Physik 2 Formelsammlung FS22 Aviatik, Beda Ammann

Physik 2

Der 1. Hauptsatz der Thermodynamik

$$W_{th,12} = \int_{t_1}^{t_2} I_{W,th}\, dt$$ Thermische Energie

$I = [\text{Watt}]$ $W = [\text{Watt}\cdot s] = [J] = ([Nm])$

$$W_{mech,12} = \int_{t_1}^{t_2} I_{W,mech}\, dt$$ Arbeit

$$W^{rev}_{mech,12} = -\int_{V_1}^{V_2} p\, dV$$ Volumenänderungsarbeit

$\hookrightarrow W^{rev}_{mech,12} = -p(V_2 - V_1) \Rightarrow I_{W,mech} = -p\frac{dV}{dt}$

$$\frac{dU}{dt} = I_{W,th} + I_{W,mech}$$ 1. HS Thermodynamik

$\hookrightarrow U(t_2) - U(t_1) = \Delta U = W_{th,12} + W_{mech,12}$

$$U(t_2) - U(t_1) = \Delta U = W_{th,12} - \int_{V_1}^{V_2} p\, dV$$

$\hookrightarrow$ 1. HS Thermodyn. für geschlossene/reversible Prozesse

$$dU = I_{W,th}\, dt - p\, dV$$

$$H = U + pV$$ Enthalpie

$$dH = I_{W,th}\, dt + V dp$$ geschlossen/reversibel

$$H(t_2) - H(t_1) = H_2 - H_1 = \Delta H = W_{th,12} + \int_{p_1}^{p_2} V\, dp$$

$$U = m \cdot c_V(T)\, T + U_0$$ kalorische Zustandsgleichung von Gasen

$$U_2 - U_1 = \Delta U = m \bar{c}_V (T_2 - T_1)$$ wenn V konstant

$$\bar{c}_V = \frac{W_{th,12}}{1 kg\, K}$$

$c_V = \left[\frac{J}{kg K}\right]$ wenn Volumen (V) konstant

$$H = m c_p(T)\, T + H_0$$

$$H_2 - H_1 = \Delta H = m \bar{c}_p (T_2 - T_1)$$ Kalorische Zustandsgleichung von Gasen

$$\bar{c}_p = \frac{W_{th,12}}{1 kg\, K}$$ wenn Druck (p) konstant

$$U_2 - U_1 = \Delta U = m \bar{c}_{L/S} (T_2 - T_1)$$ Zustandsgleich. für Flüssigkeiten/Feststoffe

$$H_2 - H_1 = \Delta H = m \bar{c}_{L/S} (T_2 - T_1) + V(p_2 - p_1)$$

$c_L \rightarrow$ Wärmekapazität Flüssigkeit (liquid)

$c_S \rightarrow$ Wärmekapazität Feststoff (solid)

Phasenübergänge

$\Delta H_{SL} = m \cdot \Delta h_{SL}$ Schmelzenthalpie

spezifische Schmelzenthalpie

$\Delta H_{LV} = m \cdot \Delta h_{LV}$ Verdampfungsenthalpie

Das ideale Gas

$$pV = nRT$$ Ideale Gasgleichung (Molenform)

$n = [mol]$ $R = 8.314 \frac{J}{mol \cdot K}$ universelle Gaskonstante

$n = \frac{N}{N_A}$ $N \rightarrow$ Anzahl Moleküle; $N_A \rightarrow$ Avogadrozahl $= 6.022 \cdot 10^{23}$

$$k = \frac{R}{N_A} = 1.38 \cdot 10^{-23}\, J/K$$ Boltzmann-Konstante

$$pV = NkT$$ Ideale Gasgleichung (Teilchenform)

$n = \frac{m}{M}$ $M \rightarrow$ Molaremasse $[kg/mol]$

$$pV = m\frac{R}{M}T$$ Ideale Gasgleichung (Massenform)

$\hookrightarrow p = \rho \frac{R}{M} T$ $\left(\rho = \frac{m}{V}\right)$ intensive Variante

$$\frac{R}{M} = R_s$$ Spezifische Gaskonstante

$\hookrightarrow pV = m R_s T$

$\hookrightarrow p = \rho R_s T$

$$c_p = c_v + R_s$$ Beziehung c_p & c_v

$$c_v = Z R_s$$ kinetische Gastheorie

$Z = f/2$ f = Anzahl Freiheitsgrade

$$Z = \begin{cases} 3/2 & \text{1-atomiges Gas } (f=3) \\ 5/2 & \text{2-atomiges Gas } (f=5) \\ 6/2 & \text{mehr-atomiges Gas } (f=6) \end{cases}$$

$$c_p = (Z+1) R_s$$ Wärmekapazität idealer Gase

$$\Delta U = m Z R_s \Delta T$$ kalorische Zustandsgleichungen idealer Gase

$$\Delta H = m (Z+1) R_s \Delta T$$

$$p = \frac{1}{3}\rho\, c_A^2$$ c_A: mittlere Geschwindigkeit

$$\frac{R}{M}T = \frac{1}{3}c_A^2$$

$$W_{kin} = m c_v T \doteq U$$ Kinetische Energie der Gesamtheit der Gasatome

Physik 2 Formelsammlung FS22 Aviatik, Beda Ammann

Zustandsänderungen idealer Gase

$\frac{V_2}{T_2} = \frac{V_1}{T_1}$ isobare Zustandsänderung

$W_{th,12} = m\,c_p(T_2 - T_1)$ für isobaren Prozess

$W^{rev}_{mech,12} = -\int_{V_1}^{V_2} p\,dV = -p(V_2 - V_1)$ wenn $p = const$

$\frac{p_2}{T_2} = \frac{p_1}{T_1}$ isochore Zustandsänderung

$W_{th,12} = m\,c_v(T_2 - T_1)$ für isochoren Prozess

$W^{rev}_{mech,12} = 0$ Volumenänderungsarbeit, da $dV = 0$

$p_1 V_1 = p_2 V_2$ isotherme Zustandsänderung

$W_{th,12} = -W^{rev}_{mech,12} = m\frac{R}{M}T\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$ Volumenänderungsarbeit (isotherm)

$\quad = p_1 V_1 \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$ (ideale Gasgleichung)

$U \propto T$

$\kappa = \frac{c_p}{c_v}$ isentropenexponent

$T_2 V_2^{(\kappa-1)} = T_1 V_1^{(\kappa-1)}$ 1. Isentrope Beziehung

$p_2 V_2^{\kappa} = p_1 V_1^{\kappa}$

$p_2 T_2^{\kappa/(1-\kappa)} = p_1 T_1^{\kappa/(1-\kappa)}$

isentrope im p,V-Diagramm immer steiler als isotherme

$W^{rev}_{mech,12} = U_2 - U_1 = m\,c_v(T_2 - T_1)$ Volumenänderungsarbeit (isentrop)

$W_{th,12} = 0$ ausgetauschte Wärme (isentrop)

Zustandsänderung	Zustandsgrössen	Arbeit $W^{rev}_{mech,12}$	Wärme $W_{th,12}$
isobar	$\frac{V}{T} = \text{const.} \Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1}$	$-p(V_2 - V_1)$	$m\,c_p(T_2 - T_1)$
isochor	$\frac{p}{T} = \text{const.} \Rightarrow \frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1}$	0	$m\,c_v(T_2 - T_1)$
isotherm	$pV = \text{const.} \Rightarrow \frac{p_2}{p_1} = \frac{V_1}{V_2}$	$-m\frac{R}{M}T\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$	$m\frac{R}{M}T\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$
isentrop (adiabat-reversibel)	$TV^{(\kappa-1)} = \text{const.} \Rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{(\kappa-1)}$ $pV^{\kappa} = \text{const.} \Rightarrow \frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\kappa}$ $pT^{\kappa/(1-\kappa)} = \text{const.} \Rightarrow \frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{\kappa/(1-\kappa)}$	$m\,c_v(T_2 - T_1)$	0

Kreisprozesse und Wirkungsgrade

$W^{rev}_{mech,\odot} = -W_{th,\odot}$

$W_{th,\odot} = W_{th,\oplus} + W_{th,\ominus} = W_{th,\oplus} - |W_{th,\ominus}|$

$W^{rev}_{mech,\odot} = -(W_{th,\oplus} + W_{th,\ominus}) = |W_{th,\ominus}| - W_{th,\oplus}$

Im (p,V)-Diagramm ist die vom Prozess abgegebene Volumenänderungsarbeit bis auf das Vorzeichen durch die von der gesamten Prozesskurve eingeschlossenen Fläche gegeben.

$\eta = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Aufwand}}$ Wirkungsgrad

$\eta_{Otto} = \frac{|W^{rev}_{mech,\odot}|}{W_{th,\oplus}} = \frac{(T_3 - T_2) + (T_1 - T_4)}{(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} < 1$

$\eta_{Otto} = 1 - \frac{1}{\epsilon^{(\kappa-1)}}$ Wirkungsgrad Ottomotor

ϵ : Verdichtungsverhältnis

$\eta_{Otto,Luft} \approx 1 - \epsilon^{-0.4}$

$W^{rev}_{mech,\odot} = -\oint p\,dV = \oint V\,dp = W_{th,\odot}$

praktisch für isochor; praktisch für isobar; praktisch für isentrop

$\eta_{WKM} = \frac{|W^{rev}_{mech,\odot}|}{W_{th,\oplus}} = \frac{|-W_{th,\odot}|}{W_{th,\oplus}} = \frac{W_{th,\oplus} - |W_{th,\ominus}|}{W_{th,\oplus}} = 1 - \frac{|W_{th,\ominus}|}{W_{th,\oplus}}$

$\eta_{KM} = \frac{W_{th,\oplus}}{W^{rev}_{mech,\odot}} = \frac{|W_{th,\ominus}| - W^{rev}_{mech,\odot}}{W^{rev}_{mech,\odot}} = \frac{|W_{th,\ominus}|}{W^{rev}_{mech,\odot}} - 1$

$\eta_{WP} = \frac{|W_{th,\ominus}|}{W^{rev}_{mech,\odot}} = \frac{W^{rev}_{mech,\odot} + W_{th,\oplus}}{W^{rev}_{mech,\odot}} = 1 + \frac{W_{th,\oplus}}{W^{rev}_{mech,\odot}}$

Entropie und der 2. Hauptsatz der Thermodynamik

$\eta_{WKM,carnot} = 1 - \frac{T_u}{T_o}$ Wirkungsgrad Carnot-Prozess in WKM

$\frac{dS}{dt} = \frac{I_{W,th}}{T}$ Entropie $S = [J/K]$

$\frac{dS}{dt} = I_S = \frac{I_{W,th}}{T}$ Entropiefluss $\boxed{\Delta S = \frac{W_{th}}{T}}$

$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_{t_1}^{t_2} \frac{I_{W,th}}{T}\,dt = \int_{t_1}^{t_2} I_S\,dt$

Bei isentropen Zustandsänderungen: $I_{W,th} = 0 \rightarrow S_1 = S_2$

$\frac{dS}{dt} > \frac{I_{W,th}}{T}$ irreversible Prozesse

$\frac{dS}{dt} = \frac{I_{W,th}}{T} + \Pi_S$ Entropieproduktionsrate

$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_{t_1}^{t_2} \frac{I_{W,th}}{T}\,dt + \int_{t_1}^{t_2} \Pi_S\,dt$

$$W_{th,12} = \int_{t_1}^{t_2} I_{W,th}\, dt = \int_{S_1}^{S_2} T\, dS$$

$$W^{rev}_{mech,\ominus} = -W_{th,\ominus} = \oint I_{W,th}\, dt = \oint T\, dS$$

$$\eta_{KM,carnot} = \frac{T_u}{T_o - T_u} = \frac{W_{th,\oplus}}{W^{rev}_{mech,\ominus}}$$

$$\eta_{WP,carnot} = \frac{T_o}{T_o - T_u} > 0$$

Fläche unter T/S-Diagramm ist die ausgetauschte Wärme-Energie W_{th}

$$W_{th,\oplus} = T_u \Delta S$$

$$W_{th,\ominus} = -T_o \Delta S$$

$$\Delta S = S_2 - S_1 = m\left[c_v \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) + \frac{R}{M}\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)\right]$$

↳ Entropieänderung idealer Gase als Funktio von T, V

$$\Delta S = S_2 - S_1 = m\left[c_p \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) - \frac{R}{M}\ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right)\right]$$

↳ Entropieänderung idealer Gase als Funktion von T, p

$$T_2 = T_1 \exp\left(\frac{S_2 - S_1}{m c_v}\right)$$ isochore Zustandsänderung

$$T_4 = T_3 \exp\left(\frac{S_4 - S_3}{m c_p}\right)$$ isobare Zustandsänderung

Wärmetransportphänomene – Math. Modellierung

$\kappa = [W/(m K)]$ thermische Leitfähigkeit

$$I_{th,x} = -\kappa A \frac{\Delta T}{\Delta x}$$ Fouriersche Wärmeleitungsgesetz

$$j_{th,x} = -\kappa \frac{dT}{dx}, \quad j_{th,x} = \frac{I_{th,x}}{A}$$ flächengemitteltes, lokales Wärmefluss-vektor

$$j_{th,\alpha} = \alpha(\underset{\text{z.B. Wand}}{T_S} - \underset{\text{Umgebung}}{T_u})$$ Wärmeübergangskoeffizient α

$$I_{th,\alpha} = A\alpha(T_S - T_u)$$ absoluter Wärmestrom (Newton'sches Abkühlungsgesetz)

$$\alpha = [W/m^2 K]$$

$$I_{th,rad} = \sigma A T_S^4$$ Stefan-Boltzmann Gesetz (schwarze Oberfläche)

$$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$$

$$\varepsilon \begin{cases} = 1 & \text{Schwarzer Körper} \\ < 1 & \text{Grauer Körper} \\ = 0 & \text{Weisser Körper} \end{cases}$$ Strahlungseffizienz / Emissivität

$$I_{th,rad} = \sigma \varepsilon A T_S^4$$ für allgemeine Strahler

$$I_{th,rad} = \frac{\sigma A}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}\left(T_{S_1}^4 - T_{S_2}^4\right)$$ für heisse zu kalter Fläche

$$I_{th,rad} = \sigma \varepsilon_1 A_1 \left(T_{S_1}^4 - T_{S_2}^4\right)$$ heisses Körper zu kühlen Raum

$$I_{th,x} = AU(T_i - T_a)$$ Wärmedurchgang U

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_a} + \frac{d_{II}}{\kappa_{II}} + \frac{d_{III}}{\kappa_{III}} + \frac{1}{\alpha_i}}$$

$$U = \frac{\overset{\text{therm. Leitfähigkeit}}{\kappa}}{\underset{\text{Distanz in m}}{d}}$$

$$R_{th} = \frac{1}{A}\left(\frac{1}{\alpha_a} + \frac{d_{II}}{\kappa_{II}} + \frac{d_{III}}{\kappa_{III}} + \frac{1}{\alpha_i}\right)$$ Thermischer Widerstand

$$I_{th,x} = (T_i - T_a) / R_{th}$$

$R_{th} = [K/W]$ $\quad U = [W/(m^2 K)]$

Naturkonvektion: $I_{th,\alpha}$ Thermische Strahlung: $I_{th,rad}$

$$C_i \frac{dT_i}{dt} = \sum_{j=1}^{N} \frac{(T_j - T_i)}{R_{ij}}$$ Energiebilanz Subsystem i

$C_i = m_i \cdot c_i$

Der 1. Hauptsatz für offene, stationäre Systeme

$$\underbrace{\rho_1 c_1 A_1}_{I_{m_1}} = \rho_2 c_2 A_2$$ Massenfluss an Ein- & Ausgang

c = Strömungsgeschwindigkeit

$$p_1 + \frac{\rho}{2}c_1^2 + \rho g z_1 = p_2 + \frac{\rho}{2}c_2^2 + \rho g z_2$$ Bernoulli

$[J/m^3]$

Erster Hauptsatz für offene, stationäre Systeme:

$$\Delta I_{W_{th}} + \Delta I_{W_p} + \Delta I_{W_{kin}} + \Delta I_{W_{pot}} = I_{th,12} + I_{mech,12}$$

$$I_m \cdot \left[(h_2 - h_1) + \frac{1}{2}(c_2^2 - c_1^2) + g(z_2 - z_1)\right] = I_{th,12} + I_{mech,12}$$

↳ $h = u + pv$

$u = U/m$ massenspezifische innere Energie

$v = V/m$ spezifisches Volumen

$$\boxed{\begin{aligned} I_m &= \rho I_V \\ I_V &= cA \end{aligned}}$$

$$(h_2 - h_1) + \frac{1}{2}(c_2^2 - c_1^2) + g(z_2 - z_1) = w_{th,12} + w_{mech,12}$$

$$w_{th,12} = I_{th,12} / I_m \qquad w_{mech,12} = I_{mech,12} / I_m$$

$$I_m \cdot \left[c_L(T_2 - T_1) + \frac{1}{\rho}(p_2 - p_1) + \frac{1}{2}(c_2^2 - c_1^2) + g(z_2 - z_1)\right]$$
$$= I_{th,12} + I_{mech,12}$$ ⇒ 1. HS mit konstanter Dichte

$$I_{mech,12} = I^{rev}_{mech,12} + I^{diss}_{mech,12}$$

1. Hauptsatz offener, stationärer Systeme für Gase:

$$I_m\left[c_p(T_2 - T_1) + \underbrace{\frac{1}{2}(c_2^2 - c_1^2)}_{\text{Geschwindigkeit z.T. vernachlässigbar}}\right] = I_{th,12} + I_{mech,12} (+I_{diss})$$

Reversible Leistung bei isentroper Expansion / Kompression

$$I^{rev}_{mech,12} = I_m c_p T_1 \left[\left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1-\kappa}{\kappa}} - 1\right]$$

Physik 2 Formelsammlung FS22 Aviatik, Beda Ammann

Thermodynamische Charakterisierung Flugzeugturbine

$F_S = I_{m,aus} \cdot c_{aus} - I_{m,ein} \cdot c_{ein} \approx I_m (c_{aus} - c_{ein})$

↳ Schubkraft Turbojet

$P_{mech} = c_{ein} \cdot F_S$ Vortriebsleistung

$\frac{I_m}{2}(c_{Ende}^2 - c_{Anfang}^2) = I_{th,Brennkammer} - |I_{th,ext.\,Kühler}| \gg 0$

↳ Gesamtenergiebilanz Turbojet

Innenwirkungsgrad Turbojet (Leistung in kin. E. zu Wärme Brennstoff)

$\eta_i = 1 - \frac{|I_{th,61}|}{I_{th,34}} = 1 - \frac{T_6 - T_1}{T_4 - T_3}$

Aussenwirkungsgrad: Vortriebsleistung zu Zugewinn Leist kin. E.

Therm. Wirkungsgrad: Vortriebsleistung zu zugeführt. Wärmestr.

$\eta_{th} = \eta_i \cdot \eta_a$

Das elektrische Feld

$[C = A \cdot s]$ Einheit der Ladung Coulomb

$[1Ah = 3600C]$

$e = 1.602176634 \cdot 10^{-19}$ C

$\dot{Q} = \sum I_{Q,zu} + \sum I_{Q,ab}$ Ladungsbilanz für System

$[1A = 1\frac{C}{s}]$ Einheit des elekt. Stroms Ampère

$\vec{F}_{C,12} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \cdot \frac{\vec{r}_{12}}{r_{12}}$ Coulombkraft zw. zwei Punktladungen

$\varepsilon_0 = 8.85419 \cdot 10^{-12} \frac{As}{Vm}$, $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 8.987 \cdot 10^9 \frac{Vm}{As}$

$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r}$ Elektrisches Feld einer Punktladung

$\vec{F}_C(\vec{r}) = q \cdot \vec{E}(\vec{r})$ Coulomb-kraft auf Probeladung in elektrischem Feld

$E(r) = [\frac{N}{C} = \frac{Nm}{Cm} = \frac{J}{Cm} = \frac{Ws}{Cm} = \frac{VAs}{Asm} = \frac{V}{m}]$

$\phi = \int_A \vec{E} \cdot d\vec{A}$ Fluss des elektrischen Feldes $\vec{E}$ durch die Fläche A

$Q = V \cdot \varrho$ (Ladung = V · Ladungsdichte)

$\oint_A \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q}{\varepsilon_0}$ Gauss'sches Gesetz der Elektrostatik

$\varphi_G(r) = -G\frac{M}{r}$ Gravitationspotenzial einer Punktmasse

$F_G = G \cdot \frac{m_1 m_2}{r^2}$ mittlere Gravitationskraft zw. 2 Teilchen

$\Delta E_{pot,G} = m \cdot \Delta\varphi_G$ Änderung der potentiellen Gravitationsenergie und Potentialdifferenz

$\Delta\varphi_G = \varphi_G(P_2) - \varphi_G(P_1) = -\int_{P_1}^{P_2} \vec{g}(\vec{r})\, d\vec{s}$

↳ Gravitationspotentialdifferenz zw. zwei Punkten in einem Gravitationsfeld $\vec{g}$

$\varphi_G(P) = -\int_{-\infty}^{P} \vec{g}(\vec{r})\, d\vec{s}$ Gravitationspotential an einem Punkt P in einem Gravitations-feld $\vec{g}$

$\varphi_E(P) = \int_{-\infty}^{P} \vec{E}(\vec{r})\, d\vec{s}$ Elektrisches Potential an einem Punkt P in einem elekt. Feld $\vec{E}$

$\Delta E_{pot,E}(\Delta r) = q \cdot \Delta\varphi_E$ Änderung der potenziellen elektr. Energie und Potentialdifferenz

$E_{pot,E} = q \cdot \varphi_E$

$\Delta\varphi_E = \varphi_E(P_2) - \varphi_E(P_1) = -\int_{P_1}^{P_2} \vec{E}(\vec{r})\, d\vec{s}$

↳ Elektrische Potentialdifferenz zw. zwei Punkten in einem elektr. Feld $\vec{E}$

$\varphi_E(r) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{Q}{r}$ Elektrisches Potential einer Punktladung

$P_G = \Delta\varphi_G \cdot I_m$ Prozessleistung eines gravitativen Prozesses

$P_E = \Delta\varphi_E \cdot I_Q$ Prozessleistung eines elektrischen Prozesses

elektrisches Potential = Spannung $[\rightarrow 1V = 1\frac{W}{A}]$

$[1eV] = 1.6 \cdot 10^{-19}$ J

Der elektrische Widerstand

$R(t) = \frac{U(t)}{I(t)}$ Elektrischer Widerstand

↳ = const. → Ohm'scher Leiter

$[1\,\Omega = 1\frac{V}{A}]$

Leitwert $G = \frac{1}{R}$ [S] (Einheit Siemens)

Leitfähigkeit σ [S/m], spez. Widerstand ϱ [Ωm]

$R = \varrho \frac{L}{A}$ Für gleichförmiger Körper aus reinem Material. (L = Länge, A = Querschnitt)

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

$\Delta E_{t_1 \to t_2} = \int_{t_1}^{t_2} U(t) \cdot I(t) \cdot dt$ freigesetzte Energie bei Prozessleistung

$R = R_1 + R_2$ Ersatzwiderstand für Serienschaltung von Ohm'schen Widerständen

↳ $U = U_1 + U_2$, $I = I_1 = I_2$

$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ Ersatzwiderstand für Parallelschaltung von Ohm'schen Widerständen

↳ $I = I_1 + I_2$, $U = U_1 = U_2$

Hydraulik

$I_V = \frac{\Delta p}{R_V}$ Volumenstrom durch Leitung bei laminarer Strömung

$I_V = \sqrt{\frac{\Delta p}{k}}$ Volumenstrom durch Leitung bei turbulenter Strömung. k = turbulenter hydr. Widerstand

$I_{V,krit} = \frac{R_V}{k}$ Kritischer Volumenstrom, Übergang laminar zu turbulent

$\Delta p_{krit} = \frac{R_V^2}{k}$ Kritischer Druck, Übergang laminar zu turbulent

$P = R_V \cdot I_V^2$ Prozessleistung laminar

$P = k \cdot I_V^3$ Prozessleistung turbulent

$R_V = R_{V_1} + R_{V_2}$ Ersatzwiderstand für Serienschaltung von hydraulischen Widerständen

$\frac{1}{R_V} = \frac{1}{R_{V_1}} + \frac{1}{R_{V_2}}$ Ersatzwiderstand für Parallelschaltung von hydraulischen Widerständen

Die elektrische Kapazität

$C(t) = \frac{Q(t)}{U(t)}$ Kapazität eines Kondensators

$[1\,F = \frac{1C}{1V}]$ Farad

Serienschaltung Kondensatoren:

$U_{AC} = U_{AB} + U_{BC}$, $Q_1 = Q_2 = Q$, $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$

Parallelschaltung Kondensatoren:

$Q_1 = C_1 \cdot U_{AB}$, $Q = Q_1 + Q_2$, $C = C_1 + C_2$

$W_C = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2$ In Kondensator gespeicherte Energie

$W = Q \cdot U$ $[J = C \cdot V]$

$C_V = \frac{dV}{dp}$ $C_V = \frac{A}{\varrho g}$ Hydraulische Kapazität

Lade-, Entlade- & Ausgleichsprozesse

$U_C(t) = U \cdot (1 - e^{-t/\tau})$ Spannung Kondensator Ladevorgang

$\tau = RC$ Zeitkonstante einer seriellen RC-Schaltung

$\tau = [1\,\Omega \cdot 1\,F = 1\frac{V}{A} \cdot \frac{C}{V} = 1\frac{A \cdot s}{A} = 1\,s]$

$Q_C(t) = Q_{C,F} \cdot (1 - e^{-t/\tau})$ Ladung Kondensator Ladevorgang

$U_C(t) = U \cdot e^{-t/\tau}$ Spannung Kondensator Entladevorgang

$Q_C(t) = Q \cdot e^{-t/\tau}$ Ladung Kondensator Entladung

$\varphi_{Ausgleich} = \frac{Q_{1,I} + Q_{2,I}}{C_1 + C_2}$ Ausgleichspotential Kondensatoren

$\Delta W_{Sys} = \Delta Q \cdot \frac{1}{2} \cdot (\Delta\varphi_I + \Delta\varphi_F)$

↳ Energieänderung bei Ladungsaustausch zw. Kondens.

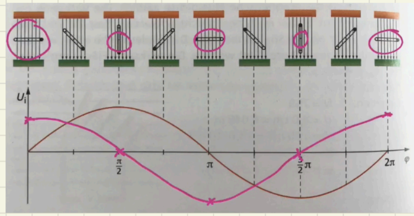
$\phi_B = B \cdot A \cdot \cos(\alpha)$

↳ wenn 90° dann = 0
wenn parallel dann = 1

Magnetfeld und Lorentz-Kraft

$\phi_B = \int_A \vec{B} \cdot d\vec{A}$ Magnetischer Feldfluss

[Weber = Wb = $T \cdot m^2$]



$\dot{\phi}_{mag} = \underbrace{N \cdot B \cdot A_0 \cdot \omega}_{U_{max}} \cdot \underbrace{\sin(\omega t)}_{\text{wenn} = 1}$

$\phi_B = N \cdot \int_A \vec{B} \cdot d\vec{A} = N \cdot \int_A B \cdot dA \cdot \cos(\vec{B}, d\vec{A})$

$= N \cdot B \cdot \cos(\varphi) \cdot \underbrace{\int_A dA}_{=A} = N \cdot B \cdot A \cdot \cos(\varphi)$

$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$ Transformator

Physik 2 Formelsammlung FS22 Aviatik, Beda Ammann

$\oint_A \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$ Gauss'sches Gesetz des Magnetismus

$d\vec{B}(\vec{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I \cdot d\vec{l} \times \vec{r}}{r^2}$ Gesetz Biot-Savart

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{N}{A^2}$ Magnetische Feldkonstante

$B = \frac{\mu_0 I}{2r}$ Magnetfeld im Zentrum einer Leiterschleife

$B = \mu_0 \frac{NI}{l}$ Magnetfeld im Innern einer langen Spule

$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$ Magnetfeld um einen langen geraden Leiter

$\oint_{\partial A} \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I$ Ampèresches Gesetz

$\vec{F_B} = q\vec{v} \times \vec{B}$ Magnetische Kraft auf geladenes Teilchen

$\vec{F}_{Lorentz} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$ Lorentz-Kraft auf geladenes Teilchen

$\vec{F} = I \cdot (\vec{l} \times \vec{B})$ Magnetische Kraft auf stromdurchflossenes gerades Leiterstück

$\vec{\mu} = I \cdot \vec{A}$ Magnetisches Moment einer stromdurchflossenen Leiterschleife

$\vec{M} = \vec{\mu} \times \vec{B}$ Drehmoment auf eine stromdurchflossene Leiterschleife in einem Magnetfeld

Elektromagnetische Induktion

$U_{ind} = -\frac{d\phi_{mag}}{dt}$ Gesetz von Faraday

$U_{ind} = N \cdot \left(-\frac{d\phi_B}{dt}\right)$

$\oint_{\partial A} \vec{E}_{ind} \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \int_A \vec{B} \cdot d\vec{A}$

↳ Durch Änderung des magnetischen Feldflusses induziertes elektrisches Feld

$L = \mu_0 \cdot \left(\frac{N}{l}\right)^2 \cdot Al$ Induktivität einer langen Zylinderspule

$U_L = L\dot{I}$ Selbstinduktionsspannung und Induktivität

$L = \left[H = \frac{V}{A/s}\right]$

$E_L = \frac{1}{2} L I^2$ Induktiv gespeicherte Energie

$w_{mag} = \frac{B^2}{2\mu_0}$ Energiedichte des Magnetfelds

RL-Schaltkreis

$\tau = \frac{L}{R}$ Zeitkonstante RL-Schaltkreis

$U_R + U_L = 0$ (Wenn Spannungsquelle noch dran: $U_R + U_L + U_G = 0$)

$\dot{I} + \frac{R}{L} I = 0 \Leftrightarrow \ddot{Q} + \frac{R}{L}\dot{Q} = 0$

$I(t) = I_0 \cdot e^{-t/\tau}$

LC-Schaltkreis

$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{2\pi}{T}$ Eigenfrequenz LC-Schaltkreis

$\gamma = \frac{R}{2L} = \frac{\omega_0}{2\pi}$

$\omega_d = \sqrt{\omega_0^2 - \gamma^2} \approx \omega_0$

$U(t) = U_0 \cdot e^{-\gamma \cdot t} \cos(\omega_d \cdot t)$

$U_C + U_L = 0$ Spannung LC-Schaltkreis

↳ $\frac{Q}{C} + L\dot{I} = 0$ $\quad I(t) = \dot{Q}(t)$

$\dot{I}(t) = \ddot{Q}(t)$

↳ $\frac{1}{LC} \cdot Q + \ddot{Q} = 0$

$x(t) = x_0 \cdot \cos(\omega_0 t + \delta)$ → Phasenverschiebung meistens $=0$

$Q(t) = Q_0 \cdot \cos(\omega_0 t)$

RLC-Schaltkreis

$U_C + U_L + U_R = 0$

$\ddot{Q} + \frac{R}{L}\dot{Q} + \frac{1}{LC} Q = 0$

$Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\gamma t} \cdot \cos(\omega_d t)$

$U_C(t) = U_{C,0} \cdot e^{-\gamma t} \cdot \cos(\omega_d t)$

$I(t) = \dot{Q}(t) = \gamma \omega Q_0 \cdot e^{-\gamma t} \cdot \sin(\omega_d t)$

RLC-Schaltkreis angeregt

$U_C + U_L + U_R - U_G = 0$

$\ddot{Q} + \frac{R}{L}\dot{Q} + \frac{1}{LC} Q = \frac{U_0}{L} \cos(\omega_G t)$

ω_G → Kreisfrequenz Generator