

TSFS09 – Modellering och Reglering av Motorer och Drivlinor – Fö 8

Motor – Övergripande reglering, tändning, tomgång, knack och knackreglering

Lars Eriksson - Kursansvarig

Fordonssystem, Institutionen för Systemteknik
Linköpings universitet
laxe@isy.ltu.se

November 3, 2016

Innehållsförteckning

Motor – Knack
Oktantal
Oktantal & Knack

Tändningsreglering

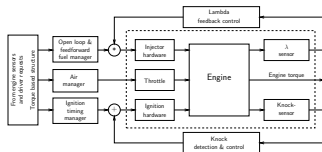
Ytterligare detaljer om Motor

Mer (A/F) Reglering

Jonströmmar

Tändningsloopen

Viktigaste reglerlooparna för bensinmotorer. Den översta är *lambda-regulatorn* och den nedersta är *tändningsregulatorn*.

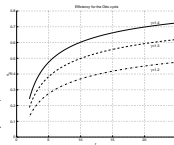


Repetition – Ottocykelns effektivitet

$$\eta_{f,i} = 1 - \frac{1}{r_c^{\gamma-1}}$$

Normalfall $\gamma = 1.3$

$\eta_{f,i}$ ökar med r_c för alla cykler.
Varför designar vi inte för $r_c = \infty$?



En kolv som upplevt kraftigt knack



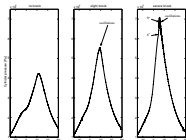
En annan kolv som upplevt kraftigt knack



-Knack kan förstöra motorn!!!

Knack – En fundamental begränsning för bensinmotorn

Hur kan man detektera knack?



Knack och oktantal är relaterade.

Oktantal – Bränslets förmåga att "motstå knack".

Knack – Oktantal

Bränslets oktantal:

Motstånd mot självantändning vid höga kompressioner.

Definierar referensbränslen:

- ▶ n-heptan ON=0. Lång rak molekyl
- ▶ isooktan ON=100. Kort kompakt molekyl.

Hur bestäms oktantalet?

Oktantal

- ▶ RON – Research Octane Number
Europa, Sydafrika, Australien
- ▶ MON – Motor Octane Number
Motorsport, Högre temperatur och varvtal på motorn.
8 till 10 enheter lägre än RON.
- ▶ $(RON+MON)/2$ – Används i USA och Kanada
AKI – Anti Knock Index
PON – Pump Octane Number
- ▶ RdON – Road Octane Number
 $RdON = aRON + bMON + c$, Erfarenhet har visat
 $a = b = 0.5, c = 0$
- ▶ Fuel sensitivity = RON - MON

RON & MON

Arbetspunkter för ON bestämning

	Research	Motor
Engine speed	600 rpm	900 rpm
Ignition timing	13° BTDC	19 – 26° BTDC
	fixed	$f(r_c)$
Inlet temperature	52°C (125°F)	149°C (300°F)
Inlet pressure		1 atm
Humidity	0.0036-0.0072 kg/kg dry air	
Coolant temperature		100°C
Air to fuel ratio	Adjusted for maximum knock	

Hur bestämmer man $ON > 100$?

Referensbränsle: iso-oktan + blyadditiv, $T = \frac{T \text{ milliliter } (C_2H_6)_4Pb}{1 \text{ gallon iso-oktane}}$

$$ON = 100 + \frac{28.28 T}{1.0+0.736 T+(1.0+1.472 T-0.035216 T^2)^{0.5}}$$

Litet mer om varför kompressionen är begränsad?

Alla cykler visar att högre kompressionstal ger bättre effektivitet, vad är problemet?

- ▶ begränsning på maxtrycket
- ▶ värmeöverföring $dQ \neq 0$
- ▶ ökade emissioner

En dieselmotor har högre kompressionstal än en bensinmotor, och det är ett av skälen till dieselmotorns högre effektivitet.

Innehållsförteckning

Motor – Knack

Tändningsreglering

Samverkan tändning, moment
Tändning och knack
Motor – Moment

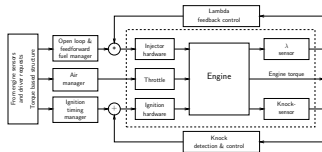
Ytterligare detaljer om Motor

Mer (A/F) Reglering

Jonströmmar

Tändningsloopen

Viktigaste reglerlooparna för bensinmotorer. Den översta är *lambda-regulatorn* och den nedersta är *tändningsregulatorn*.



Tändningsreglering

Varför: Tända blandningen. Bra bränsleekonomi.

Vad: Ger en gnista i cylindern som startar förbränningen i rätt ögonblick.

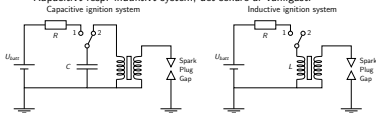
Hur: Laddar upp kondensator eller spole och laddar ur den genom gnistgapet i tändstiftet.

Utmaningar: Bra bränsleekonomi i alla driftsfall.
Hålla knock borta.
Kalibrering \longleftrightarrow Sluten loop reglering.

- ▶ Tändtidpunkt
- ▶ Tändenergi

Tändningsreglering – Hårdvara

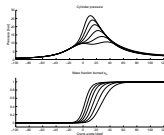
Kapacitivt resp. induktivt system, det senare är vanligast.



Tändningstidpunkt \longleftrightarrow Cylindertryck och MFB

Positionerar förbränningen relativt kolvrörelsen och styr pV-diagrammet

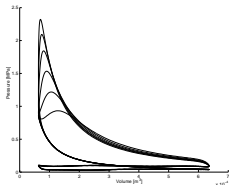
Sex cylindertryck i arbetspunkten 2000 rpm 50 Nm.



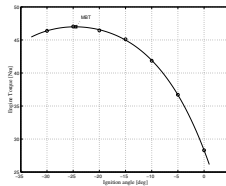
Var finns tändtidpunkten?

Var finns PPP och $x_b = 0.5$?

Tändningstidpunkt \leftrightarrow pV-diagram

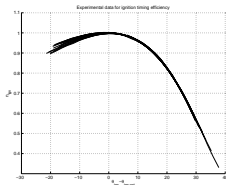


Bränsleförbrukning–Moment, Tändningstidpunkt och MBT



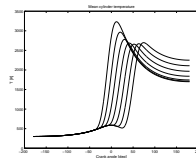
Tändkrokar – "Ignition Fish Hooks"

Centrerat runt $\Delta\theta = \theta_{ign} - \theta_{ign,opt}$



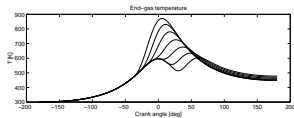
Tändtidpunktens betydelse för emissionerna

Medeltemperatur för olika tändtidpunkter.



Höga maxtemperaturer medför att mer NO_x bildas.
 Tidig tändning ger också högre tryck (mekanisk påfrestning) och HC utsläpp.

Knackrisk som funktion av tändtidpunkt

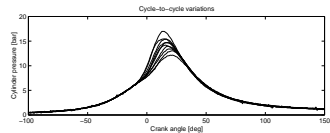


Ändgastemperaturen för olika tändtidpunkter. Senare tändtidpunkt ger lägre temperaturer.

Knackreglering

Cykel till cykel variationer

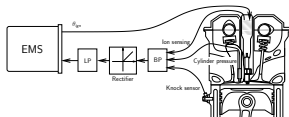
Alla styrvariabler konstanta, lambda reglering urkopplad.
10 konsekutiva cykler



En cykel med snabb förbränning är mer benägen att knacka.

Knackdetektering – Hårdvara

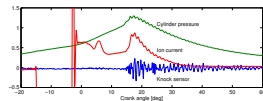
Bandpassfiltrera signalen – Likrikta (eller kvadrera) – Integrera



Tidsfönster i vevaxeldomänen och mät energiinnehållet E_i för cykel i .

Knackdetektering – Signalerna

Tre signaler med ringning i frekvensbandet för cylinderns egenmod.



Knackreglering – Söka sig mot knack gränsen

Vid detektion flytta snabbt bort, gå sedan mot gränsen.

if ($E_i > limit$)

$\alpha = \alpha + \beta$

else

$\alpha = \min(\alpha - \gamma, 0)$

end

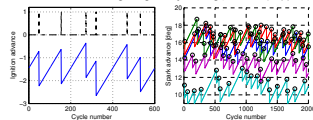
$\theta_{ign} = \theta_H + \alpha$

β - stor för snabbt skydd

γ - liten för att gå sakta mot gränsen

Knackreglering – Söka sig mot knackgränsen

Illustration av knack reglering med justering β nedåt γ uppåt.



Knackreglering

Knackreglering kompenserar för inverkan av parametervariationer.

- ▶ Omgivningstemperatur
- ▶ Omgivningstryck vid olika höjder
- ▶ Oktantal för olika bränslen
- ▶ Motorernas tillverknings tolerans och åldring

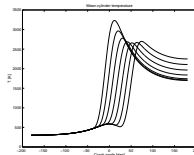
Kompressionsförhållandet kan ökas med 1 enhet.

Återkopplad reglering, jämfört med konservativ kalibrering:

Bränsleförbrukningen reduceras med omkring 7 %. För turboladdade motorer är vinsterna större.

Tändtidpunktens betydelse för avgastemperaturen

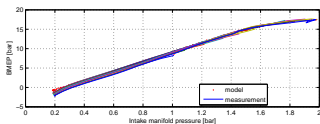
Medeltemperatur för olika tändtidpunkter.



Sen tändning ger högre avgastemperatur.

–Hög last och knack, skydda katalysator med andra motmedel ($\lambda < 1$).
–Kallstart, värma katalysator med sen tändning.

Motormoment och insugstryck



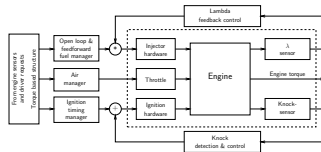
Korrelation, som motiverar varför insugstrycket används som synonym för last.

Vid höga laster:

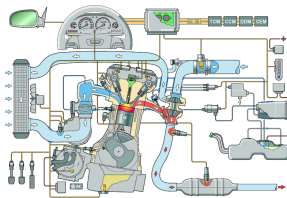
-Kompromissar på tändningen för att skydda motorn mot knock.

Huvudlooparna – Tändning

Viktigaste reglerlooparna för bensinmotorer. Den översta är *lambda-regulatorn* och den nedersta är *tändningsregulatorn*.



Samtidig tändning och turbotryck – APC



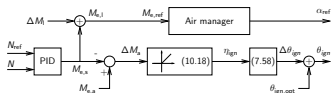
Momentstyrning med tändning

Snabb aktuator för moment.

- ▶ Moment neddragning vid växlingar.
- ▶ Hjälp vid tomgångsreglering.
- ▶ Vid ytterligare moment neddrag används "fuel cut".

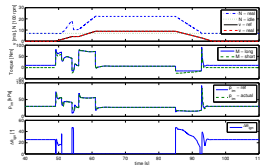
Tomgångsreglering med stöd från tändningen

Två aktuatorer för momentet: luft och tändning.



Tomgångsreglering med stöd från tändningen

Första delen av NEDC, tomgångsreglering aktiv.



Innehållsförteckning

Motor – Knack

Tändningsreglering

Ytterligare detaljer om Motor

Mer (A/F) Reglering

Jonströmmar

Fortsatt analys av arbetsprocessen

Ideal Ottocykel, icke idealgas (c_p och c_v varierar).

Cykeleffektivitet som funktion av $\phi = 1/\lambda$ och r_c .

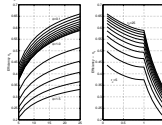
Högre r_c ger högre η

γ ändras med ϕ

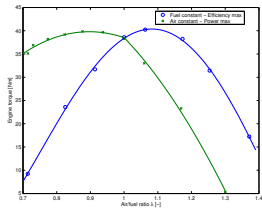
Knä vid $\phi = 1$

Jfr momentmodellen
 $\min(1, \lambda) = \min(1, \frac{1}{\phi})$

"Fullständig" förbränning

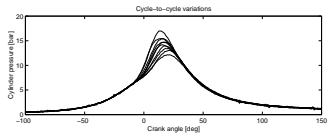


λ -svep – Mätningar på en Ottomotor

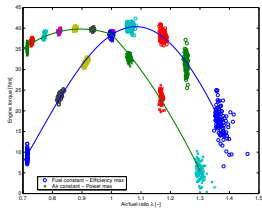


Cykel till cykel variationer

Alla styrvariabler konstanta, lambda reglering urkopplad.
10 konsekutiva cykler



Minst variation runt $\lambda = 0.9$



Innehållsförteckning

Motor – Knack

Tändningsreglering

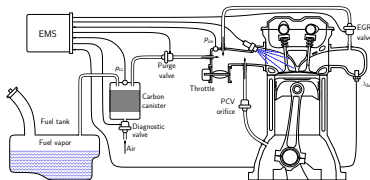
Ytterligare detaljer om Motor

Mer (A/F) Reglering

Jonströmmar

Andra regulatorer som påverkar λ

EGR, Purge, PCV.



EGR reglering (Exhaust Gas Recirculation)

Varför: Minska NO_x .
Bättre dellastbetående p_f -ökar.
Minska knocktendenserna vid hög last (kyld EGR).

Vad: Blanda oförbrända gaser med förbrända.

Hur: Öppna ventil mellan insugssystem och avgassystem.
Avstängd vid tomgång och fullast.

Utmaningar: Konsekvenser för λ -reglering (Exempel)
Hur bestämmer man mängden EGR?
Det finns en övre gräns på utspädningsmängden.
Det finns ännu inga bra modeller.
Sot och partiklar täpper igen rören.

Öppen styrning, kalibrering. \leftrightarrow Återkopplad reglering.

Avdunstningskontroll (Purgeventilreglering)

Varför: HC emissioner.

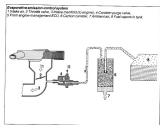
Vad: Tömmer kolkastern på HC.

Hur: Öppna ventilen in till insugssystemet.

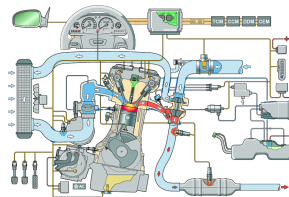
Utmaningar: Hålla $\lambda = 1$ och körbarhet vid ventilöppnandet.
1% volymflöde med HC \Rightarrow
 $\sim 20\%$ i λ .

-Binär ventil (svårt).
-Kontinuerlig ventil (lättare).

Avstängd vid tomgång och fullast.



Avdunstningskontroll & Diagnosventil

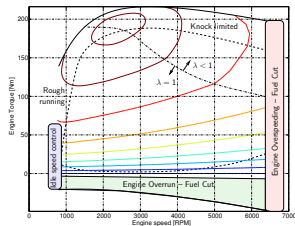


Några ytterligare reglerstrategier

Cylinderindividuell λ -reglering
 Upprikning vid maxlast
 Tomgångsreglering
 Övervarningskydd

Motorbromsning (overrun) Motorbromsning (overrun)
 Kallstart: ○ Emissioner (light-off tid) ○ Uppfötning

Några ytterligare reglerstrategier



Innehållsförteckning

Motor – Knack

Tändningsreglering

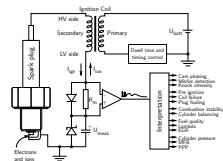
Ytterligare detaljer om Motor

Mer (A/F) Reglering

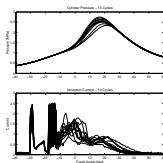
Jonströmmar

Jonströmmar

Använd tändstiftet när det inte används för tändning



Jonströmmar och cylindertrycket



Direkt mätning i cylindern. Återkoppling från förbränningen.

Innehållsförteckning

Motor – Knack

Oktantal

Oktantal & Knack

Tändningsreglering

Samverkan tändning, moment

Tändning och knack

Motor – Moment

Ytterligare detaljer om Motor

Mer (A/F) Reglering

Jonströmmar