

# Systemskiss

FADR - FordonsAdaptiv DriftsRegulator

**Version 1.0**

## Status

|          |                |            |
|----------|----------------|------------|
| Granskad | Henrik Iredahl | 2015-09-24 |
| Godkänd  | Lars Eriksson  | 2015-09-24 |

**PROJEKTIDENTITET**

2015/HT,  
Linköpings universitet, ISY

## Gruppdeltagare

| <b>Namn</b>        | <b>Ansvar</b>                                   | <b>Telefon</b> | <b>E-post</b>           |
|--------------------|---|----------------|-------------------------|
| Isac Strömberg     | Projektledare                                   | 073 069 24 05  | isast208@student.liu.se |
| Robin Holmbom      | Mjukvaruansvarig                                | 070 388 29 06  | robho345@student.liu.se |
| Carl-Philip Lartén | Designansvarig ILC                              | 073 033 65 13  | carla404@student.liu.se |
| Hiren Kerai        | Designansvarig IFT                              | 070 364 41 53  | hirke413@student.liu.se |
| Erik Klasén        | Designansvarig modellering för reglerutveckling | 070 694 36 45  | erikl346@student.liu.se |
| Andrej Verem       | Testansvarig                                    | 073 989 96 01  | andve902@student.liu.se |
| Henrik Iredahl     | Dokument- & kvalitetsansvarig                   | 070 717 56 69  | henir012@student.liu.se |

**Hemsida:** <http://www.isy.liu.se/edu/projekt/tsrt10/2015/fordonsreglering/>

**Kund:** Volvo Cars (Fredrik Wemmert)

**Beställare:** Lars Eriksson

**Kursansvarig:** Daniel Axehill

**Handledare:** Vaheed Nezhadali

# Innehåll

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Dokumenthistorik</b>                          | <b>5</b>  |
| <b>1 Inledning</b>                               | <b>6</b>  |
| 1.1 Parter . . . . .                             | 6         |
| 1.2 Projektets syfte . . . . .                   | 6         |
| 1.3 Projektets mål . . . . .                     | 6         |
| 1.3.1 Iterative Learning Control - ILC . . . . . | 6         |
| 1.3.2 Iterative Feedback Tuning - IFT . . . . .  | 7         |
| 1.3.3 Modellering för reglerutveckling . . . . . | 7         |
| 1.4 Användning . . . . .                         | 7         |
| 1.5 Bakgrundsinformation . . . . .               | 7         |
| 1.6 Definitioner . . . . .                       | 8         |
| <b>2 Översikt av systemet</b>                    | <b>8</b>  |
| 2.1 Grov beskrivning av produkten . . . . .      | 10        |
| 2.1.1 ILC . . . . .                              | 10        |
| 2.1.2 IFT . . . . .                              | 10        |
| 2.1.3 Modellering och Reglerutveckling . . . . . | 10        |
| 2.2 Produktkomponenter . . . . .                 | 10        |
| 2.2.1 ILC . . . . .                              | 10        |
| 2.2.2 IFT . . . . .                              | 11        |
| 2.2.3 Modellering för reglerutveckling . . . . . | 11        |
| 2.3 Beroenden till andra system . . . . .        | 11        |
| 2.3.1 ILC . . . . .                              | 11        |
| 2.3.2 IFT . . . . .                              | 11        |
| 2.3.3 Modell för reglerutveckling . . . . .      | 11        |
| 2.4 Avgränsningar . . . . .                      | 11        |
| <b>3 Beskrivning av ILC</b>                      | <b>12</b> |
| 3.1 Bakgrund . . . . .                           | 12        |
| 3.2 Algoritm . . . . .                           | 12        |
| 3.3 Bestämning av filter . . . . .               | 12        |
| 3.4 Testutrustning . . . . .                     | 12        |
| 3.5 Utvecklingsutrustning . . . . .              | 13        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>4</b> | <b>Beskrivning av IFT</b>                         | <b>13</b> |
| 4.1      | Bakgrund . . . . .                                | 13        |
| 4.2      | Algoritm . . . . .                                | 14        |
| 4.3      | Testutrustning . . . . .                          | 14        |
| <b>5</b> | <b>Beskrivning av Modell för reglerutveckling</b> | <b>14</b> |
| 5.1      | Fordonsmodell . . . . .                           | 14        |
| 5.1.1    | Bakgrund . . . . .                                | 14        |
| 5.1.2    | Designprocess . . . . .                           | 14        |
| 5.2      | Laddtrycksregulator . . . . .                     | 16        |
| 5.2.1    | Bakgrund . . . . .                                | 16        |
| 5.2.2    | Designprocess . . . . .                           | 16        |

## Dokumenthistorik

| <b>Version</b> | <b>Datum</b> | <b>Utförda förändringar</b> | <b>Utfärda av</b>       | <b>Granskad</b> |
|----------------|--------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------|
| 0.1            | 2015-09-17   | Första utkast.              | Samtliga gruppdeltagare | H.I             |
| 0.2            | 2015-09-21   | Andra utkast.               | Samtliga gruppdeltagare | H.I             |
| 1.0            | 2015-09-24   | Första versionen.           | Samtliga gruppdeltagare | H.I             |

# 1 Inledning

I detta dokument ges en övergripande bild av projektets olika delar med vikt på hur produkterna ska utvecklas. I detta dokument kommer en enkel uppskattning av design att göras för att senare i designspecifikation ge en specifik plan.

## 1.1 Parter

Kunden för projektet är Volvo Cars Corporation (Fredrik Wemmert) och beställare är Lars Eriksson på fordonssystem på ISY. Kontaktpersoner hos beställare är Lars Eriksson och Andreas Thomasson på fordonssystem.

## 1.2 Projektets syfte

Projektet syftar till att undersöka, implementera och utvärdera Iterative Learning Control (ILC), samt Iterative Feedback Tuning (IFT) för fordonsapplikationer. Ett delsyfte är att bygga upp industrins kunskap om användning och lämplighet av dessa tekniker i fordonsammanhang. I projektet kommer även förbättrade modeller för motor och fordon att tas fram, som kan användas för analys och reglerdesign av framtida fordon.

## 1.3 Projektets mål

Projektet består av tre delar, en relaterad till ILC, en till IFT och en till modellering för reglerutveckling.

### 1.3.1 Iterative Learning Control - ILC

Målen för Iterative Learning Control är följande:

- Ta fram kommunikationsgränssnitt mellan fordon och testcells dator så att fordons hastigheten kan styras i fordonslabbet.
- Implementera ILC för körcykelföljning i fordonslabbet.
- Utvärdera konvergens av ILC i fordonslabbet.
- Utredda och besvara hur mycket av det man lärt sig kan återanvändas från ett fordon till ett annat. Genomföra tester med olika virtuella konfigurationer på XC90 för att simulera så stor skillnad mellan fordonen som möjligt.

### 1.3.2 Iterative Feedback Tuning - IFT

Målen för Iterative Feedback Tuning är följande:

- Implementera IFT i simuleringsmiljö för laddtryckreglering i en motorsimuleringsmodell.
- Om möjligt utvärdera IFT på motorn i motorlabbet.
- Jämföra IFT kalibrerad regulator dels med en manuellt kalibrerad regulator och dels med ett optimalt styrt system.

### 1.3.3 Modellering för reglerutveckling

För modellering för reglerutveckling är målen:

- Modifiera, anpassa och validera en simuleringsmodell till den turbomotor som finns i Fordonssystemets labb. (Nya motordata har uppmätts under sommaren.)
- Ta fram multivariabel laddtrycksregulator för trottell och wastegatestyrning som optimerar bränsleförbrukning och hjälper momentstyrningen i ett fordon.
- Utvärdera regulatorn i en komplett fordonsmodell.
- Om möjligt testa regleringen på motorn i motorlabbet.

## 1.4 Användning

I dagsläget trimmas en körcykelföljningsregulator manuellt och likaså boosttrycksregulator. Syftet med ILC är att reglera fordons hastighet efter körcykel, genom att iterativt ändra insignal för bättre körcykelföljning. Genom IFT kommer regulatorns parametrar att automatiskt itereras fram för bättre boosttrycksreglering.

En fördel med både ILC och IFT-regulator är att det kan finnas en möjlighet till att använda regulatorerna på andra fordon och motorer utan en större anpassning.

Vidare ska modell för reglerutveckling användas som grund vid kommande forskning på fordonsystem vid Linköpings universitet.

## 1.5 Bakgrundsinformation

Projektet är en del i ett större forskningsprojekt vid Linköpings universitet. Alla tre delar av projektet är en del av att effektivisera respektive område och därmed spara tid och pengar.

Idag krävs mycket tid för att få ett nyutvecklat fordon att följa en körcykel på ett sätt som godkänns enligt lagkrav. Därför har ILC uppstått som ett alternativ att snabbt skapa en bra körcykelföljning.

Att optimera parametrarna hos en regulator kan även det vara väldigt tidskrävande. Ett sätt att automatiskt och systematiskt bestämma regulatorers parametrar är att använda sig av metoden IFT.

Vid nyutveckling och vidareutveckling av motorer är simulering av modeller ett tids- och kostnadsbesparande sätt att utvärdera ett system. Modellen som idag används vid fordonsystem vid ISY, Linköpings universitet innehåller brister och behöver därför uppdateras.

Delar av detta dokument är baserade på ett projektdirektiv som var utgivet vid kursens start.

## 1.6 Definitioner

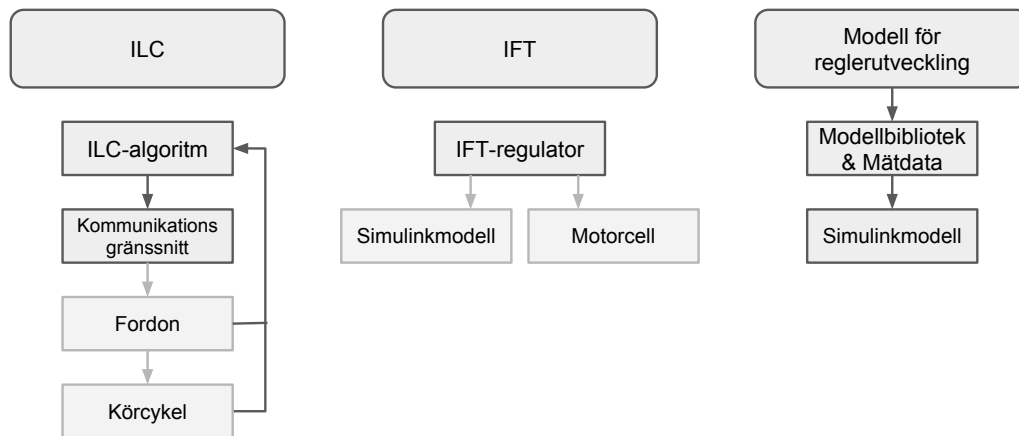
Under denna rubrik beskrivs definitionerna på olika förkortningar som används genom dokumentet.

- ILC - Iterative Learning Control
- IFT - Iterative Feedback Tuning
- LiU - Linköpings universitet
- VEA - Volvo Engine Architecture

## 2 Översikt av systemet

Under denna rubrik ges en översikt av systemet i form av enklare skisser och beskrivningar, se Figur 1. Detta för att ge en övergripande blick över hur systemet kommer att se ut. I översikten syns också beskrivningar över hur och var produkterna kommer att implementeras, eftersom att det är en stor del av projektet.





**Figur 1:** Systemöverblick, de ljusgråa boxarna symboliserar system som inte tas fram under respektive delsystem. De finns med då de är väsentliga för delsystemets utveckling och testning.

## 2.1 Grov beskrivning av produkten

Som det beskrivs tidigare i dokumentet så består projektets mål av att ta fram tre produkter: implementera en ILC för att styra ett fordons hastighet, IFT-algoritm och Modell för reglerutveckling. Dessa tre produkter kommer bestå av mjukvarulösningar i form av simulinkscheman, matlabkod, ett kommunikationsgränssnitt mellan dator och fordon samt dokumentation som innehåller analyser och utvärderingar. I Figur 1 ges en systemöverblick som beskriver hur produkterna kommer att integreras. Vidare i denna sektion så kommer djupare beskrivningar av produkterna och delsystemen att ges.

### 2.1.1 ILC

ILC-delen kommer till största del att bestå av att implementera algoritmen i ett fordon samt att utvärdera utfallet. Enkelt beskrivet så kommer en testdator att kommunicera med ett fordons styrsystem för att styra dess hastighet för att i sin tur förbättra körcykelföljningen. Efter varje iteration, dvs körcykel, så sparas utfallet och en ny beräkning på hur fordonets hastighet ska styras bättre görs. Eftersom detta görs efter varje körcykel så sker dessa beräkningar offline.

### 2.1.2 IFT

IFT kommer att bestå av en regleralgoritm implementerad i Matlab/Simulink med dess specifika mål att justera in regulatorparametrarna för att ge en så bra laddtrycksreglering som möjligt. Detta kommer att testas i en motormodell i simulink samt om möjligt i motorlabbet vid ISY.

### 2.1.3 Modellering och Reglerutvecklig

Modelleringen syftar till att ta fram modeller, till exempel för turbomotorn i Fordonssystemens laboratorium, som kommer ligga till grund för simuleringar, för att kunna utvärdera regulatorer av olika slag. Modellerna kommer att vara i form av parameteriserade modeller i Matlab. Utöver modelleringsarbetet ska en flervariabel laddtrycksregulator tas fram för trottell- och wastegatestyrning. Denna regulator ska konstrueras i Simulink med tidsdiskreta block. Målet är att den ska kunna testas på VEA-motorn i Fordonssystemens motorlabb.

## 2.2 Produktkomponenter

För alla tre delprojekt ska en gemensam poster, hemsida och video att levereras. I produkten som ska levereras ingår ett flertal produktkomponenter som förklaras nedan.

### 2.2.1 ILC

Produktkomponenter som skall levereras under ILC är ett kommunikationsgränssnitt mellan testdator och fordon (som till stor del kommer att tas fram av kund) samt en ILC-algoritm som skall förbättra körcykelföljning. Dock ligger fokus på att leverera en utvärdering av fördelar och möjligheter för kunden att använda sig av metoden för ett effektivare sätt att förbättra sin körcykelföljning.

### 2.2.2 IFT

Den produktkomponent som ska levereras under IFT är en regleralgoritm med syftet att förbättra laddtrycksregleringen. Denna regleralgoritm ska implementeras i Matlab/Simulink.

### 2.2.3 Modellering för reglerutveckling

De produktkomponenterna som ska levereras under modell för reglerutveckling är en komplett modell av VEA motorn. Modellen kommer bestå av simulinkscheman samt matlabkod. Utöver simulinkscheman och matlabkod kommer dokumentation att levereras där validering av modellerna påvisas.

## 2.3 Beroenden till andra system

Under denna rubrik förklaras produkternas beroenden till andra system.

### 2.3.1 ILC

En del av målet med ILC är att skapa en metod för körcykelföljning som presterar bra utan att bero på vilket system den används till, det vill säga utan att behöva justeras beroende på vilket system det är kopplat till. Dock kommer kommunikationsgränssnittet vara beroende av det fordon som gruppen ska testa metoden mot.

### 2.3.2 IFT

För att kunna genomföra denna projektdel behövs en komplett modell. Denna kommer att tas fram vid modelleringen. Utöver modellen krävs det att kommunikationen mellan dator och motor ska fungera vid eventuella körningar i motorcellen.

### 2.3.3 Modell för reglerutveckling

Mycket av modelleringsarbetet kommer att ligga till grund för arbetet med ILC och IFT, då modellerna kommer att användas för simulering. Om modellerna skulle innehålla större modellfel skulle det kunna leda till komplikationer för arbetet med ILC- och IFT-regulatorerna.

Laddtrycksregulatorn som ska konstrueras är mycket beroende till de andra delsystemen i motorn. Utformningen av regulatorn har väsentlig betydelse för motorns egenskaper som till exempel bränsleförbrukning och uteffekt.

## 2.4 Avgränsningar

Testning kommer bara ske mot de fordon och motorer som finns att tillgå samt tidsmässigt möjligt att testa på. Matlabkoden för ILC kommer bara att direkt fungera mot det kommunikationsgränssnitt som är givet av kund.

## 3 Beskrivning av ILC

Under denna rubrik beskrivs ILC.

### 3.1 Bakgrund

Bilar som tillverkas idag behöver uppfylla vissa miljökrav. För att testa dessa, på ett mellan bilmärken jämförbart och rättvist sätt, finns standardiserade körcykler som ska testa bilen utifrån ett normalt användande. Körcykel innebär att bilen behöver följa en viss referenshastighet. Det finns olika krav på hur exakt referensvärdet måste följas och ett problem är att avvikelse från referensvärdet kan ske vilket då ger ett felaktigt resultat. Det kan även utnyttjas på ett sådant sätt att utsläppsvärden är fördelaktiga. Därför efterfrågas en möjlig metod som kan användas för att minska den tillåtna avvikelsen från referensvärdet som också är nästan helt oberoende från vilket fordon som testas.

Körcykler är repeterbara vilket gör att ILC är en intressant metod att titta på för att lösa problemet. ILC har utvärderats tidigare på Linköpings universitet i simuleringsmiljö och i detta projekt ska det implementeras på ett fordon i fordonslabbet vid LiU för att utvärdera metoden i verkligheten.

### 3.2 Algoritm

ILC-algoritmen beräknar en insignal som i det här fallet styr acceleration/inbromsning till fordonet. Utsignalen mäts för den givna insignalen och en ny insignal beräknas fram offline utifrån den tidigare insignalen samt en filtrering av felet. Detta görs om för varje iteration. Algoritmen kan beskrivas med ekvation (1).

$$u_{k+1} = u_k + \kappa e_k \quad (1)$$

$e_k$  är felet mellan referensvärde och utsignal för en körcykel.  $\kappa$  är ett filter som filtrerar felet.  $u$  är en sekvens av hela insignalen för en körcykel. Index  $k$  är därför inte endast ett tidssteg utan representerar en sekvens för en iteration. Filtret,  $\kappa$ , är den stora designstorheten i denna metod.

### 3.3 Bestämning av filter

Det är filtret som avgör hur informationen i felet ska användas för att få en insignal som ger den referensföljning som eftersträvas. Om felet litas på för mycket så skulle det kunna resultera i en insignal som gör väldigt skarpa förändringar och det bör undvikas. Filtret bör vara designat för att eftersträva en jämn insignal utan alldeles för snabba och stora svängningar. De enskilda mätningarna som gjorts vid varje tidssteg kan behöva förskjutas då det finns en fördröjning från att insignalens påverkan syns i utsignalen.

### 3.4 Testutrustning

Den utrustning som finns för att testa och utvärdera den framtagna regulatorn finns i fordonslabbet vid fordonssystem. Där finns det ett fordon och en testbänk där gruppen kommer kunna utvärdera hur bra regulatorn fungerar.

### 3.5 Utvecklingsutrustning

Algoritmen för ILC kommer att implementeras i ett matlabscript som sedan kan skicka en sekvens av insignaler till fordonet i labbet via ett kommunikationsgränssnitt som gruppen har tillgång till.

## 4 Beskrivning av IFT

Under denna rubrik beskrivs IFT.

### 4.1 Bakgrund

Det moment som erhålls från motorn är starkt kopplat till laddtryck. På så sätt kan momentet ut från motorn regleras genom att styra laddtrycket. För att uppnå en mer effektiv körning är det intressant att optimera laddtrycksregleringen. Att ställa in bra parametrar till regulatorn kan vara svårt och tidskrävande, därför önskas en metod som kan iterera fram goda parametrar automatiskt.

Eftersom bra modeller över VEA motorn kommer tas fram i projektet är IFT ett bra val för att ta fram regulatorparametrar. Detta på grund av att simuleringar inte är lika resurskrävande som fysiska tester och därmed är det billigt att utföra många iterationer för att få fram bästa möjliga regulatorparametrar.

## 4.2 Algoritm

Algoritmen går ut på att man försöker följa ett förbestämt beteende. För varje iteration som går approximeras gradienten på felet, detta för att få reda på riktningen till var felet ökar som mest. Gradienten beror på regulatorparametrarna, och genom att minimera gradienten kommer felet därför att minska för varje iteration som går, då parametrarna uppdateras med hjälp av riktningen och en fixerad eller variabel steglängd. Efter tillräckligt många iterationer kommer förhoppningsvis goda regulatorparametrar erhållas.

## 4.3 Testutrustning

Den testutrustning som kommer att tillgå till delprojektet är en VEA-motor i en testcell med möjlighet att styras från en dator med Matlab/Simulink. Detta inkluderar även all den kringutrustning som krävs för att utföra tester på motorn.

# 5 Beskrivning av Modell för reglerutveckling

Detta kapitel beskriver bakgrunden till fordonsmodellen och laddtrycksregulatorn samt en grov beskrivning hur designprocessen ska gå till.

## 5.1 Fordonsmodell

Bakgrund och designprocess för fordonsmodellen beskrivs nedan.

### 5.1.1 Bakgrund

Projektgruppen kommer att använda en fordonsmodell innehållande motor- och drivlinemodeller som Fordonssystem tagit fram för forsknings- och utbildningssyfte. Modellen som projektgruppen erhåller från Fordonssystem är inte helt uppdaterad till den nya VEA-motorn som har installerats i Fordonssystemets motorlab. Eftersom mycket av arbetet i detta projekt kommer att baseras på den nya VEA-motorn behöver modellerna därför uppdateras och valideras på nytt.

### 5.1.2 Designprocess

Ny motordata för den nya VEA-motorn har uppmätts under sommaren. Denna motordata ska användas för att validera och omparametrisera den befintliga motormodellen. I de fallen resultatet inte blir tillfredsställande efter omparametrisering kommer framtagning av nya delmodeller att övervägas. De delar av motormodellen som idag innehåller de största felen är varvtal på turbin- och kompressoraxeln i turbon, avgastemperaturen och insugstrycket. För varvtalsfelet behövs troligtvis modellen som beskriver massflödet i kompressorn uppdateras. För avgastemperaturen kan felet ligga i modellen som beskriver avkyllningen av avgaserna i grenröret efter motorn. Vad gäller felet för trycket i insugsröret kan felet bero på modellen som beskriver den volymetriska verkningsgraden. Detta eftersom den nya VEA-motorn har ställbara kamaxlar, vilket innebär att det går att justera vid vilken motorvinkel som insugs- och avgasventilerna

börjar öppnas. Den modell som idag beskriver den volymetriska verkningsgraden kanske inte är anpassad till en motor med justerbara kamaxlar.

## 5.2 Laddtrycksregulator

Bakgrund och designprocessen för laddtrycksregulatorn beskrivs nedan.

### 5.2.1 Bakgrund

I en turbomotor så beror laddtrycket före trotteln dels på luftmasseflödet ut genom trotteln, och dels på luftmasseflödet ut från turbons kompressordel. Luftmasseflödet ut från kompressordelen styrs av en wastegateventil, som bestämmer hur mycket avgaser från motorn som ska passera turbons turbinsida. Hur mycket avgaser som kommer ut från motorn beror på hur mycket luft som kommer in i motorn, vilket styrs av trottelvinkeln. Systemen före och efter motorn är alltså korskopplade.

Regleringen av trotteln och wastegatesignalen sker idag separat, med en multivariabel regulator kan eventuellt resultaten för momentstyrning och bränsleförbrukning förbättras.

### 5.2.2 Designprocess

Tillvägagångssättet för att ta fram en multivariabel laddtrycksregulator kan börja med att undersöka och göra en analys över hur starkt korskopplade systemen är. Därefter kan man utifrån resultatet undersöka vad för slags regulator som torde vara lämplig. När en viss regulator typ visar sig vara passande kan eventuella litteraturstudier om hur regulator typen ska utformas efter motormodellen genomföras.