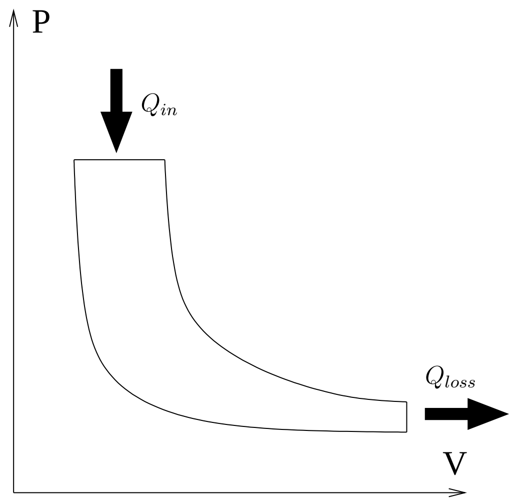
Kortfattat facit till Tentamen
TSFS 05 Fordonssystem
22 december, 2010, kl 8-12

Uppgift 1.
Uppgifter på dieselcykeln.

a. pV-diagrammet visas nedan.



b. För härledning se kursboken.

c. Ideala dieselcykeln är konstruerad med hälp av ideala termodynamiska processer medans den arbets cykel som en motor följer inte har samma idealiserade förhållanden, t.ex. förbränningen är inte isobar ($dp = 0$), under kompression och expansion så finns ingen värmeöverföring i den ideala cykeln, vilket det gör i verkligheten. En fyrtaktsmotor har gasväxling med pumparbete vilket den ideala dieselcykeln inte har.

d. Uppgift: Visa att $\eta_{Diesel}(\lambda) \to \eta_{Otto}$ då $\lambda \to \infty$.
Betraktar först $\beta(\lambda)$ så att vi vet vilket gränsvärde det har.

$$\beta = \frac{V_3}{V_2} = \frac{m\,R\,T_3/p_3}{m\,R\,T_2/p_2} = /p_2 = p_3/ = \frac{T_3}{T_2} = \frac{T_2 + \Delta T}{T_2} = 1 + \frac{m_f\,q_{LHV}}{c_p\,(m_a + m_f)\,T_2}$$

$$\beta = 1 + \frac{q_{LHV}}{c_p\,(\lambda\,(A/F)_s + 1)\,T_2} \to 1,\ \lambda \to \infty$$

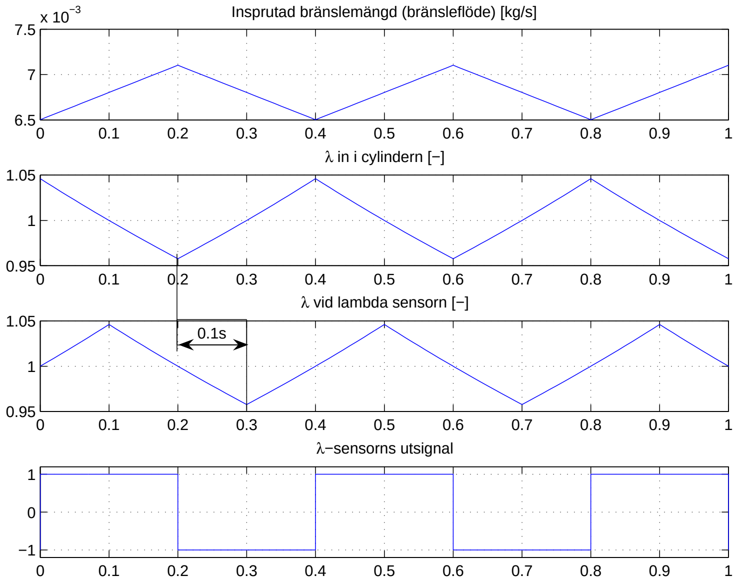
För att man enkelt skall se gränsvärdet så kan man göra variabelsubstitutionen $\beta = 1 + x$ och studera $x \to 0$ i dieselcykelns effektivitetsekvation.

$$\eta_{Diesel} = 1 - \frac{1}{r_c^{\gamma-1}}\frac{(1+x)^{\gamma} - 1}{x\,\gamma} = 1 - \frac{1}{r_c^{\gamma-1}}\frac{1 + \gamma\,x + O(x^2) - 1}{x\,\gamma}$$

$$\eta_{Diesel} = 1 - \frac{1}{r_c^{\gamma-1}}(1 + O(x)) \to 1 - \frac{1}{r_c^{\gamma-1}},\ x \to 0$$

Uppgift 2.
Se boken för härledningen av den isoterma kontrollvolymsmodellen.

Uppgift 3.
De önskade tidssignalerna visas i figuren nedan, notera speciellt tidsfördröjningen mellan λ till motor och λ vid sensorn. Självsvängingsfrekvensen för systemet blir $f = \frac{1}{0.4} = 2.5$ Hz.



Uppgift 4.
Turbouppgift där avgasmottryck söks:
Effekt på kompressor och turbinsida, samt massflödena är.

$$\begin{aligned}
\dot{W}_c &= \dot{m}_a c_p (T_{02} - T_{01}) \\
\dot{W}_t &= \dot{m}_t c_p (T_{03} - T_{04}) \\
\dot{m}_t &= \dot{m}_a + \dot{m}_f = \dot{m}_a \, (1 + \frac{1}{\lambda \, (A/F)_s})
\end{aligned}$$

Effektivitetsdefinitionerna ger:

$$\begin{aligned}
\dot{W}_c &= \dot{m}_a c_p T_{01} \frac{1}{\eta_c} \left(\left(\frac{p_{02}}{p_{01}} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right) \\
\dot{W}_t &= \dot{m}_t c_p T_{03} \eta_t \left(1 - \left(\frac{p_{04}}{p_{03}} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right)
\end{aligned}$$

Sätt $W_t \eta_m = W_c$, $p_{01} = p_{amb}$, $T_{01} = T_{amb}$, $p_{04} = p_t$, $T_{03} = T_{em}$ och lös ut p_{03}

$$p_{03} = p_{04} \left(1 + \frac{T_{amb}}{(1 + \frac{1}{\lambda (A/F)_s}) T_{em} \, \eta_t \, \eta_m \, \eta_c} \left(1 - \left(\frac{p_i}{p_{amb}} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right) \right)^{-\frac{\gamma}{\gamma-1}} = 167.64 \text{ kPa}$$

Uppgift 5. a. Utgå från momentmodellen:

$$M_e = \frac{W_{ig} - W_p - W_f}{n_r 2\pi}$$

Givet att $W_p = 0$, övriga arbeten ges av:

$$\begin{aligned}
W_{ig} &= m_f q_{LHV}(1 - \frac{1}{r_c^{\gamma-1}}) min(1, \lambda) \eta_{ign} \eta_{ig,ch} \\
m_f &= \dot{m}_f \frac{n_r}{N} = \frac{\dot{m}_a}{\lambda (A/F)_s} \frac{n_r}{N} \\
\dot{m}_a &= \eta_{vol} \frac{V_D N p_i}{n_r R T_i} \\
W_f &= V_D FMEP \\
FMEP &= C_{f0} + C_{f1} N + C_{f2} N2
\end{aligned}$$

Slå ihop och lös ut p_i så fås ($\lambda > 1$):

$$p_i = \frac{\lambda (A/F)_s R T_i}{\eta_{vol} V_D q_{LHV} (1 - \frac{1}{r_c^{\gamma-1}}) \eta_{ign} \eta_{ig,ch}} (2\pi n_r M_e + V_D (C_{f0} + C_{f1} N + C_{f2} N2))$$

b. Varvtalet vid maxeffekt beräknas enligt

$$N_{Pmax} = \frac{P_{max}}{2\pi M_{max}} = 3151 RPM$$

Insugstrycket vid maxeffekt kan då beräknas med uttrycket från a) till

$$p_i = 2.08 \text{ kPa}$$

Massflödet vid maxeffekt blir:

$$\dot{m}_a = \eta_{vol} \frac{V_D N_{Pmax} p_i}{n_r R T_i} = 0.113 \text{ kg/s}$$

Uppgift 6.
Drivlinemodelleringsuppgiften

a. Efter att ha fört in hjälpvariabler i drivlinan så fås följande ekvationer för drivlinekomponenterna.
Engine:

$$J_e \ddot{\theta}_e = M_e - M_c$$

Clutch:

$$M_c = k(\theta_e - \theta_c) + c(\dot{\theta}_e - \dot{\theta}_c)$$

Gear box:

$$\begin{aligned}
0.96\, i_g\, M_c &= M_f \\
\theta_c &= i_g\, \theta_g
\end{aligned}$$

Final drive:

$$\begin{aligned}
i_f\, M_f &= M_w \\
\theta_g &= i_f\, \theta_w
\end{aligned}$$

Wheel:

$$J_w \ddot{\theta}_w = M_w - r_w F_w$$

Vehicle:

$$\begin{aligned}
m\, \dot{v} &= F_w - m\, g\, c_{r,0} - \frac{1}{2} C_D\, \rho_{air}\, A\, v^2 \\
v &= r_w\, \dot{\theta}_w
\end{aligned}$$

b. Med följande tillståndsval:
x_1 motorvarvtal, x_2 kopplingens uppvridning och x_3 hjulhastighet x_3, dvs

$$
\begin{aligned}
x_1 &= \dot{\theta}_e \\
x_2 &= \theta_e - \theta_c = \theta_e - i_g\, i_f\, \theta_w \\
x_3 &= \dot{\theta}_w
\end{aligned}
$$

fås, efter elimination av hjälpvariablerna, följande tillståndsform:

$$
\begin{aligned}
\dot{x}_1 =& \frac{1}{J_e}(u - k\, x_2 - c\, x_1 + c\, i_g\, i_f\, x_3) \\
\dot{x}_2 =& x_1 - i_g\, i_f\, x_3 \\
\dot{x}_3 =& \frac{1}{J_w + m\, r_w^2}\Big(0.96\, i_g\, i_f\, k\, x_2 + 0.96\, i_g\, i_f\, c\, x_1 - 0.96\, i_g^2\, i_f^2\, c\, x_3 - \\
& \frac{1}{2} C_D\, \rho_{air}\, A\, r_w^3\, x_3^2 - m\, g\, r_w\, c_{r,0}\Big)
\end{aligned}
$$

c. Vid stationäritet har man $\dot{x} = 0$, vilket ger att u kan lösas ut som funktion av x_3. Detta ses enklast genom att först utnyttja ekvationen för tillstånd 2

$$
0 = \dot{x}_2 = x_1 - i_g\, i_f\, x_3 \qquad \Rightarrow \qquad x_1 = i_g\, i_f\, x_3
$$

och sätta in i övriga ekvationer, vilket gör att många x_1 och x_3 termer försvinner. Detta gör att ekvationen för x_1 kan skrivas

$$
0 = \dot{x}_1 = \frac{1}{J_e}(u - k\, x_2) \qquad \Rightarrow \qquad x_2 = u/k
$$

Vilket kan sättas in i den tredje ekvationen för att erhålla:

$$
0 = 0.96\, i_g\, i_f\, u - \frac{1}{2} C_D\, \rho_{air}\, A\, r_w^3\, x_3^2 - m\, g\, r_w\, c_{r,0}
$$

med $x_3 = \frac{120}{3.6\, r_w}$ rad/s och data från databladet så får man $u = 70.88$ Nm. Tillstånd 2 ger också motorvarvtalet enligt $x_1 = i_g\, i_f\, x_3$ vilket ger $x_1 = 3004$ rpm.

Uppgift 7.
Se boken för svar på kunskapsuppgifterna.