Hastighetsstyrning av dieselmotorer i dieselkraftverk

Anton Österbro

Kandidatavhandling
Handledare: Hannu Toivonen
Institutionen för Informationsteknologi
Åbo Akademi
Datum: 26.03.2013

Referat

Den här avhandlingen kommer att undersöka hastighetsstyrning av dieselmotorer som används för att driva generatorer i kraftverk. Motorerna är stora lågvarviga modeller med direktinsprutning. Avhandlingen undersöker hur hastighetsstyrning går till, vilka ställdon som används och kort om regulatorinställning. Sedan undersöks även hur reglering av motorer kan styra miljöpåverkan. Avhandlingen avslutas med ett kort avsnitt om framtidsutsikterna för dieselkraftverk. Till sist finns även ett appendix där suddig logik presenteras i korthet.

Sökord

dieselmotor, dieselkraftverk, reglerteknik, hastighetsstyrning

Innehållsförteckning

Referat ---------- I

Sökord ---------- I

Innehållsförteckning ---------- 1

1. Inledning ---------- 2

2. Dieselmotorn ---------- 3

2.2 Användning av dieselmotorer för energiproduktion ---------- 5

3. Styrning av Dieselmotorns hastighet ---------- 5

3.1 Reglersystem för ett dieselkraftverk ---------- 7

3.2 Ställdon, in- och utsignaler ---------- 8

3.3 Modellering av ett dieselkraftverk ---------- 8

3.4 Val av regulator ---------- 9

3.4.1 Resultat av regulatormodifieringen ---------- 12

4. Miljöpåverkan ---------- 13

5. Framtidsutsikter för dieselkraftverk ---------- 16

6. Avslutande sammanfattning ---------- 17

Appendix A ---------- 19

Källförteckning ---------- 22

1. Inledning

Världens elkonsumption ökar stadigt i takt med att fler och fler utvecklingsländer industrialieras. För att möta den ökade efterfrågan utvecklas hela tiden nya tekniker för att generera el samtidigt som gamla beprövade tekniker förbättras. Dieselkraftverk används i stor utsträckning för att generera extra elektricitet när behovet sträcker sig över basbehovet, sådana toppar finns till exempel när människor stiger upp på morgonen och när de kommer hem från jobbet på eftermiddagen. Vid sådana toppar behövs kraftverk som snabbt kan börja generera elektricitet för att möta efterfrågan för att sedan stängas ned igen i väntan på nästa topp. Det kan verka lite föråldrat att använda råolja för att generera elektricitet i dagens läge. Man bör dock hålla i minnet att en motor baserad på dieselcykeln kan köras på många olika bränslen, till exempel naturgas [1].

Den här avhandlingen kommer att titta på hur reglertekniken kan tillämpas för att förbättra hastighetsstyrningen på dieselkraftverk. Hastighetsstyrningen är viktig att reglera effektivt för att kunna hålla hög kvalitet på elektriciteten som levereras av kraftverket. Centrala frågor i som besvaras nedan är varför hastighetsregleringen behövs, hur den utförs och varför det är ett intressant område.

2. Dieselmotorn

Dieselmotorn är en typ av förbränningsmotor som tillämpar dieselcykeln för att omvandla kemisk energi lagrad i bränsle till mekanisk energi. Dieselcykeln presenterades av Rudolph Diesel i patent från 1892 respektive 1893 som ett alternativ för att öka effektiviteten hos ottomotorn [1]. I en dieselmotor komprimeras luften tills den når en temperatur som är högre än drivmedlets antändningstemperatur varpå drivmedlet sprutas in under högt tryck. Detta medför att drivmedlet självantänder på mycket kort tid. I en ottomotor sprutas en luft och bränsleblandning in i cylindern som sedan antänds av en elektrisk gnista från ett tändstift [2].

Dieselmotorer delas in i två huvudgrupper som sedan delas enligt storlek. Den numera vanligast förekommande huvudgruppen är motorer med direktinsprutning. I en sådan motor sprutas bränslet direkt in i förbränningskammaren. En förbränningskammare kan ett hålrum i kolvtoppen eller så utgörs kammaren av att kolvtoppen är konkav, detta kallas för en förbränningskammare av öppen typ. Den andra huvudgruppen är motorer med en förkammare där bränslet sprutas in. Bränslet rör sig från förkammaren till cylindern genom en trång kanal. På grund av hög turbulens i förkammaren förbränns bränslet snabbare än vid direktinsprutning, detta ger en fördel i och med att förkammardieseln kan arbeta vid högre varvtal. Nackdelen med förkammare är dock att värme- och strömningsförlusterna blir stora, det ger hög bränsleförbrukning [2]. Förutom dessa två huvudgrupper delar man även in dieselmotorer i tre kategorier beroende på storlek samt om motorn är av två- eller fyrtaktstyp. Storlekskategorierna är små, medelstora och stora motorer, där små motorer utvecklar mindre än 188 kW i effekt, medelstora utvecklar mellan 188 och 750 kW och stora motorer utvecklar mera än 750 kW [1].

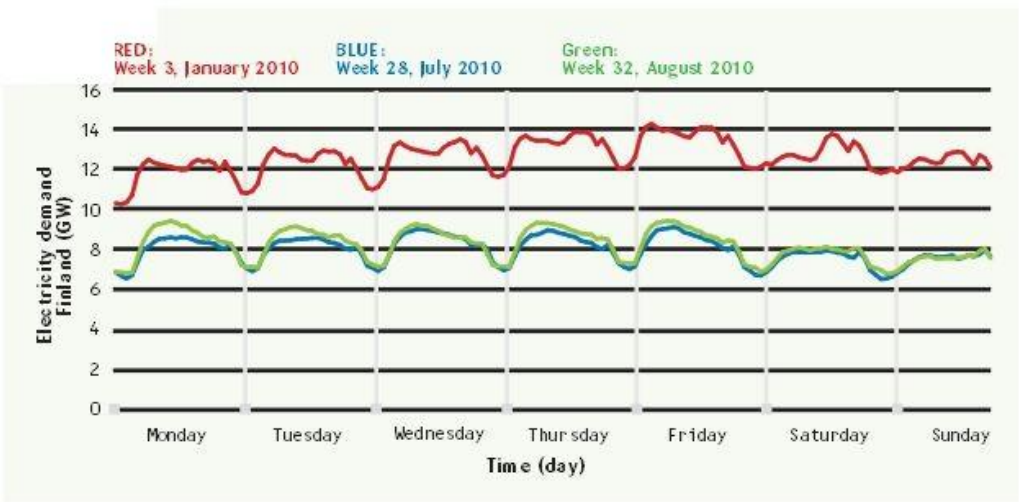
Dieselmotorns huvudsakliga fördel gentemot ottomotorn är dess verkningsgrad. Verkningsgraden beskriver hur hög andel av bränslets energi som omvandlats från kemisk till mekanisk form. Dieselmotorns höga verkningsgrad beror i huvudsak på två bidragande faktorer. För det första ökar verkningsgraden hos en

förbränningsmotor om kompressionsförhållandet ökar. En dieselmotor kan ha ett högre kompressionsförhållande än en ottomotor på grund av att luft-bränsle blandningen i den efterföljande motorn självantänder vid hög kompression. Dieselmotorn undviker problem med självantändning, även kallat "knackning", genom att endast komprimera luft. Den andra faktorn är att vridmomentet, eller lasten, för en dieselmotor regleras genom att ändra på luft-bränsle förhållandet som förbränns. På grund av de höga temperaturerna på luften kan mycket snåla blandningar användas, detta betyder i sin tur att man inte behöver minska luftintagningen till motorn vilket gör att man inte tappar verkningsgrad vid låga laster. Som exempel kan nämnas att stora tvåtaktsmotorer kan uppnå verkningsgrader på över 50% medan mindre turboladdade fyrtaktsmotorer kan nå cirka 40% i verkningsgrad [3].

Dieselmotorn har även två huvudsakliga nackdelar gentemot ottomotorn, nämligen lägre prestanda per cylindervolym och problematiska utsläpp i form av sot och reaktiva former av kväveoxid, eller NO_x. Det första problemet avhjälps ganska enkelt genom att förkomprimera insugsluften med en kompressor eller en turbo, för att på det sättet öka luftvolymen i cylindern. Genom att öka luftvolymen kan mera bränsle sprutas in utan att ändra på luft-bränsle förhållandet. Som beskrivet ovan körs dieselmotorn på en väldigt snål luft-bränsle blandning, detta ger fördelen att kolmonoxid, CO, och oförbrända kolväten, HC, halterna är låga. Kväveoxid, NO_x halterna är å andra sidan ungefär på samma nivå som för ottomotorn. Man kan dock inte rena dieselmotorns avgaser lika effektivt med hjälp av en katalysator på grund av att avgaserna inte är i stökiometriska. NO_x bildas när förbränningen sker vid mycket höga temperaturer. En lovande metod för att reducera NO_x i avgaserna är därför att sänka förbränningstemperaturen genom att cirkulera nedkylda avgaser till insugsluften (eng. Exhaust Gas Recirculation), förkortas här EGR [3].

2.2 Användning av dieselmotorer för energiproduktion

Dieselmotorer kan användas för att generera elektricitet om de kopplas ihop med en generator, till exempel kan en använd synkronmotor användas för detta ändamål. Dieselkraftverk kan användas för att snabbt producera elektricitet om efterfrågan plötsligt ökar. Figur 1 visar hur elektricitetsbehovet varierar i Finland under en veckas tid under olika tider på året. I grafen kan man se att elektricitetsbehovet minskar under natten för att nå en botten ungefär vid midnatt, denna botten brukar kallas för basbehovet av elektricitet. Mindre kraftverk med till exempel dieselmotorer kan användas för att tillhandahålla behovet som övergår basbehovet eftersom man relativt snabbt kan starta och stänga av dieselkraftverken enligt behov [4].

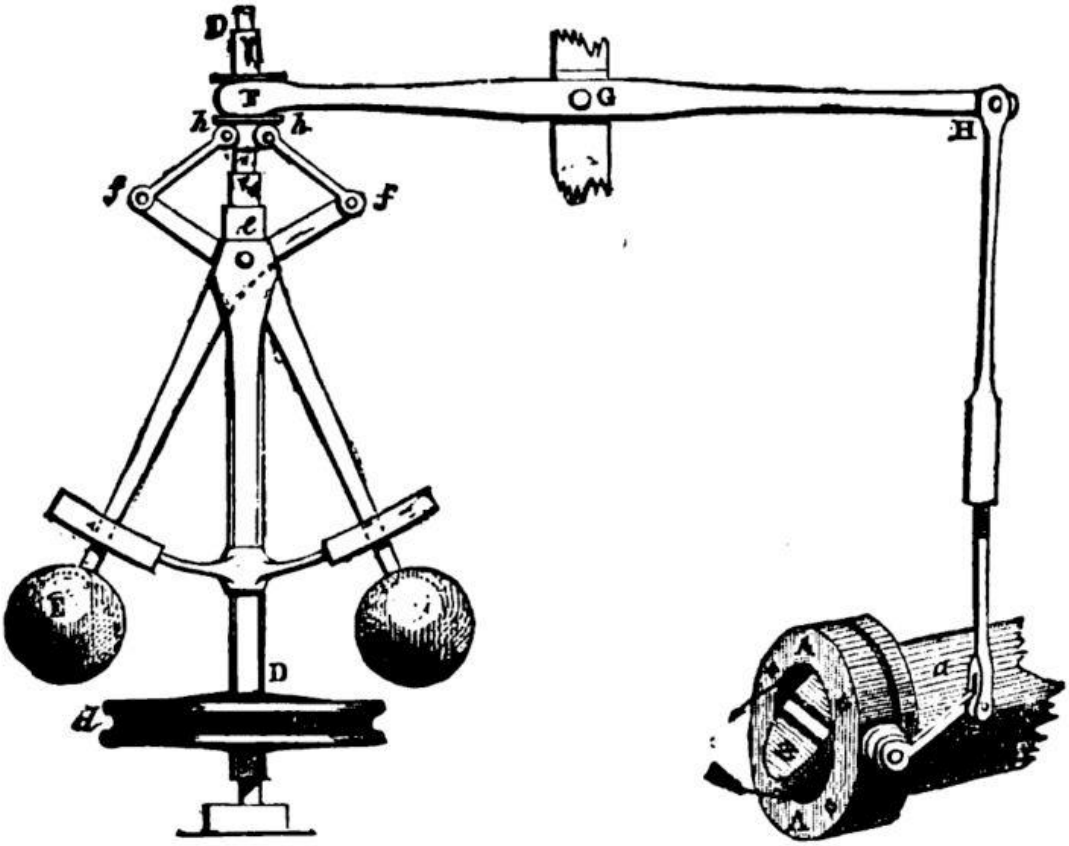


Figur 1 Energibehovet i Finland under en vecka [4]

3. Styrning av Dieselmotorns hastighet

Hastighetsreglering av motorer har länge varit ett av reglerteknikens största problem. Det första exemplet på modern reglerteknik med återkoppling är James Watts centrifugal-regulator som användes för att reglera hastigheten på hans ångmaskin. Centrifugal-regulatorn består av två vikter kopplade till ångmaskinens vevaxel så att de snurrar kring en böjlig axel. På grund av rotationen kommer en centrifugalkraft att inverka på vikterna och lyfta dem, när vikterna når en viss position kommer en ventil som styr ångtillförseln till motorn att stängas. När ventilen stängs sänks hastigheten på motorn och vikterna sjunker nedåt vilket

öppnar ventilen [4]. En skiss på en centrifugalregulator kan ses i figur 2. Idag används som nämnts ovan oftast digitala regulatorer.



Figur 2 En skiss av en centrifugalregulator [7]

Behovet av hatighetsreglering är i dieselmotorer så stort att någon form av regulator måste finnas. Man behöver reglera både den maximala hastigheten och den minimala hastigheten. Den maximala hastigheten angränsas för att undvika skador på motorn medan den minimala regleras för att uppnå önskad tomgång. Vid reglering av en sugmotorer hålls lufttillförseln till motorn konstant vilket betyder att endast bränsletillförseln ändrar beroende på vridmomentsbehovet. Vid turboladdning kan även luftmängden kontrolleras detta gör att motorns dynamik blir mycket mera invecklad [5].

Hastighetsreglering av en dieselmotor sker ofta med analoga PID-regulatorer eller i vissa fall till och med mekaniska regulatorer. Den här texten kommer att fokusera på digitala hastighetsregulatorer, dessa används oftast i dieselkraftverk för att dela lasten mellan många dieselmotorer [6]. Hastighetsregleringens huvudsakliga uppgift i ett dieselkraftverk som arbetar utanför det huvdsakliga elnätet är att upprätthålla nominell polspänning och dess nominella frekvens [7]. Till exempel skulle ett kraftverk kopplat till elnätet ha den nominella polspänningen $230\,V$ med frekvensen $50\,Hz$.

3.1 Reglersystem för ett dieselkraftverk

I ett dieselkraftverk används en hastighetsregulator för att reglera hastigheten på dieselmotorn och en automatisk spänningsregulator (eng. Automatic Voltage Regulator, AVR) för att reglera spänningen från generatorn. Dessa två regulatorer är sammanlänkade genom en digital kontrollpanel. De två regulatorerna är typiskt analoga, för att kunna styra motorernas hastghet mera effektivt borde de dock implementeras digitalt. En digital implementation ger fördelen att de två regulatorerna kan kommunicera. Ett exempel på en situation där kommunikation mellan regulatorerna är fördelaktigt är när lasten, eller kraftbehovet, ökar drastiskt. Om lasten plötsligt ökar kommer inte motorns kinetiska energi att räcka till för att kompensera för det ökade behovet av elektrisk energi. Detta leder till att motorns hastighet sjunker vilket i sin tur leder till att polspänningen sjunker. I en sådan situation svarar hastighetsregulatorn genom att öka bränsletillförseln till motorn för att på så sätt öka hastigheten. En AVR svarar på situationen genom att försöka uppehålla utsatt polspänning genom att öka lasten. Resultatet av att de båda regulatorerna motverkar varandra är att tiden för att återställa hastigheten förlängs avsevärt. Problement ovan kan avhjälpas genom att implementera hela reglersystemet som en digital styrkrets [7].

3.2 Ställdon, in- och utsignaler

Dieselmotorns hastighet beror på förhållandet mellan bränsle och luft i cylindern. Man vill i regel inte begränsa luftmängden i cylindern utan man använder istället bränslemängden som variabel vid reglering [5]. Bränslemängden som sprutas in i cylindern kan regleras på olika sätt. Traditionellt har en utsatt mängd bränsle pumpats till cylindern till varje arbetstakt. Det här sättet att förse cylindern med bränsle har nackdelen att bränslet måste pumpas upp till önskat tryck igen vid varje arbetstakt, det ger inte möjligheten att styra förbränningen. I moderna dieselmotorer kan istället så kallade "common rail system", CRS, användas [10]. I ett CRS hålls bränslet under mycket högt tryck i ett rör som i sin tur är sammankopplat med insprutningsventiler [1]. Detta system har fördelen att man inte behöver vänta på att trycket ska byggas upp efter en insprutning eftersom det hålls konstant i röret. Det ger i sin tur möjligheten att med snabba ventiler kunna göra flera insprutningar per cykel och på så vis styra hur förbränningen sker i cylindern [5].

Som insignaler till regulatorn används skillnaden mellan motorns hastighet och önskad hastighet samt skillnaden mellan den nuvarande spänningen och önskad spänning. Som utsignal fås sedan massan för bränslet som ska användas i insprutningen [8].

3.3 Modellering av ett dieselkraftverk

Dieselmotorerna som används vid kraftverk är av envarvstyp, det vill säga de är designade för att hålla samma varvtal oberoende av last. Detta gör att modelleringen av motorerna ofta sker experimentellt. En modell kan till exempel fås genom att modellera en stegförändring i motorns hastighet. Informationen från systemets stegsvar anpassas sedan med minsta kvadratmetoden till en andra ordningens exponentialfunktion, det vill säga samma form som ekvation (1).

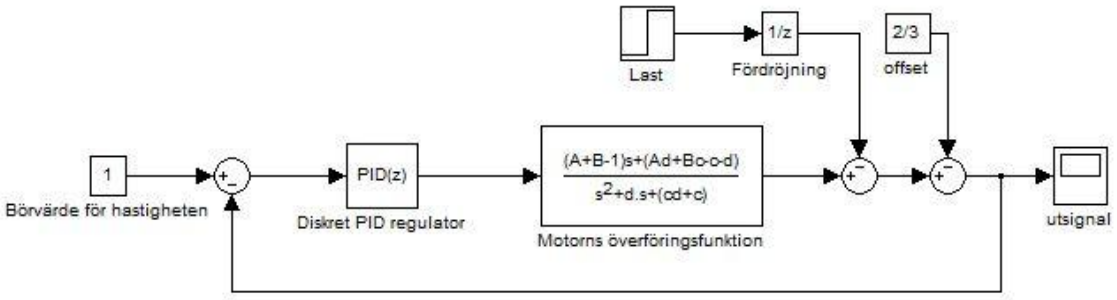
$$f(t) = 1 - Ae^{-ct} - Be^{-dt} \tag{1}$$

ekvation (1) kan sedan laplacetransformeras till en överföringsfunktion som har formen av ekvation(2). Överföringsfunktionen kan sedan användas för att simulera systemet vid regulatorinställning [9].

$$\mathcal{L}\{f(t)\} = \frac{1}{s} - \frac{A}{s+c} - \frac{B}{s+d} = -\frac{(A+B-1)s+(Ad+Bc-c-d)}{s^2+ds+(cd+c)} \tag{2}$$

3.4 Val av regulator

Traditionellt har regulatorer av vanlig analog PID-typ använts för att reglera hastigheten hos dieselmotorer. En analog PID regulator eller till och med en mekanisk regulator fungerar bra för reglering av en motor. För att reglera motorer i ett dieselkraftverk måste man dock använda digitala PID regulatorer för att kunna dela lasten mellan flera motorer. PID regulatorn används här på grund av att den är lätt att arbeta med. En konventionell PID regulator kan ställas in med hjälp av simuleringar där motorn modelleras enligt ekvation (2). I figur 3 ges ett exempel på hur ett simulink blockschema för simuleringarna kan se ut.

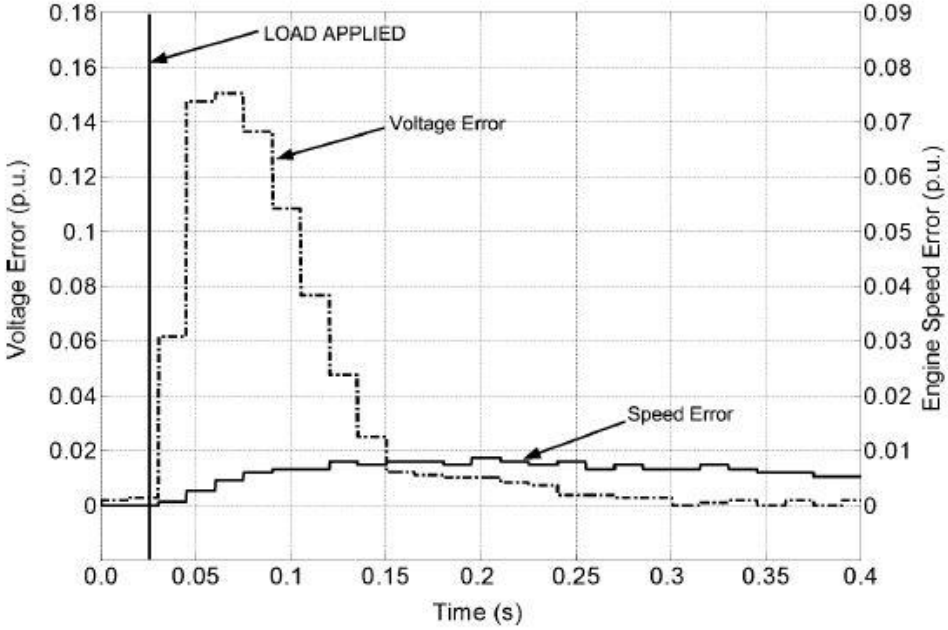


Figur 3 Blockschema för hastighetsstyrning med konventionell PID regulator. Schemat är en översättning av schemat från figur 5 i [9].

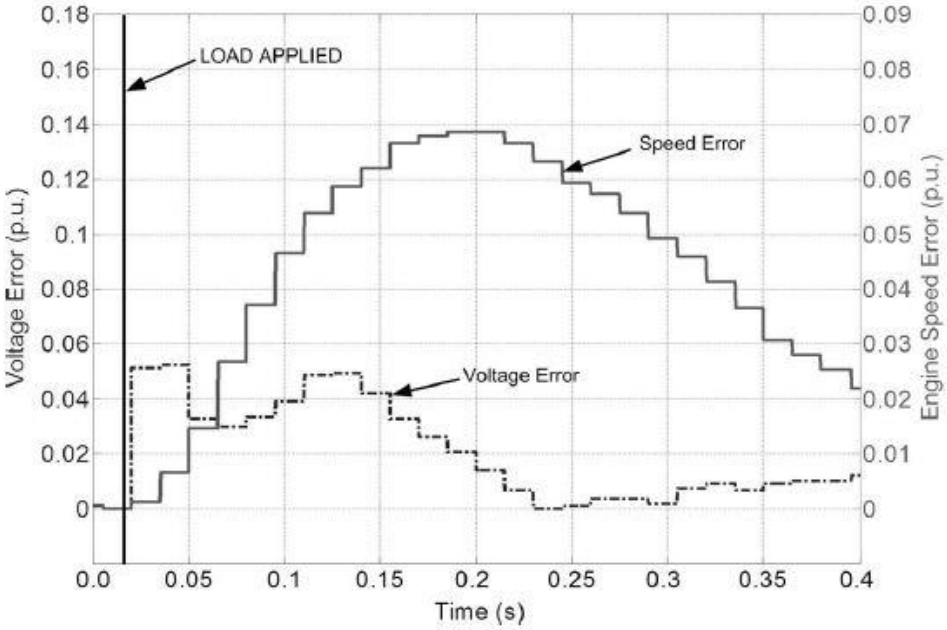
En regulator av den här typen ger efter inställning bättre reglerresultat än motsvarande analoga regulator. En digital regulator ger snabbare respons samtidigt som dämpningen mot överslängning är bättre [9].

I Blockschemat kan man se att regulatorn endast tar insignalen från skillnaden mellan den reella hastigheten och hastighetens börvärde. Tester har visat att

generatorn påverkas av ökad last snabbare och på ett kraftigare sätt än av sjunkande motorhastighet. I figur 4 och 5 är den här skillnaden åskådliggjord i en graf.



Figur 5 Graf över skillnaden mellan spänningsfelet och hastighetsfelet efter att lasten ökats med 30kVA effektfaktorn är här 0 [13].

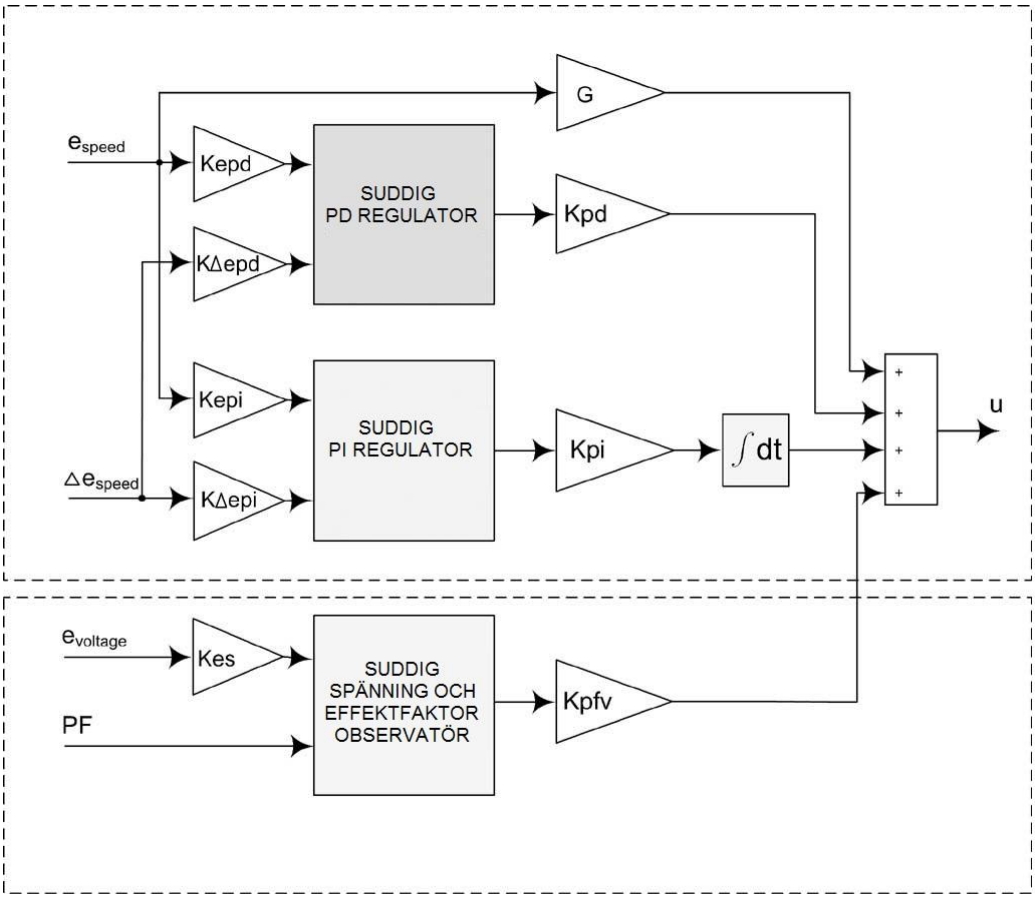


Figur 4 Graf över skillnaden mellan spänningsfelet (eng. Voltage Error) och hastighetsfelet (eng. Speed Error) efter att lasten ökats med 33kW effektfaktorn är här 1 [13].

I figurerna används olika effektfaktorer, nämligen 0 och 1. Vid effektfaktorn 0 är laddningen helt induktiv vilket betyder att all energi som laddningen bär går åt till att ladda magnetfältet, detta kallas skenbar effekt och har måttenheten volt-ampere. Vid effektfaktorn 1 är spänning och strömstyrka i fas, detta betyder att den skenbara effekten är lika stor som den aktiva effekten. Effektfaktorn beräknas enligt (3) där P är den aktiva effekten och S är den skenbara effekten. Effektfaktorn betäcknas $cos\varphi$.

$$cos\varphi = \frac{P}{UI} = \frac{P}{S} \tag{3}$$

Det här visar att regleringen kunde förbättras om regulatorn även hade kunskap om skillnaden mellan spänningens reella värde och dess börvärde samt laddningens effektfaktor. Det här innebär att regulatorn redan på förhand kan öka bränslemängden i cylindern vilket gör att varvtalen inte sjunker lika mycket [10]. Detta kan realiseras genom att implementera regulatorn med suddig logik och på så



Figur 6 Blockschema för den suddiga hastighetsregulatorn [13].

sätt erhålla en MISO-regulator, det vill säga en regulator med flera insignaler och en utsignal (eng. Multiple In Single Out).

För en snabb överblick av suddig logik inom reglertekniken se appendix A. Regulatorn beskrivs av blockschemat i figur 6. I blockschemat används följande beteckningar:

e_{speed}	Motorns hastighetsfel jämfört med börvärdet.
Δe_{speed}	Förändringen i motorns hastighetsfel jämfört med tidigare mätning.
$e_{voltage}$	Spänningsfel jämfört med börvärdet.
Kepd	Förstärkning av insignalen från motors hastighetsfel till PD regulatorn.
$K\Delta epd$	Förstärkning av insignalen från förändringen av hastighetsfelet till PD regulatorn.
Kepi	Förstärkning av insignalen från motors hastighetsfel till PI regulatorn.
$K\Delta epi$	Förstärkning av insignalen från förändringen av hastighetsfelet till PD regulatorn.
Kes	Förstärkning av spänningsfelet i insignalen till Observatören.
Kpd	Förstärkning av utsignalen från den suddiga PD regulatorn.
Kpi	Förstärkning av utsignalen från den suddiga PI regulatorn.
Kpfv	Förstärkning av utsignalen från den suddiga Observatören.
PF	Effektfaktor.

3.4.1 Resultat av regulatormodifieringen

Resultatet av att övergå till suddig logik och mäta både spänningsfel och effektfaktorn kan ses i tabell 1 och 2.

Tabell 1 Jämförelse mellan Konventionell PID regulator och den presenterade PID regulatorn med suddig logik vid effektförändringar med effektfaktorn 1 [13].

		Konventionell PID regulator	PID regulator med suddig logik och spännings och effektfaktors observatör
33kW last adderad	Maximal hastighets avvikelse	-6,9%	-4,8%
	Tid för att återgå till börvärdet	1,67 s	1,25 s
33kW last borttagen	Maximal hastighets avvikelse	+7,2%	+5,5%
	Tid för att återgå till börvärdet	1,35 s	1,34 s

Tabell 2 Jämförelse mellan Konventionell PID regulator och den presenterade PID regulatorn med suddig logik vid effektförändringar med effektfaktorn 0 [13].

			Konventionell PID regulator	PID regulator med suddig logik och spännings och effektfaktors observatör
30kVA last	Last adderad	Maximal hastighets avvikelse	-0,76%	-0,51%
	Last borttagen	Maximal hastighets avvikelse	+0,02%	+0,11%
		Tid för att återgå till börvärdet	0,63 s	0,59 s

Resultaten visar att regulatorn som använder suddig logik ger mindre avvikelse från börvärdet samtidigt som tiden för att återgå till börvärdet förkortas. Även om skillnaderna inte är så stora kan de ge tillräcklig prestanda ökning för att kraftverket ska kunna nå en högre prestanda klassificering enligt ISO8528-standarden [12].

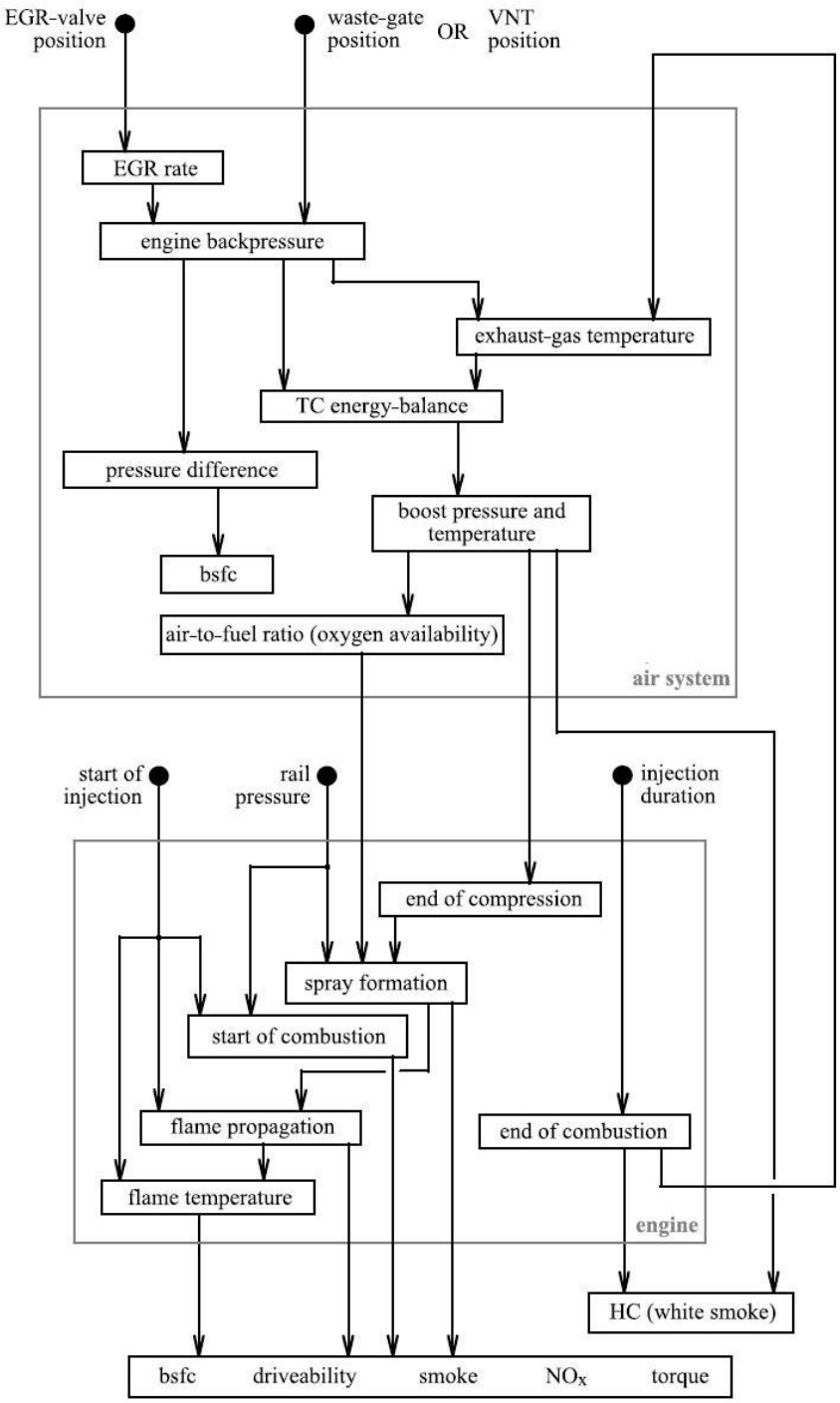
4. Miljöpåverkan

Styrningen av motorn kan även påverka dess inverkan på miljön. En motors miljöpåverkan beror som beskrivet ovan på hur mycket NO_x och partiklar, till exempel sotpartiklar, som släpps ut med avgaserna. Man strävar efter att minimera NO_x utsläppet samtidigt som man minskar eller helt eliminerar synlig rök, alltså sotpartiklar i avgaserna. En annan faktor som påverkar motorns miljöpåverkan är dess bränsleförbrukning. Bränsleförbrukningen beskrivs med hjälp av motorns termiska verkningsgrad. För att ge en inblick i hur pass komplext system en motor är visar figur 7 hur olika insignaler växelverkar och vilka utsignaler som de påverkar.

Verkningsgraden kan beräknas med (4) med hjälp av Carnotcykeln.

$$\eta_{carnot} = 1 - \frac{\vartheta_s}{\vartheta_c} \tag{4}$$

Där η_{carnot} är verkningsgraden, ϑ_s är avgasernas medeltemperatur och ϑ_c är förbränningens medeltemperatur. Formeln visar att verkningsgraden ökar med högre förbränningstemperatur i förhållande till avgastemperaturen [3]. På basis av detta kan man tro att mycket höga förbränningstemperaturer är att föredra, detta inverkar dock negativt på NO-halterna i avgaserna som formel (5) visar.



Figur 7 Insignalernas växelverkan och resulterande utsignaler

Produktionen av NO kan uppskattas med (5). Formeln visar att höga temperaturer och höga syrehalter i förbränningen medför att NO-halterna ökar.

$$\frac{d[NO]}{dt} = \frac{6 \cdot 10^{16}}{\sqrt{\vartheta_f}} e^{\frac{-69090}{\vartheta_f}} [O_2]^{0,5} [N_2] \tag{5}$$

I ekvationen används klamrar för att beskriva jämviktshalter och ϑ_f är förbränningens temperatur. Sothalterna i avgaserna beror också på syrehalten under förbränning samt syrehalten vid slutet av förbränningen. Dessutom inverkar formen på inspurtningen [3].

För att öka motorns verkningsgrad används insprutningsstart, bränsletryck och lufttryck som insignaler. Man strävar efter att få en tidig insprutningsstart eftersom förbränning vid kolvens övre dödläge ger hög värmeutveckling. Värmeutvecklingen är högre vid övre dödläget eftersom kolven svänger vid det här läget vilket leder till att förbränningskammarens volym hålls konstant under en kort tid. Genom att höja bränsletrycket får man kortare insprutningstider och snabbare förbränning. Högt lufttryck ger höga syrehalter vilket behövs vid förbränningen [3].

Kvävemonoxid halterna styrs som visat i formel (5) av temperaturen. För låga halter vill man därför ha sen insprutning. Dessutom används avgasrecirkulering för att sänka förbränningshastigheten. För att uppnå låga partikelhalter i avgaserna krävs hög förbränningstemperatur, detta åstadkommer man på samma sätt som för verkningsgraden ovan. Högt bränsletryck inverkar också positivt på insprutningens form [3]. Hög verkningsgrad och låga NO-halter kräver alltså direkt motsatta reglerstrategier. På grund av detta är styrning av miljöpåverkan en kompromiss. I tabell 3 visas hur olika reglerings-åtgärder påverkar motorns miljöpåverkan.

Tabell 3 Effekten på motorns miljöpåverkan av olika insignaler [3].

Insignal	Resultat av insignalen
Tidigare insprutningsstart	Bättre verkningsgrad Lägre partikelhalter Högre NO_x-halter
Högre bränsletryck	Högre NO_x-halter Lägre partikelhalter Något förbättrad verkningsgrad
Högre lufttryck	Bättre verkningsgrad Lägre partikelhalter Högre NO_x-halter
Ökad avgasrecirkulation	Lägre NO_x-halter Högre partikelhalter Lika eller något bättre verkningsgrad

5. Framtidsutsikter för dieselkraftverk

I dagens miljökritiska samhälle kan ett dieselkraftverk verka som en föråldrad metod för att producera elektricitet. Det huvudsakliga problemet med dieselkraftverk är att energin produceras genom förbränning av fossilt bränsle, dieseloljan. Problemet kan avhjälpas genom att bränslekonvertera kraftverket. Till exempel erbjuder Wärtsilä Oy bränsle-konverteringar åt sina dieselkraftverk. Med en bränslekonvertering menar man att kraftverket konverteras från att använda diesel som huvudsakligt bränsle till att använda naturgas som huvudbränsle [13].

Dieselkraftverken erbjuder även möjligheten att snabbt gå från standby-läge till att aktivt generera elektricitet. Detta är en egenskap som uppmärksammats mer på senare tid eftersom man vid olika katastrofer haft problem med elförsörjning till säkerhetskritiska system. Som exempel kan 2011 års katastrof vid Fukushima-Daiichi kärnkraftverket nämnas. Dieselkraftverken som försåg pumparna i kylsystemet med ström vid strömavbrott hade skadats av tsunamin vilket ledde till att reaktorns kylsystem inte fungerade. Resulatet av att kylningen inte fungerade

var att trycket blev så högt i reaktorn att den exploderade [14]. Dieselkraftverk kan även utnyttjas för att stabilisera försörjningen av el till elnätet om en eller flera producenter av någon anledning inte fungerar. Man använder även diesel-kraftverk för att generera el vid förbrukningstopparna som beskrevs i början av den här avhandlingen.

Framtidsutsikterna för dieselkraftverk är goda. Detta beror på flexibiliteten ovan och att världens energibehov ständigt ökar. Ökningen väntas vara störst i utvecklingsländer. Utvecklingsländernas energibehov ökar på grund av industrialiersing och efterföljande ökning i levnadsstandard. För att tillfredställa utvecklingsländernas ökande energibehov används dieselkraftverk i stor utsträckning. Detta beror på att dieselkraftverk är flexibla och relativt billiga i drift [4]. Konkreta exempel på att dieselkraftverk säljer bra och är en ökande marknad fås från aktörerna på marknaden. Här ges exempel från Wärtsilä Oy och MAN diesel & Turbo. Rapporterna är tagna från år 2011 respektive 2010. Wärtsilä såg 2011 en beställningsökning på 13% för deras kraftverk [15]. Man Diesels försäljning av kraftverk såg under 2010 en ökning på 3% [16].

6. Avslutande sammanfattning

Styrning av dieselmotorer har varit och är fortfarande ett av reglerteknikens största problemområden. I den här avhandlingen har främst hastighetsstryning av stora dieselmotorer i kraftverk studerats. På grund av avhandlingens längdrestriktioner har inte regleringen och hur den åstadkoms kunnat studeras i detalj utan vad som finns här är endast en ytlig bild av hur styrningen är uppbyggd och varför den behövs. Utöver hastighetsstyrningen har även miljöfaktorer som måste beaktas vid motorstyrning presenterats i korthet. Motorns miljöpåverkan visade sig vara ett komplext system där insignaler växelverkar. En noggrann undersökning av denna växelverkan och hur man på bästa sätt reglerar motorn med tanke på miljön övergår därför det här arbetet. Till sist undersöktes också framtidsutsikterna för dieselkraftverk. Det visade sig att marknaden för dieselkraftverk är en växande marknad med goda framtidsutsikter. Som orsak till de goda framtidsutsikterna och

tillväxtmöjligheterna nämndes det ökande energibehovet i utvecklingsländerna. Utöver detta finns också en kort överblick över suddig logik i appendix A. Suddig logik är ett relativt nytt begrepp som beskriver mängder inom matematiken som saknar väldefinierade gränser. Inom reglertekniken används suddig logik för att styra system som är svåra att modellera.

Appendix A

Suddig logik definierades matematiskt första gången 1965 av professor Lotfi Zadeh vid University of California at Berkley. Suddig logik beskriver sådana mängder inom matematiken som saknar väldefinierade gränser, vilket gör att gränserna kan beskrivas som suddiga. Till exempel är en 45-årig man varken väldigt gammal eller väldigt ung. Inom konventionell logik skulle detta skapa problem eftersom påstående bara kan anta värdena 1 eller 0 beroende på om de är sanna. I suddig logik kan ett påstående anta vilket värde som helst mellan 0 och 1, detta värde beskriver sedan påståenden från "inte en del av mängden" till "delvis i mängden" och slutligen "helt en del av mängden". Frågan om mannen tillhör den suddiga mängden väldigt gammal skulle då kunna besvaras med till exempel 0,3 [13]. Man brukar dock definiera värden inom suddig logik som ord snarare än siffror, variabeln kallas då för en linguistisk variabel (eng. Linguistic variable). Till exempel skulle då den linguistiska variabeln "storlek" kunna ha värdena "stor", "inte så stor", "liten" och så vidare [14].

Inom reglertekniken används suddig logik i allt från kameror till industriella processer. I en vanlig PID regulator modelleras systemet som ska regleras analytiskt med hjälp av differentialekvationer och lösningen av dessa ger svaret på hur systemet ska kontrolleras för att uppnå önskat beteende. Om en PID regulator implementeras med suddig logik skiftar fokus från systemet till användaren. Man fokuserar istället på hur tankegången hos en operatör som vill få systemet att uppföra sig på ett visst sätt skulle gå. Detta innebär att hela processen för att designa en regulator förändras [14]. Den största fördelen med suddig logik är att den möjliggör reglering av dåligt definierade system som ändå kan styras av en skicklig mänsklig operatör.

I en suddig reglerkrets beskrivs systemets dynamiska beteende av en mängd regler baserade på expertkunskap. Reglerna har formen:

`IF` (en mängd villkor som uppfylls) `THEN` (en mängd konsekvenser av villkoren)

Såna här IF-THEN satser kallas för suddiga villkorssatser (eng. fuzzy conditional statements) och inom reglertekniken kallas en sådan här sats en suddig reglerlag (eng. fuzzy control rule) om förvillkoret är ett tillstånd som systemet kan befinna sig i och konsekvensen av detta är en styråtgärd för systemet. En suddig reglerlag kan ha flera förvillkor och flera konsekvernser, i sådana fall pratar man om suddiga MIMO-system, alltså system med flera insignaler och flera utsignaler. Till skillnad från konventionell reglerteknik kan man med suddig reglering även ha system av MISO-typ, alltså flera insignaler och en utsignal. I sådana fall kan reglerlagarna se ut på följande sätt:

R_1: IF x är A_1 AND y är B_1 THEN z är C_1
R_2: IF x är A_2 AND y är B_2 THEN z är C_2
... ...
R_N: IF x är A_N AND y är B_N THEN z är C_N

Där x, y och z är linguistiska variabler som representerar två tillstånd och en styråtgärd för systemet. Medan A_i, B_i och C_i är linguistiska värden för dessa variabler.

Översättningen mellan suddiga variabler och klara variabler (eng. crisp variables) sker med suddifierings- och avsuddifieringsoperatorer (eng. fuzzifier & defuzzifier) enligt följande formler:

$$x = fuzzifier(x_0) \tag{5}$$

$$y_0 = defuzzifier(y) \tag{6}$$

där x och y är suddiga variabler och x_0 och y_0 är klara variabler. Designparametrarna för en suddig regulator följer nedan.

1) Definition av suddifieringsstrategier för att bestämma hur suddifieringsoperatorn ska fungera.
2) Definition av databasen där de klara värdena och deras motsvarande suddiga värden finns lagrade.
3) Definition av reglerlagarna.
4) Definition av de beslutsfattande logiken.
5) Definition av avsuddifieringsstrategier för att bestämma hur avsuddifieringsoperatorn ska fungera.

Det här var en väldigt snabb översyn av suddig logik och dess relevans för reglertekniken. För en mera komplett bild av hur suddig logik kan appliceras på reglertekniken och en detaljerad beskrivning av hur en suddig regulator designas rekomenderas [15] och [16].

Källförteckning

[1] J. Klimstra och M. Hotakainen, Smart Power Generation, Helsinki: Avian Publishers, 2011.

[2] Encyclopædia Britannica, ”diesel engine 2013,” [Online]. Available: http://www.britannica.com/EBchecked/topic/162716/diesel-engine. [Använd 22 02 2013].

[3] Nationalencyklopedin, ”förbränningsmotor,” [Online]. Available: http://www.ne.se/förbränningsmotor/kolvmotorn/dieselmotorn. [Använd 22 02 2013].

[4] L. Guzzella & A. Amstutz, ”Control of Diesel Engines,” *Control Systems, IEEE,* vol. 18, nr 5, pp. 53-71, October 1998.

[5] P. Wellstead och M. Readman, ”Engine Speed Control,” [Online]. Available: http://www.control-systems-principles.co.uk/whitepapers/engine-speed-control.pdf. [Använd 11 03 2013].

[6] L. Guzzella och C. H. Onder, Introduction to Modeling and Control of Internal Combustion Engine Systems, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2010.

[7] S. H. Ko, H. S. Moon, J. C. Kim, B. Y. Lee, S. E. Cho och S. H. Ryu, ”Development of electronic governor and simulator for the generating diesel engine,” i *ICCAS-SICE*, Fukuoka, 2009.

[8] K. L. Cheong, P. Y. Li och J. Xia, ”Control Oriented modeling and System Identification of a Diesel Generator Set (Genset),” i *American Control Conference (ACC)*, Baltimore, MD, 2010.

[9] D. J. McGowan, J. D. Morrow och M. G. McArdle, ”A digital PID speed controller for a diesel generating set,” i *Power Engineering Society General Meeting, 2003, IEEE*, 2003.

[10] R. Pakarinen, ”Nothing common about common rail,” 02 2007. [Online]. Available: www.wartsila.com/file/Wartsila/en/1278511962599a1267106724867-Wartsila-SP-A-Tw-4s-Engines-a.pdf. [Använd 17 03 2013].

[11] D. J. Morrow, B. Fox och D. J. McGowan, ”Integrated Governor Control for a Diesel Generating Set,” *IEEE Transactions on Energy Conversion,* vol. 21, nr 2,

pp. 476-483, 2006.

[12] D. J. McGowan, D. J. Morrow och B. Fox, ”Multiple Input Governor Control for a Diesel Generating Set,” *IEEE Transactions on Energy Conversion,* vol. 23, nr 3, pp. 851-859, 2008.

[13] J. Anturaniemi, S. Cheprasov och H. Huhtala, ”Gas-diesel conversions for power plant applications,” *Wärtsilä Technical Journal,* pp. 9-14, 01 2012.

[14] E. Strickland, ”Explainer: What Went Wrong in Japan's Nuclear Reactors,” IEEE Spectrum, 16 03 2011. [Online]. Available: http://spectrum.ieee.org/tech-talk/energy/nuclear/explainer-what-went-wrong-in-japans-nuclear-reactors. [Använd 26 03 2013].

[15] Wärtsilä Oy, ”Annual report 2011,” Wärtsilä Oy, 2011.

[16] Man Diesel & Turbo, ”Annual report 2010,” Man Diese l& Turbo, 2010.

[17] Encyclopædia Britannica Online, ”fuzzy logic,” 2013. [Online]. Available: http://www.britannica.com/EBchecked/topic/222966/fuzzy-logic. [Använd 18 03 2013].

[18] D. G. Schwarz och G. J. Klir, ”Fuzzy logic flowers in Japan,” *IEEE Spectrum,* pp. 32-35, Juli 1992.

[19] C.-C. C. Lee, ”Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller. I,” *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics,* vol. 20, nr 2, pp. 404 - 418 , 1990.

[20] C.-C. C. Lee, ” Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller. II,” *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics,* vol. 20, nr 2, pp. 419 - 435, 1990.