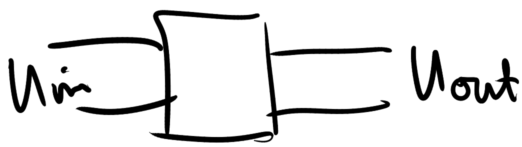
We will start 8^{15}



$$h = \frac{U_{out}}{U_{in}} \in \mathbb{C}$$

Ampliden: deciBel.

$$dB = 10 \cdot \log_{10}(\text{Faktor})$$

Leistungsamplitude

$$dB = 20 \cdot \log_{10}(\text{Faktor})$$

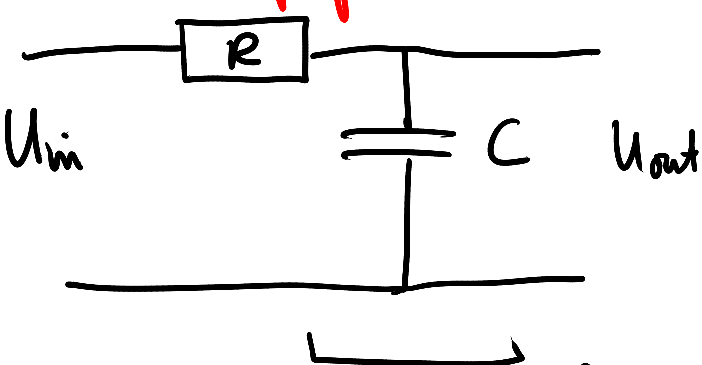
Amplitude

Typischerweise: Leistung Faktor 0.5: $-3dB$

Amplitude: Faktor $\frac{1}{\sqrt{2}} = 0.701$

$\rightarrow -3dB$

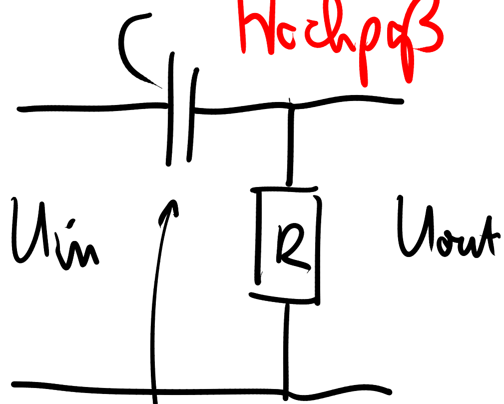
Tiefpaß



„Kurzschluß" für $f \to \infty$ wegen $Z = \frac{1}{i\omega C}$

$\rightarrow$ Spannungen werden übertragen bei $f < f_c$

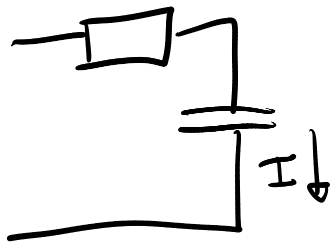
Hochpaß



Isolation bei kleinen Frequenzen

$\rightarrow$ Spannungen bei $f > f_c$ übertragen

Übertragungsfunktion $h(\omega) = \frac{U_{out}}{U_{in}}$



$$Z = R + \frac{1}{i\omega C}$$

$$I = \frac{U_{in}}{Z}$$

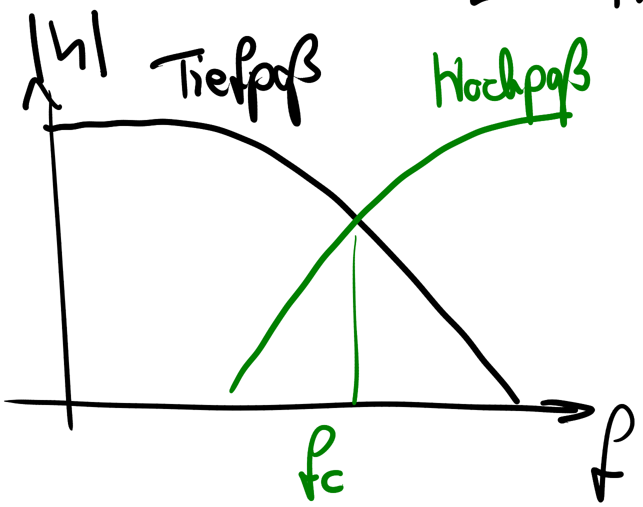
$$U_{out} = Z_C \cdot I = \frac{I}{i\omega C} = \frac{U_{in}}{i\omega C \cdot Z}$$

$$h = \frac{U_{out}}{U_{in}} = \frac{1}{i\omega C\left[R + \frac{1}{i\omega C}\right]} = \frac{1}{1 + \underbrace{i\omega RC}_{}} \ll 1$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

$h = 1/2$

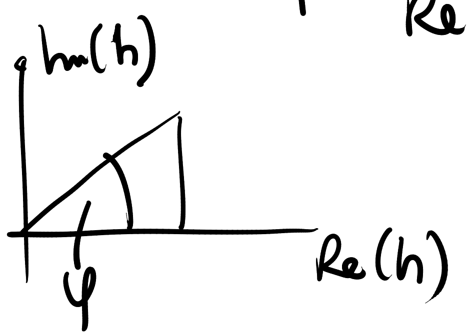
$(-3dB)$

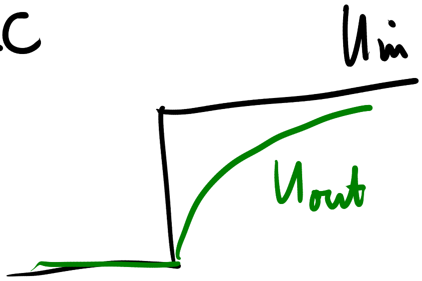


Hochpaß analog: $h = \dfrac{1}{1 + \frac{1}{i\omega RC}}$

<u>Phase des Tiefpasses</u>

$$\tan\varphi = \frac{\mathrm{Im}\, h(\omega)}{\mathrm{Re}\, h(\omega)}$$





$$U_{in}(t) \xrightarrow[\text{trafo}]{\text{Fourier-}} U_{in}(\omega)$$

$$\downarrow \cdot h(\omega)$$

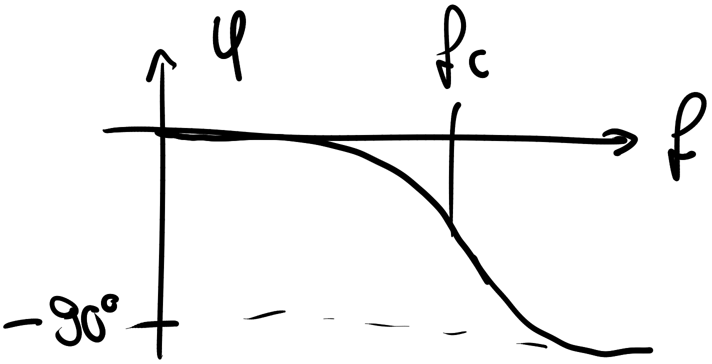
$$U_{out}(t) \xleftarrow[\text{fourier}]{\text{Rück-}} U_{out}(\omega)$$

mit $h(\omega) = \frac{1}{(1+i\omega RC)} \frac{(1-i\omega RC)}{(1-i\omega RC)}$

$$= \frac{1-i\omega RC}{1+\omega^2R^2C^2} = \underbrace{\frac{1}{(\ldots)}}_{Re} - i\underbrace{\frac{\omega RC}{(\ldots)}}_{Im}$$

$$\tan\varphi = -\omega RC = \begin{cases} 0 & f \to 0 \\ -\infty & f \to \infty \end{cases}$$

(weil $(\ldots)$ herausfällt)



$R = 2500\,\Omega$
$C = 64\,nF$
$f_c = 995\,Hz$

kleine Übersicht über Filter

RC Glied: $f = \frac{1}{2\pi RC}$

RL : $f = \frac{R}{2\pi L}$

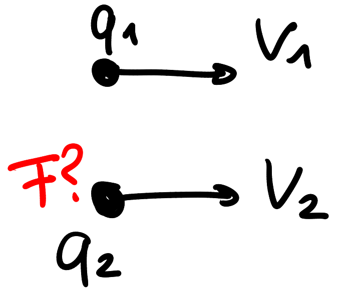
CL : $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

Behauptung: Magnetfeld ist relativistische Korrektur des elektrischen Feldes

Coulomb-Gesetz: $F_{el} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$

Relativistik

Biot-Savart-Gesetz



$F = q_2 (v_2 \times B_1)$

$$B_1 = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q_1 v_1}{r^2}$$

$$F_{mag} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q_1 v_1 q_2 v_2}{r^2}$$

(anziehend für $v_1, v_2 \uparrow\uparrow$)

1. Abschätzung: $\frac{F_{mag}}{F_{el}} = \frac{\mu_0}{\cancel{4\pi}} \frac{q_1 v_1 q_2 v_2}{\cancel{r^2} q_1 q_2} \cdot \cancel{4\pi} \varepsilon_0 \cancel{r^2}$

$$= \mu_0 \varepsilon_0 v_1 v_2 = \frac{v_1 v_2}{c^2}$$

$$\mu_0 \varepsilon_0 = \frac{1}{c^2}$$

Für: $v_1, v_2 \sim c \rightsquigarrow F_{mag} = F_{el}$

2. Abschätzung: Drift von Leitungselektronen

$$v_D \mathrel{\hat{=}} 10^{-3}\,\frac{m}{s}$$

$$\sim \frac{v_D^2}{c^2} = \frac{10^{-6}}{(3\cdot 10^8)^2} = 10^{-23}$$

Aber: in einem Gramm Leiter $\mathrel{\hat{=}} 10^{23}$ Elektronen!

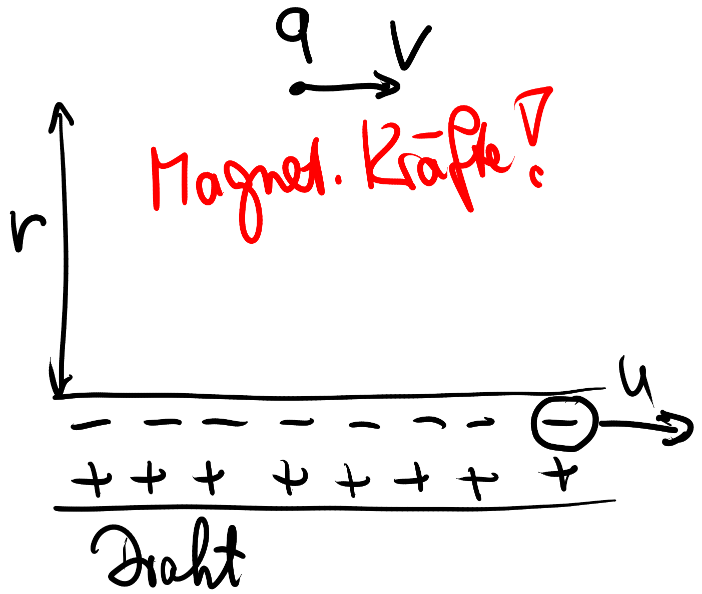
Herleitung der Lorentz-Kraft aus der Relativistik

Laborsystem

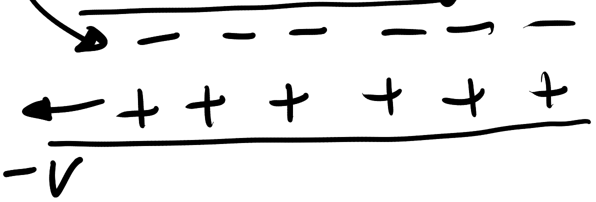
System ruhende Ladung

Elektrische Kräfte!

. q ruhend

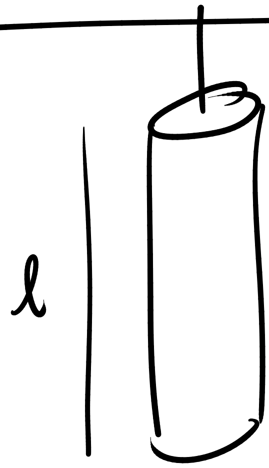


$\frac{u-v}{1-uv/c^2}$ Relat. Addition der Geschw.



Zu zeigen: Lorentzkraft im Laborsyst. $F = qvB = qE$ im System der ruhenden Ladung

Elektrisches Feld eines Drahtes



Ladung pro Länge

$$EA = Q/\varepsilon_0$$

$$E \cdot \cancel{l} \cdot 2\pi r = \frac{\rho \cancel{l}}{\varepsilon_0}$$

$$\rightsquigarrow E = \frac{\rho}{2\pi \varepsilon_0 r}$$ („Coulombgesetz" langer Draht)

Magnetisches Feld:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

Strom: $I = \bar{\rho}_L \cdot u \quad \left[\frac{C}{m} \cdot \frac{m}{s}\right]$

└ $\frac{\text{Ladung}}{\text{Länge}}$ im Laborsystem für ⊖ Ladung

$$F = qvB = q\frac{\mu_0 \bar{\rho}_L \cdot u}{2\pi r} \cdot v$$

Lorentzkontraktion

$$\rho = \frac{Q}{L} \curvearrowright \rho' = \frac{Q}{L'}$$

$$\rightsquigarrow \rho' = \rho \cdot L/L' = \rho \cdot \underbrace{\frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}}_{\gamma(v)}$$

Krafttransformation

F_L – Labor

F_R – Ruhend

$\rightsquigarrow$ Trafo ins System der ruhenden Ladung

$$F_L = \frac{1}{\gamma(v)} \cdot F_R$$

<u>Im Labor L</u> $\rho_L^+ = \rho^+$: ruhende Atome des Drahts

$\rho_L^- = \rho^- \cdot \gamma(u)$: Elektronen bewegen sich.

$\rho_L^+ + \rho_L^- = 0$: Draht im Labor ist ungeladen.

nur: „Magnetkräfte machen Anziehung"

<u>Im System ruhender Ladung R</u>

$$\left.\begin{aligned} \rho_R^+ &= \rho^+ \gamma(v) \\ \rho_R^- &= \rho^- \gamma\Big(\underbrace{\frac{u-v}{1-uv/c^2}}_{\text{Rel. Geschw. Addition}}\Big) \end{aligned}\right\} \begin{aligned} &\rho_R^+ + \rho_R^- \neq 0 \\ &\sim \text{Draht ist aufgeladen.} \end{aligned}$$

Elektrisches Feld des geladenen Drahtes in R:

$$E_R = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0 r}\left[\rho_R^+ + \rho_R^-\right]$$

$$= \ldots \left[\rho^+ \gamma(v) + \rho^- \gamma\left(\frac{u-v}{1-uv/c^2}\right)\right]$$

Es gilt – ist reine Mathematik:

$$\gamma\left(\frac{u-v}{1-uv/c^2}\right) = \gamma(u)\cdot\gamma(v)\cdot\left(1-\frac{uv}{c^2}\right)$$

$$E_R = \frac{\gamma(v)}{2\pi\varepsilon_0 r}\left[\rho^+ + \underbrace{\rho^-\gamma(u)}_{\rho_L^-}\cdot\left(1-\frac{uv}{c^2}\right)\right] \quad =0$$

$$\underset{(\rho_L^+ + \rho_L^- = 0)}{=} -\frac{\gamma(v)}{2\pi\varepsilon_0 r}\cdot\rho_L^-\,\frac{uv}{c^2}$$

$\rightsquigarrow$ $F = q\cdot E$ (Def. E-Feld)

$$F = -q\cdot\frac{\gamma(v)}{2\pi\varepsilon_0 c^2 r}\cdot\rho_L^-\cdot u\cdot v$$

$$= -\frac{\mu_0\cdot q\,\gamma(v)}{2\pi r}\rho_L^-\cdot u\cdot v$$

$$c^2 = \frac{1}{\mu_0\varepsilon_0}$$

Rücktransformation in L:

$$F = F_L = \frac{1}{\gamma(v)}\cdot F = q\cdot v\cdot B$$

$$\text{mit } B = \frac{\mu_0\,\rho_L^-\,u}{2\pi r}$$

(Lorentzkraft!)

$\rightsquigarrow$ Lorentzkraft ist rel. Korrektur des E-Felds.