

Sicherheit

Beschl. Sensor

$$a = \ddot{x}_e = -\frac{c}{m} x_a$$

x_e = Ort des Bezugssystems
 x_a = Ort der seismischen Masse

$$a_{ing} = \frac{a}{9,81 \frac{m}{s^2}}$$

C : Federkonst. $\frac{N}{m}$
 \ddot{x}_e : Beschl. $\frac{m}{s^2}$

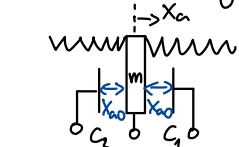
typische Beschl.-Werte:

- Frontcrash: 35g - 100g
- Seitencrash: 100g - 400g

Differentialkondensator

$$C_{1,2} = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{x_{ao} - x_a}$$

x_{ao} : Plattenabstand
 A : Plattenfläche
 x_a : Auslenkung



$$\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ As/Vm}$$

$$\epsilon_r = 1 \text{ bei Luft}$$

bei Wechselspannung:

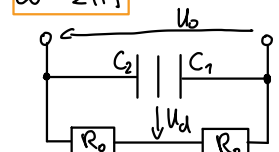
$$U_d = \frac{U_0}{2} \cdot \frac{x_2 - x_1}{x_2 + x_1}$$

$$\downarrow \text{mit: } x_{1,2} = \frac{1}{\omega \cdot C_{1,2}}$$

$$U_d = \frac{U_0}{2} \cdot x_a$$

$$a = \ddot{x}_e = -\frac{c}{m} \cdot \frac{2x_{ao} \cdot U_d}{U_0}$$

$$\omega = 2\pi f$$



mikromech. Beschl.-Sensor

$$C_{1,2} = \sum C_i$$



Gurtstraffer

$$P = U \cdot I = R \cdot I^2 = \frac{U^2}{R}$$

$$W = P \cdot t \text{ in Joule [Ws]}$$

W : Wärmeenergie
 t : Zeit

Airbag

$$P = U \cdot I \cdot \cos(\varphi)$$

$$P = \frac{U^2}{R \cdot (1 + \frac{1}{\omega^2 C^2 R^2})}$$

$$X_c = \frac{1}{2\pi f \cdot C}$$

Crashmode II

$$E_k = \frac{m}{2} v_0^2$$

E_k : kin. Energie

$$x_0 = \frac{v_0^2}{2a}$$

x_0 : Stauchung in [m]

$$t = \frac{v_0}{a}$$

t : Zeit für Crash

$$x_0 = l_{max} \cdot \left(\frac{v_0}{v_{0,max}}\right)^2$$

l_{max} : Knautschzone

$$a_c = \frac{v_{0,max}^2}{2 \cdot l_{max}}$$

a_c : Beschl.-Schwelle bei Angaben in g:

$$a_{c,5} = \frac{v_{0,max}^2}{2 \cdot l_{max} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}} \cdot g$$

rel. Kraftstoffhaltung

$$\lambda_k = \frac{m_k}{m_{k,th}}$$

m_k : analog wie Luft
 $m_{k,th}$: " " Kraftstoff

Luft-Kraftstoff-Verhältnis

$$\lambda_{st} = \frac{m_{L,th}}{m_{k,th}}$$

λ_{st} : stöchiometrisches Massenverhältnis

Benzin: $\lambda_{st} \approx 14,7$

Diesel: $\lambda_{st} \approx 14,5$

$$\lambda = \frac{\lambda_k}{\lambda_{st}} = \frac{1}{\lambda_{st}} \cdot \frac{m_L}{m_k}$$

$\lambda = 1$: stöchiometr. Verbrennung

$\lambda > 1$: Luftüberschuss mageres Gem.

$\lambda < 1$: Luftmangel fettes Gem.

Kraftstoffmasse

$$m_k = \frac{x \cdot p_k \cdot v}{3000 \cdot n \cdot z}$$

v : Geschw. in km/h

z : Zylinderanzahl

p_k : Kraftstoffdichte $\approx 0,75 \text{ kg/l}$

x : Verbrauch in $\frac{l}{100km}$

$$d_0(t) = (d_{soll} - d_0) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

mit $U(t) = K_{PR} \cdot d_0(t)$

Motor auf Prüfstand

$$\dot{m}_0 = \dot{m}_v \Rightarrow \text{Luftmassenströme in } \frac{kg}{h}$$

$$m_L = \dot{m}_0 \cdot \frac{1}{30 \cdot z \cdot n} \Rightarrow \text{Luftmasse pro Zylinder in kg}$$

$$m_{L,korr} = m_L \cdot \frac{p}{p_0}$$

p : Umgebungsdruck
 p_0 : Referenzdruck

Wechselstrom

Phasenwinkel:

$$\varphi = \varphi_u - \varphi_i$$

$$\cos(\varphi) = \frac{R}{Z}$$

$$U_{eff} = \hat{U} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}$$

Motor

Betriebsdaten

$$P_e = M \cdot \omega = \frac{M \cdot n}{9549}$$

P_e : Motorleistung in kW

M : Drehmoment in Nm

n : Drehzahl in $\frac{1}{min}$

$$p = \frac{n \cdot p_{ME} \cdot V_H}{1200}$$

p_{ME} : effekt. mittlerer Druck in bar

rel. Luftfüllung

$$\Gamma_L = \frac{m_L}{m_{L,th}}$$

m_L : Luftmasse im Brennraum

$m_{L,th}$: theorett. max. mögl. Luftmasse im Brennraum

$$m_{L,th} = p_0 \cdot V_H$$

p_0 : Dichte Luft = 1,29 kg/m³

V_H : Brennraumvolumen

Drosselklappe

$$\dot{\alpha} = K_{IS} \cdot U(t)$$

$\dot{\alpha}$: Winkelgeschw.

U : Steuerspannung

K_{IS} : Proportionalitäts konst. $\left[\frac{1}{s}\right]$



Regelstrecke

$$\alpha = K_{IS} \int U(t) dt + \alpha_{to}$$

α_{to} : Anfangswinkel

$$\text{Bogen} \cdot \frac{180^\circ}{\pi} = \text{Grad}$$

P-Regler:

$$U = K_{PR} \cdot d_0$$

mit $d_0 = d_{soll} - d$

K_{PR} : Regel konst. in V

d_0 : in Bogenmaß

Zeitverhalten:

$$d(t) = (d_{soll} - d_0) \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) + d_0$$

d_0 : Startwinkel

$$\tau = \frac{1}{K_{IS} \cdot K_{PR}} \quad \tau_{ins}$$

Winkel ist nach τ eingestellt!

Heißfilm-Luftmassenmesser

$$U_d = \frac{U_0}{2} \cdot \frac{R_2 - R_1}{R_2 + R_1}$$

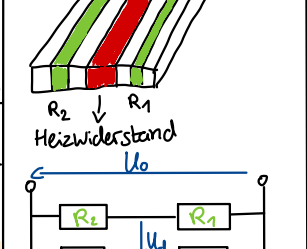
R_1 : gekühlter Widerstand

R_2 : erhitzter Widerstand

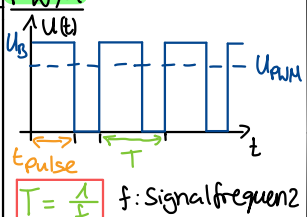
U_0 : Versorgungsspannung

$$U_d = \frac{\text{Signalspannung}}{\text{Verstärkung}}$$

$$R_2 = -R_1 \frac{U_0 + 2U_d}{2U_d - U_0}$$



PWM



$$T = \frac{1}{f} \quad f: \text{Signalfrequenz}$$

$$V_{Tast} = \frac{t_{pulse}}{T}$$

V_{Tast} : Tastverhältnis

T : Periodendauer

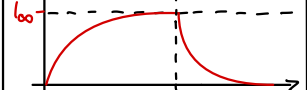
$$U_{PWM} = U_B \cdot V_{Tast}$$

U_{PWM} : mittlere Signal

Spule

$$I_{oo} = \frac{U_B}{R} \quad I_{oo}: \text{max. mögl. Strom}$$

$$\tau = \frac{L}{R} \quad L: \text{Induktivität}$$



Einschaltvorgang:

$$I(t) = I_{oo} \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

$$\Rightarrow \tau = -\frac{t}{\ln(1 - \frac{I(t)}{I_{oo}})}$$

Ausschaltvorgang:

$$I(t) = I_{oo} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Einspritzventil

Öffnungsvorgang:

$$F_{Mag}(t) = K_{Mag} \cdot I^2(t)$$

F_{Mag} : mag. Kraft

K_{Mag} : mag. Konstante

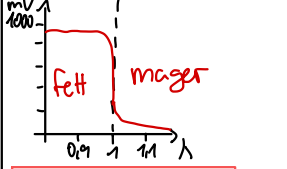
$$F_{Mag}(t) = F_{Mag,oo} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})^2$$

$F_{Mag,oo}$: Maximalwert

$$t_0 = -\tau \cdot \ln(1 - \sqrt{\frac{F_0}{F_{Mag,oo}}})$$

t_0 : Verzögerungszeit

Lambda-Regelung



$$\Delta m_k = C_{ventil} \cdot \Delta t_E \text{ in mg}$$

$$m_k = m_{k1} \pm \Delta m_k$$

- rechnen bei fett
 + rechnen bei mager

Breitband-Sonde

$$m_k = \frac{1}{L_{st}} \cdot \frac{m_L}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{1}{L_{st}} \cdot \frac{m_L}{m_k}$$

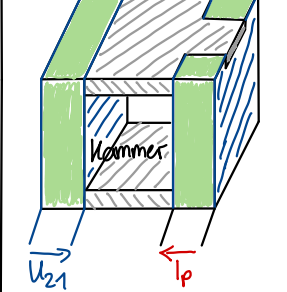
Benzin: $L_{st} \approx 14,7$

Diesel: $L_{st} \approx 14,5$

m_L : Luftmasse

m_k : Kraftstoffmasse

$U_{k12} = 4,50 \text{ mV} \Rightarrow \text{konst.}$



Kraftstoffmasse:



① Öffnungsvorgang: fester Wert m_{k1}

③ Schließvorgang: fester Wert m_{k3}

② Ventil offen: Einspritzmasse m_{k2} proportional zu Δt_{offen}

$$m_{k2} = C_{ventil} \cdot \Delta t_{offen}$$

C_{ventil} : Einspritz konst. $\left[\frac{kg}{s}\right]$

$$m_k = m_{k1} + m_{k2} + m_{k3}$$

\Rightarrow in kg

$$t_{on} = \Delta t + t$$

t : Zeitpunkt, ab dem Ventil offen ist

$$K_{Mag} = \frac{M_0 \cdot A \cdot N^2}{2 \cdot L_0^2} \text{ in } \frac{N}{A^2}$$

M_0 : Konstante $4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am}$

L_0 : Hubweg Nadel

Schließvorgang:

$$F_{Mag}(t) = K_{Mag} \cdot I^2(t)$$

F_{Mag} : mag. Kraft

K_{Mag} : mag. Konstante

$$F_{Mag}(t) = F_{Mag,oo} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})^2$$

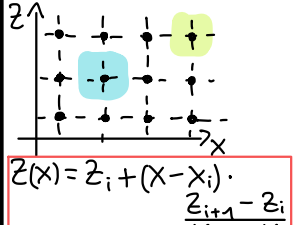
$F_{Mag,oo}$: Maximalwert

$$t_0 = -\frac{\tau}{2} \cdot \ln\left(\frac{F_0}{F_{Mag,oo}}\right)$$

t_0 : Verzögerungszeit

$$K_{Mag} = \frac{M_0 \cdot A \cdot N^2}{2 \cdot L_{FE}^2}$$

Kennfeld



Zündanlage

$$H = \frac{N \cdot I}{L} \quad \text{in A/m}$$

$$L = N^2 \frac{\mu_0 \mu_r A}{L} \quad L = \frac{N \Phi}{I}$$

in Henry

$$B = \mu_0 \mu_r \cdot H \quad \text{in Tesla}$$

$$\Phi = B \cdot A$$

$$W = 0,1 \cdot \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2 (t_{\text{mag}})$$

W: Zündenergie

$$t_{\text{mag}} = 2 \cdot \frac{60s}{n}$$

n: Drehzahl in $\frac{1}{\text{min}}$

t_{mag} : Einschaltzeit bei Drehzahl in s

$$I(t_{\text{mag}}) = I_{\infty} \cdot (1 - e^{-\frac{t_{\text{mag}}}{T}})$$

$$W_{\text{mag}} = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2(t)$$

W_{mag} : mag. Feldenergie

$$I(t) = I_{\infty} \cdot (1 - e^{-\frac{t}{T}})$$

Transformatorgesetz:

$$\frac{U_p}{U_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

U_p : Spannung primär

U_s : Spannung sekundär

N_p : Windung primär

N_s : Windung sekundär

$$U_p = L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

Δt : Abschaltzeit Unterbrechung in s

ΔI : Stromänderung $[I(t_{\text{mag}})]$

*

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{C^2 \left(\frac{R \cdot U^2}{P} - 1 \right)}}$$

$$T = \frac{L}{R_{\text{cu}}}$$