. Det här skulle fungera bra i teorin om man antar att allt är linjärt men i praktiken så är varken kretsen som gör om spänning till ström eller bränsleventilen helt linjära och det finns dessutom en viss hysteres som gör att det kommer in mer eller mindre bränsle beroende på om reglaget sänks till ett visst värde eller om det höjs det till samma värde. När man kör turbinen blir komponenter i kretskortet varma på grund av strömmen som går igenom kretsen, detta ändrar komponenternas egenskaper något. Allt det här bidrar till att man inte alltid får ut den önskade effekten eller varvtalet man vill ha, och att varvtalet vandrar under tiden turbinen är igång. För att förhindra detta är det tänkt att gasreglaget skall linjäriseras så att turbinen kommer närmare det önskade varvtal den ställs till från början och att den samtidigt ger ett börvärde till en I-regulator som ser till att hålla varvtalet stilla under tiden turbinen körs genom att ta bort felet som uppstår mellan det önskade varvtalet och det verkliga. En I-regulator är att föredra över P- och D-regulator då de lämnar kvar ett bestående fel vilket vill undvikas. En kombination av de olika reglerteknikerna verkar till en början onödig om linjäriseringen blir bra, men kommer kanske att användas.

5.2.2 Ändringar av parametrar

Det är tänkt att man skall kunna ändra parametrar i applikationen, så som trip-gränser eller parametrar för startsekvensen, utan att behöva ändra värden i programmet. För att uppnå detta skall programmet läsa värden från filer som finns sparade lokalt på den dator programmet körs från istället för konstanter i programmet. Det kommer göra det möjligt att ändra värdena i applikationen genom att skriva nya värden till filerna som programmet läser från för att ersätta konstanterna i programmet.

5.2.3 Dataloggning

Programmet borde även kunna logga data under tiden turbinen körs och spara ner den lokalt på datorn så att det blir möjligt att i efterhand kan gå in och titta noggrannare på värdena för att tex. elever skall kunna göra uträkningar från värdena.

6 SLUTSATSER

Genom kvalitativ aktionsforskning lyckades vi utveckla ett fungerande styrsystem till gasturbinen som kunde övervaka driftsvärden och styra gasturbinens start, stopp och gaspådrag. Vidare utvecklade vi ett säkerhetssystem som larmar och stänger ner gasturbinen, vid felfunktioner. Programmet utvecklades i mjukvaran LabVIEW och med DAQ som signalbehandlingsenhet och hårdvara. Som extra säkerhet för systemet valdes en DAQ med *watchdog*-funktion. För att kunna styra gasreglaget, startmotorn och bränslemagnetventilen behövde vi konstruera elektronikkretsar eftersom den strömstyrka som DAQ-enheten gav ut inte var tillräckligt stora.

Vid val av givare valde vi givare som gav signal antingen 0 – 10 V, eller 4 – 20 mA.

En applikation av frontpanelen skapades för att göra den mer lätthanterlig och för att skydda det bakomvarande programmet.

En testkörning av gasturbinen ägde rum och även om inte allt stämde enligt manualen för gasturbinen, så var det en lyckad testkörning. Funktionerna i programmet fungerade som det var tänkt.

Tyvärr hann vi inte med allt när det gäller förberedelserna för vattenbromsen i vårt styrsystem, utan det fås skjutas på framtida projekt. Däremot är det förberett för att ta emot mätning från vattenbromsens givare, och uträkning för effekt i programmet.

6.1 Egna reflektioner

Det finns mycket kvar att göra för att få programmet helt enligt beställarens önskemål. Vi var lite tidsoptimister som trodde att vi skulle hinna med mer än vad vi gjorde. Att lära sig hur programmeringen i LabVIEW skulle gå till tog upp mycket av vår tid. Eftersom Ove Westerlund under tiden har restaurerat gasturbinen var vi beroende av var han befann sig i processen för att kunna stämma av, dels vilka komponenter som skulle behövas, och hur vi skulle få de olika komponenterna att fungera ihop med programmet. Men även vilka funktioner i programmet som var önskvärda. Samtidigt var det just det, att projektet hela tiden var levande, att ändringar och anpassningar hela tiden skedde som gjorde arbetet intressant och inspirerande.

KÄLLFÖRTECKNING

- Alvarez, H. (2006). *Energiteknik del 1* (Vol. 3:7). Lund: Studentlitteratur AB.
- Alvarez, H. (2006). *Energiteknik del 2* (Vol. 3:6). Lund: Studentlitteratur AB.
- Bengtsson, L. (2004). *LabVIEW från början* (Vol. 7). Lund: Studentlitteratur AB.
- Försvarets materialverk. (1991). M7787-006290 Häfte 2 Motor A Gasturbin. i F. materialverk, *M7787-006250 Strv 103C reparationsbok 3 isärtagning och hopsättning* (s. 46). Försvarets bok- och blankettföråd.
- Höst, M., Regnell, B., & Runeson, P. (2006). *Att genomföra ett examensarbete* (Vol. 1:2). Lund: Studentlitteratur AB.
- Molin, B. (2009). *Analog elektronik* (Vol. 2:4). Lund: Studentlitteratur AB.
- National Instruments. (den 16 03 2011). *The Industrial Feature Set: Watchdog Timers*. Hämtat från National Instruments: <http://www.ni.com/white-paper/4289/en/> den 18 03 2016
- National Instruments. (den 13 06 2013). *Benefits of Programming Graphically in NI LabVIEW*. Hämtat från National Instruments: <http://www.ni.com/white-paper/14556/en/> den 18 03 2016
- National Instruments. (den 06 11 2014). *Data sheet NI 9263*. Hämtat från National Instruments: <http://www.ni.com/datasheet/pdf/en/ds-59> den 18 03 2016
- National Instruments. (den 02 09 2014). *How to Use and Implement the Watchdog Timer With NI-DAQmx*. Hämtat från National Instruments: <http://www.ni.com/product-documentation/14616/en/> den 18 03 2016
- National Instruments. (u.d.). *What is Data Acquisition?* Hämtat från National Instruments: <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/> den 18 03 2016
- Robson, C. (2007). *How to do a research project: A guide for undergraduate students*. Oxford: Blackwell Publishing Ltd.

DAQ-komponenter

cDAQ-9188XT	CompactDAQ 8-slot Ethernet Chassis
NI 9211	Thermocouple input
NI 9932	Connector block for thermocouple
NI 9207	Voltage/Current analog input
NI 9923	Front-mount for Voltage/Current analog input
NI 9263	Voltage analog output
NI 9977	Empty slot filler
NI 9205	Analog Voltage input

BD675, BD675A, BD677, BD677A, BD679, BD679A, BD681

BD681 is a Preferred Device

Plastic Medium-Power Silicon NPN Darlington

This series of plastic, medium-power silicon NPN Darlington transistors can be used as output devices in complementary general-purpose amplifier applications.

Features

- High DC Current Gain:
 $h_{FE} = 750 \text{ (Min) @ } I_C$
 $= 1.5 \text{ and } 2.0 \text{ Adc}$
- Monolithic Construction
- BD675, 675A, 677, 677A, 679, 679A, 681 are complementary with BD676, 676A, 678, 678A, 680, 680A, 682
- BD677, 677A, 679, 679A are equivalent to MJE 800, 801, 802, 803
- Pb-Free Packages are Available*

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage	BD675, A BD677, A BD679, A BD681 V_{CE0}	45 60 80 100	Vdc
Collector-Base Voltage	BD675, A BD677, A BD679, A BD681 V_{CB0}	45 60 80 100	Vdc
Emitter-Base Voltage	V_{EB0}	5.0	Vdc
Collector Current	I_C	4.0	Adc
Base Current	I_B	1.0	Adc
Total Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	40 0.32	W W/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-55 to +150	$^\circ\text{C}$

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction-to-Case	θ_{JC}	3.13	$^\circ\text{C/W}$

Maximum ratings are those values beyond which device damage can occur. Maximum ratings applied to the device are individual stress limit values (not normal operating conditions) and are not valid simultaneously. If these limits are exceeded, device functional operation is not implied, damage may occur and reliability may be affected.

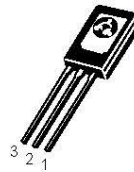
*For additional information on our Pb-Free strategy and soldering details, please download the ON Semiconductor Soldering and Mounting Techniques Reference Manual, SOLDERRM/D.



ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>

**4.0 AMPERES
POWER TRANSISTORS
NPN SILICON
60, 80, 100 VOLTS, 40 WATTS**



TO-225AA
CASE 77
STYLE 1

MARKING DIAGRAMS



BD6xx = Device Code
 x = 75, 77, 79, 81
 Y = Year
 WW = Work Week
 G = Pb-Free Package

ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 4 of this data sheet.

Preferred devices are recommended choices for future use and best overall value.

BD675, BD675A, BD677, BD677A, BD679, BD679A, BD681

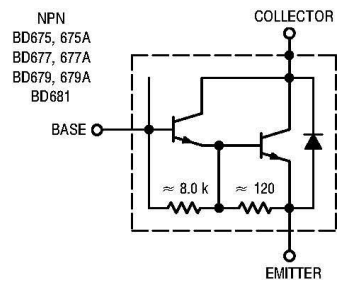


Figure 3. Darlington Circuit Schematic

ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping
BD675	TO-225AA	500 Units / Box
BD675G	TO-225AA (Pb-Free)	500 Units / Box
BD675A	TO-225AA	500 Units / Box
BD675AG	TO-225AA (Pb-Free)	500 Units / Box
BD677	TO-225AA	500 Units / Box
BD677G	TO-225AA (Pb-Free)	500 Units / Box
BD677A	TO-225AA	500 Units / Box
BD677AG	TO-225AA (Pb-Free)	500 Units / Box
BD679	TO-225AA	500 Units / Box
BD679G	TO-225AA (Pb-Free)	500 Units / Box
BD679A	TO-225AA	500 Units / Box
BD679AG	TO-225AA (Pb-Free)	500 Units / Box
BD681	TO-225AA	500 Units / Box
BD681G	TO-225AA (Pb-Free)	500 Units / Box

BD675, BD675A, BD677, BD677A, BD679, BD679A, BD681

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit	
OFF CHARACTERISTICS					
Collector-Emitter Breakdown Voltage, (Note 1) ($I_C = 50\text{ mAdc}$, $I_B = 0$)	BD675, 675A BD677, 677A BD679, 679A BD681	BV_{CEO}	45 60 80 100	- - - -	Vdc
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = \text{Half Rated } BV_{CEO}$, $I_B = 0$)		I_{CEO}	-	500	μAdc
Collector Cutoff Current ($V_{CB} = \text{Rated } BV_{CEO}$, $I_E = 0$) ($V_{CB} = \text{Rated } BV_{CEO}$, $I_E = 0$, $T_C = 100^\circ\text{C}$)		I_{CBO}	- -	0.2 2.0	mAdc
Emitter Cutoff Current ($V_{BE} = 5.0\text{ Vdc}$, $I_C = 0$)		I_{EBO}	-	2.0	mAdc

ON CHARACTERISTICS

DC Current Gain, (Note 1) ($I_C = 1.5\text{ Adc}$, $V_{CE} = 3.0\text{ Vdc}$) ($I_C = 2.0\text{ Adc}$, $V_{CE} = 3.0\text{ Vdc}$)	BD675, 677, 679, 681 BD675A, 677A, 679A	h_{FE}	750 750	- -	-
Collector-Emitter Saturation Voltage, (Note 1) ($I_C = 1.5\text{ Adc}$, $I_B = 30\text{ mAdc}$) ($I_C = 2.0\text{ Adc}$, $I_B = 40\text{ mAdc}$)	BD677, 679, 681 BD675A, 677A, 679A	$V_{CE(sat)}$	- -	2.5 2.8	Vdc
Base-Emitter On Voltage, (Note 1) ($I_C = 1.5\text{ Adc}$, $V_{CE} = 3.0\text{ Vdc}$) ($I_C = 2.0\text{ Adc}$, $V_{CE} = 3.0\text{ Vdc}$)	BD677, 679, 681 BD675A, 677A, 679A	$V_{BE(on)}$	- -	2.5 2.5	Vdc

DYNAMIC CHARACTERISTICS

Small Signal Current Gain ($I_C = 1.5\text{ Adc}$, $V_{CE} = 3.0\text{ Vdc}$, $f = 1.0\text{ MHz}$)		h_{fe}	1.0	-	-
---	--	----------	-----	---	---

1. Pulse Test: Pulse Width $\leq 300\ \mu\text{s}$, Duty Cycle $\leq 2.0\%$.

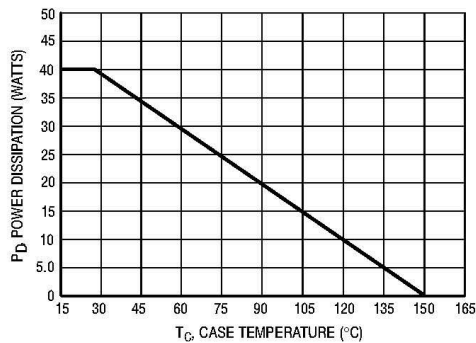


Figure 1. Power Temperature Derating

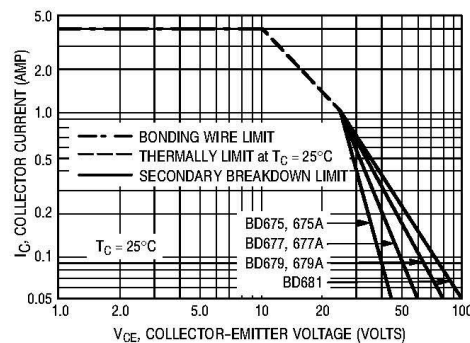


Figure 2. DC Safe Operating Area

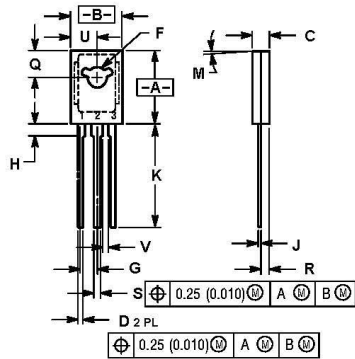
There are two limitations on the power handling ability of a transistor average junction temperature and secondary breakdown. Safe operating area curves indicate $I_C - V_{CE}$ limits of the transistor that must be observed for reliable operation; e.g., the transistor must not be subjected to greater dissipation than the curves indicate.

At high case temperatures, thermal limitations will reduce the power that can be handled to values less than the limitations imposed by secondary breakdown.

BD675, BD675A, BD677, BD677A, BD679, BD679A, BD681

PACKAGE DIMENSIONS

TO-225AA
CASE 77-09
ISSUE Z



- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. 077-01 THRU -08 OBSOLETE, NEW STANDARD 077-09.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.425	0.435	10.80	11.04
B	0.295	0.305	7.50	7.74
C	0.095	0.105	2.42	2.66
D	0.020	0.026	0.51	0.66
F	0.115	0.130	2.93	3.30
G	0.094 BSC		2.39 BSC	
H	0.050	0.065	1.27	2.41
J	0.015	0.025	0.39	0.63
K	0.575	0.655	14.61	16.63
M	5° TYP		5° TYP	
Q	0.148	0.158	3.76	4.01
R	0.045	0.065	1.15	1.65
S	0.025	0.035	0.64	0.88
U	0.145	0.155	3.69	3.93
V	0.040	---	1.02	---

- STYLE 1:
1. EMITTER
2. COLLECTOR
3. BASE

ON Semiconductor and are registered trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC (SCILLC). SCILLC reserves the right to make changes without further notice to any products herein. SCILLC makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does SCILLC assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in SCILLC data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. SCILLC does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. SCILLC products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the SCILLC product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use SCILLC products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold SCILLC and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that SCILLC was negligent regarding the design or manufacture of the part. SCILLC is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer. This literature is subject to all applicable copyright laws and is not for resale in any manner.

PUBLICATION ORDERING INFORMATION

LITERATURE FULFILLMENT
Literature Distribution Center for ON Semiconductor
P.O. Box 61312, Phoenix, Arizona 85062-1312 USA
Phone: 480-829-7710 or 800-344-3860 Toll Free USA/Canada
Fax: 480-829-7709 or 800-344-3867 Toll Free USA/Canada
Email: orderlit@onsemi.com

N. American Technical Support 800-282-9855 Toll Free
USA/Canada
Japan: ON Semiconductor, Japan Customer Focus Center
2-9-1 Kamimeguro, Meguro-ku, Tokyo, Japan 153-0051
Phone: 81-3-5773-3850

ON Semiconductor Website: <http://onsemi.com>

Order Literature: <http://www.onsemi.com/lit/order>

For additional information, please contact your local Sales Representative.

BD675/D

LM741

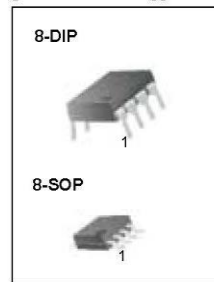
Single Operational Amplifier

Features

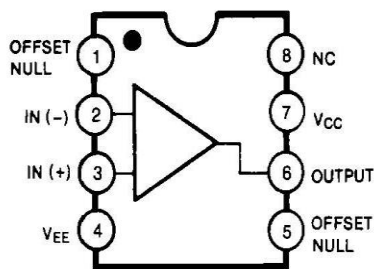
- Short circuit protection
- Excellent temperature stability
- Internal frequency compensation
- High Input voltage range
- Null of offset

Description

The LM741 series are general purpose operational amplifiers. It is intended for a wide range of analog applications. The high gain and wide range of operating voltage provide superior performance in intergrator, summing amplifier, and general feedback applications.

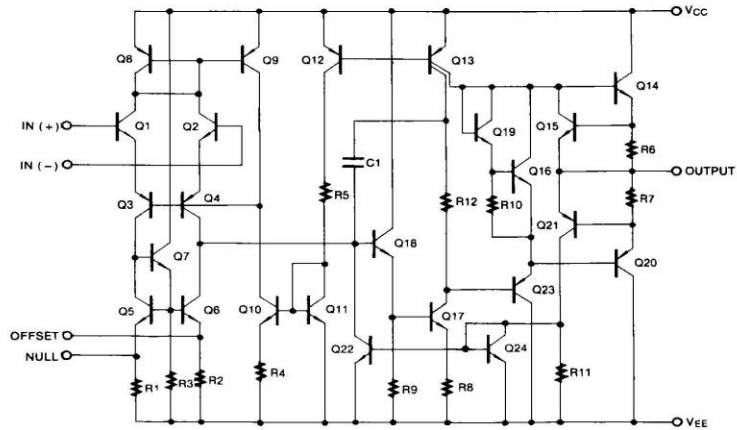


Internal Block Diagram



LM741

Schematic Diagram



Absolute Maximum Ratings (TA = 25°C)

Parameter	Symbol	Value	Unit
Supply Voltage	V _{CC}	±18	V
Differential Input Voltage	V _{I(DIFF)}	30	V
Input Voltage	V _I	±15	V
Output Short Circuit Duration	-	Indefinite	-
Power Dissipation	P _D	500	mW
Operating Temperature Range LM741C	T _{OPR}	0 ~ +70	°C
LM741I		-40 ~ +85	
Storage Temperature Range	T _{STG}	-65 ~ +150	°C

Electrical Characteristics(V_{CC} = 15V, V_{EE} = -15V, T_A = 25 °C, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	LM741C/LM741I			Unit	
			Min.	Typ.	Max.		
Input Offset Voltage	V _{IO}	R _S ≤ 10KΩ	-	2.0	6.0	mV	
		R _S ≤ 50Ω	-	-	-		
Input Offset Voltage Adjustment Range	V _{IO(R)}	V _{CC} = ±20V	-	±15	-	mV	
Input Offset Current	I _{IO}	-	-	20	200	nA	
Input Bias Current	I _{BIAS}	-	-	80	500	nA	
Input Resistance (Note1)	R _I	V _{CC} = ±20V	0.3	2.0	-	MΩ	
Input Voltage Range	V _{I(R)}	-	±12	±13	-	V	
Large Signal Voltage Gain	G _V	R _L ≥ 2KΩ	V _{CC} = ±20V, V _{O(P-P)} = ±15V	-	-	-	V/mV
			V _{CC} = ±15V, V _{O(P-P)} = ±10V	20	200	-	
Output Short Circuit Current	I _{SC}	-	-	25	-	mA	
Output Voltage Swing	V _{O(P-P)}	V _{CC} = ±20V	R _L ≥ 10KΩ	-	-	-	V
			R _L ≥ 2KΩ	-	-	-	
		V _{CC} = ±15V	R _L ≥ 10KΩ	±12	±14	-	
			R _L ≥ 2KΩ	±10	±13	-	
Common Mode Rejection Ratio	CMRR	R _S ≤ 10KΩ, V _{CM} = ±12V	70	90	-	dB	
		R _S ≤ 50Ω, V _{CM} = ±12V	-	-	-		
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	V _{CC} = ±15V to V _{CC} = ±15V R _S ≤ 50Ω	-	-	-	dB	
		V _{CC} = ±15V to V _{CC} = ±15V R _S ≤ 10KΩ	77	96	-		
Transient Response	Rise Time	TR	Unity Gain	-	0.3	-	μs
	Overshoot	OS		-	10	-	%
Bandwidth	BW	-	-	-	-	MHz	
Slew Rate	SR	Unity Gain	-	0.5	-	V/μs	
Supply Current	ICC	R _L = ∞Ω	-	1.5	2.8	mA	
Power Consumption	P _C	V _{CC} = ±20V	-	-	-	mW	
		V _{CC} = ±15V	-	50	85		

Note:

1. Guaranteed by design.

Typical Performance Characteristics

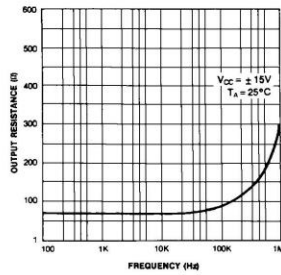


Figure 1. Output Resistance vs Frequency

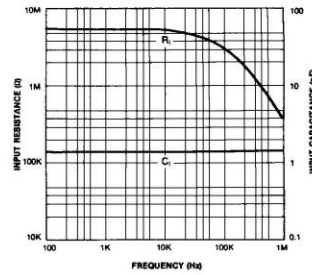


Figure 2. Input Resistance and Input Capacitance vs Frequency

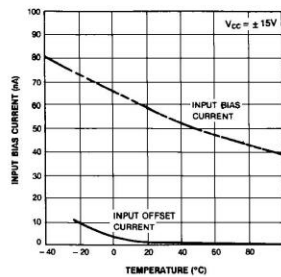


Figure 3. Input Bias Current vs Ambient Temperature

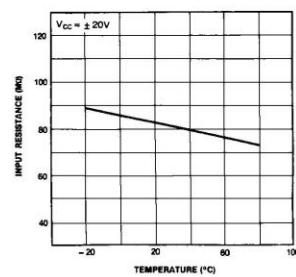


Figure 4. Power Consumption vs Ambient Temperature

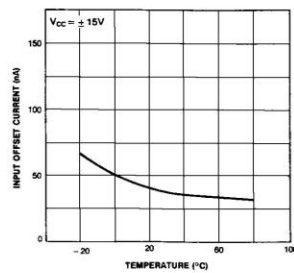


Figure 5. Input Offset Current vs Ambient Temperature

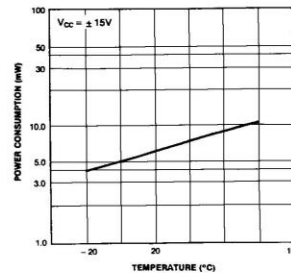


Figure 6. Input Resistance vs Ambient Temperature

Typical Performance Characteristics (continued)

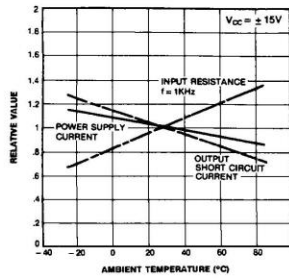


Figure 7. Normalized DC Parameters vs Ambient Temperature

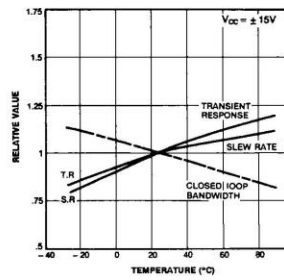


Figure 8. Frequency Characteristics vs Ambient Temperature

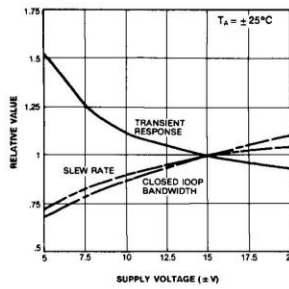


Figure 9. Frequency Characteristics vs Supply Voltage

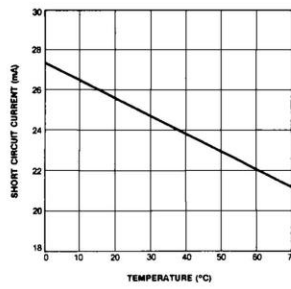


Figure 10. Output Short Circuit Current vs Ambient Temperature

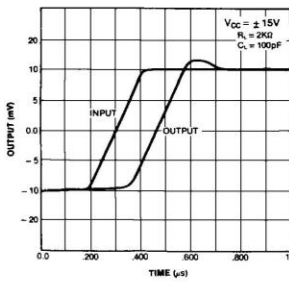


Figure 11. Transient Response

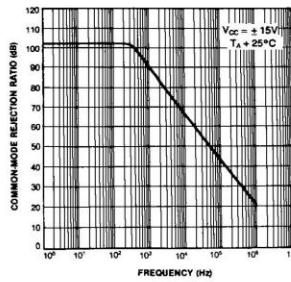


Figure 12. Common-Mode Rejection Ratio vs Frequency

Typical Performance Characteristics (continued)

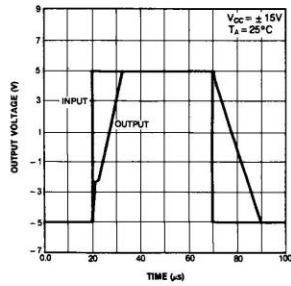


Figure 13. Voltage Follower Large Signal Pulse Response

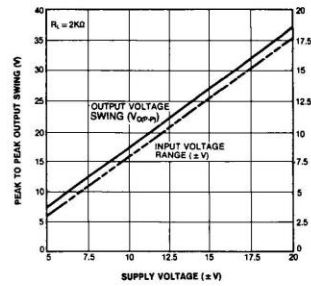


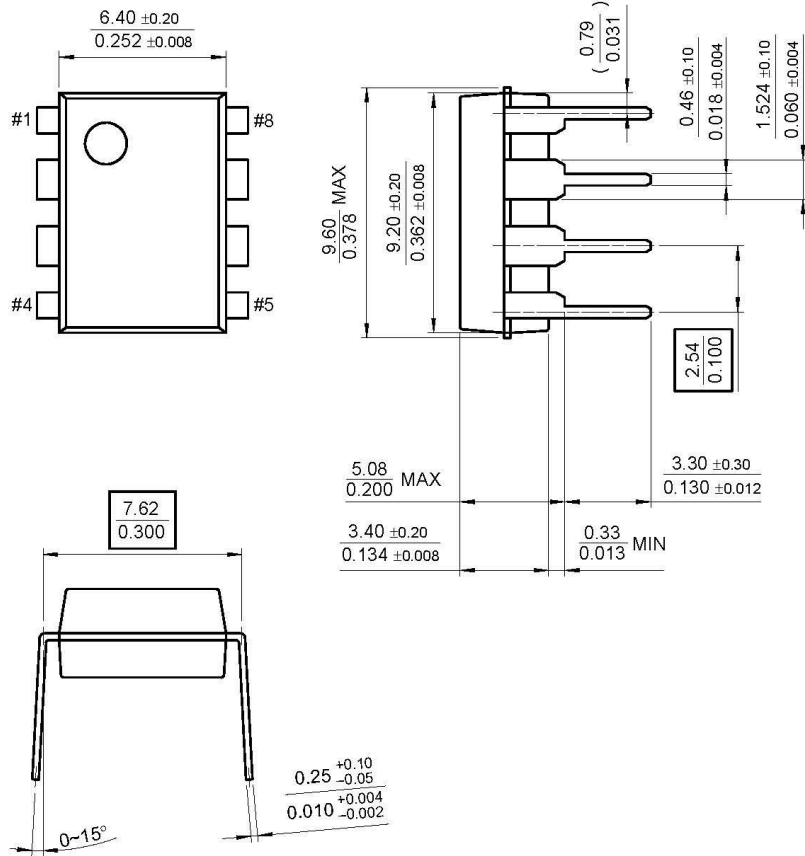
Figure 14. Output Swing and Input Range vs Supply Voltage

LM741

Mechanical Dimensions

Package

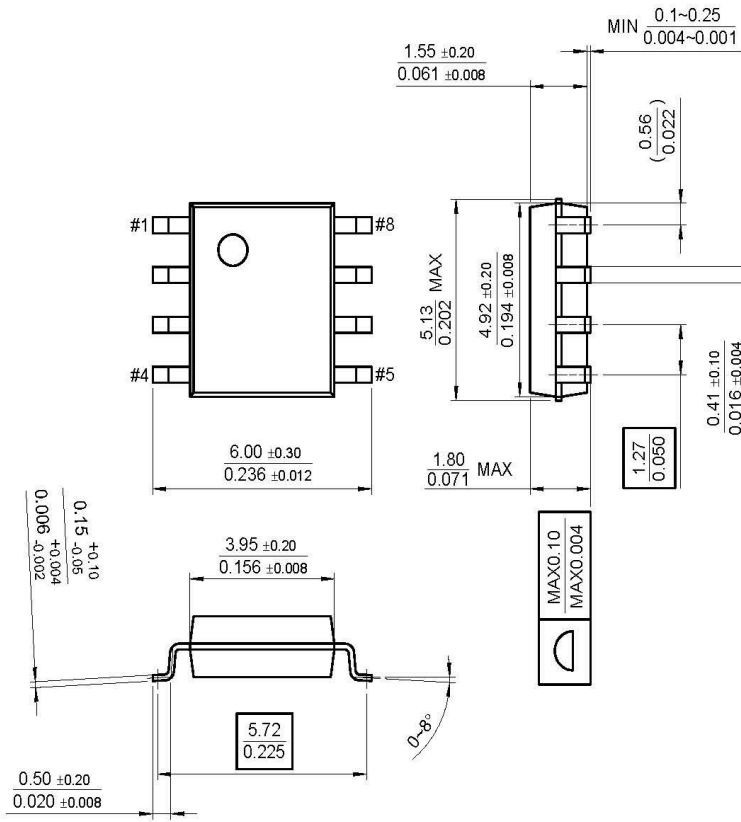
8-DIP



Mechanical Dimensions (Continued)

Package

8-SOP



LM741

Ordering Information

Product Number	Package	Operating Temperature
LM741CN	8-DIP	0 ~ + 70°C
LM741CM	8-SOP	
LM741IN	8-DIP	-40 ~ + 85°C

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury of the user.
2. A critical component in any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

www.fairchildsemi.com