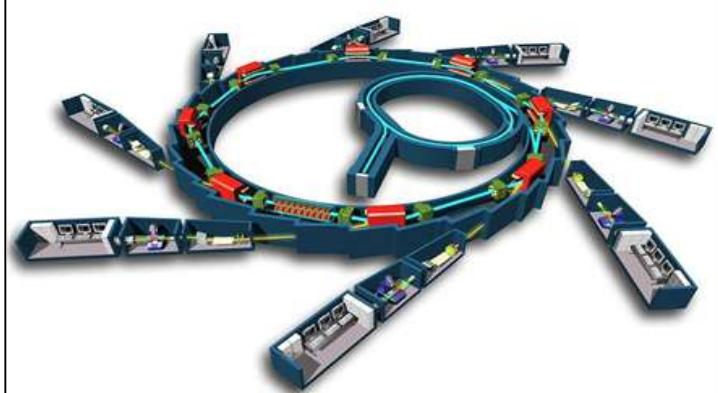


Feuille de calcul avec les cavités RF principales + harmoniques

□

Paramètres de l'anneau de stockage:

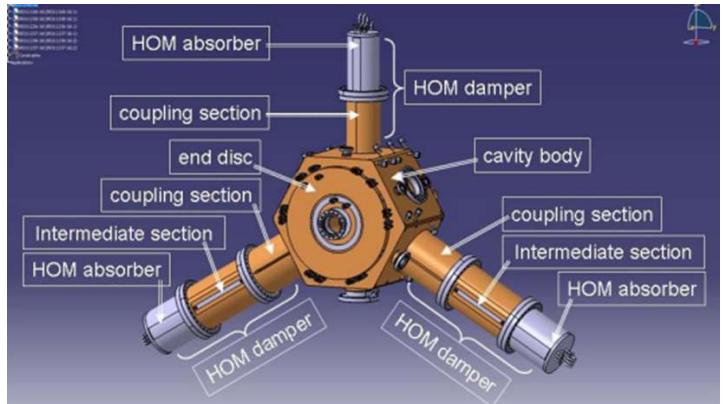
$$\begin{aligned} E_0 &:= 2,75 \text{ GeV} & f_0 &:= 352,2 \text{ MHz} & h &:= 416 \\ \text{Courant faisceau (mA)} & & \omega_0 &:= 2 \cdot \pi \cdot f_0 & \\ I_{max} &:= 500 & f_{ring} &:= \frac{f_0}{h} = 846,63 \text{ kHz} & \\ I_{min} &:= 0,01 & & & \\ & & \text{Pertes par tour} & & \\ I_{beam}(x) &:= x \cdot 1 \text{ mA} & 487 \text{ keV} + 316 \text{ keV IDs : Phase 1} & & \\ & & 487 \text{ keV} + 359 \text{ keV IDs : Phase 2} & & \\ U_0 &:= 487 \text{ kV} + 316 \text{ kV} = 803 \text{ kV} & & & \end{aligned}$$



Tension RF cavités principales $Vf_{total} := 1700 \text{ kV}$

Paramètres des cavités fondamentales :

$$\begin{aligned} \text{Nombre de cavités : } n_{cav} &:= 4 & \text{detune} &:= 0 \text{ kHz} \\ Q_0 &:= 35000 \\ Q_{ext} &:= 6364 & \beta &:= \frac{Q_0}{Q_{ext}} = 5,5 \\ Q_1 &:= \frac{Q_0}{1+\beta} = 5385 & \tau_{cav} &:= 2 \cdot \frac{Q_1}{\omega_0} = 4,87 \mu\text{s} \\ R_{shunt} &:= 5 \text{ M}\Omega \\ \frac{R_{shunt}}{Q_0} &= 142,9 \Omega & Vf_{cav} &:= \frac{Vf_{total}}{n_{cav}} = 425 \text{ kV} \end{aligned}$$



Paramètres des cavités harmoniques :

$$\begin{aligned} \text{Nombre de cavités : } nh_{cav} &:= 2 & \text{Harmonique : } n_h &:= 4 \\ fh_0 &:= n_h \cdot f_0 = 1,409 \text{ GHz} & \omega_{h0} &:= 2 \cdot \pi \cdot fh_0 \\ Qh_0 &:= 31000 & Rh_{shunt} &:= 0,92 \text{ M}\Omega \\ Qh_1 &:= Qh_0 = 31000 & \beta_h &:= 0 \\ \frac{Rh_{shunt}}{Qh_0} &= 29,68 \Omega & \tau_{h_cav} &:= 2 \cdot \frac{Qh_1}{\omega_{h0}} = 7 \mu\text{s} \\ & & \text{detune}_h &:= 0 \text{ kHz} \end{aligned}$$

Tension et détuning des cavités harmoniques :

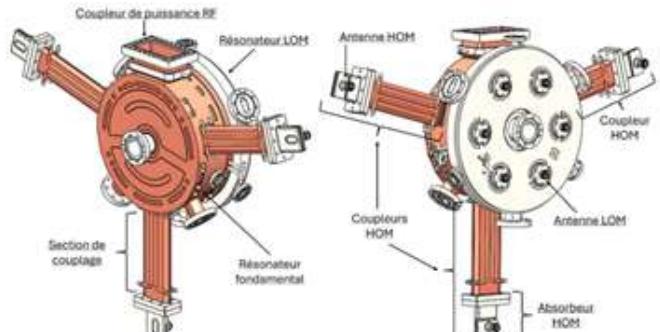
Calcul théorique de la tension totale pour avoir le flat potentiel (formule simplifiée mais très proche)

$$vh_{opt} := \sqrt{\left(\frac{Vf_{total}}{n_h}\right)^2 - \left(\frac{U_0}{n_h^2 - 1}\right)} = 371 \text{ kV}$$

Pour la tension H. prendre la valeur du flat potentiel calculé ou autre

$$vh := vh_{opt}$$

$$vh := 400 \text{ kV}$$



Calcul du détuning pour avoir la tension cavité souhaité au courant max

$$\begin{aligned} \delta fh &:= \frac{-fh_0}{Qh_0} \cdot \sqrt{\left(\frac{Rh_{shunt} \cdot I_{beam}(I_{max})}{\frac{vh}{nh_{cav}}}\right)^2 - \frac{1}{4}} = -110,381 \text{ kHz} \\ fh_c &:= fh_0 + \delta fh & \omega_{hc} &:= \left(\frac{1}{Rh_{shunt}}\right) \cdot \left(1 + i \cdot Qh_0 \cdot \left(\frac{\omega_{h0}}{\omega_{hc}} - \frac{\omega_{hc}}{\omega_{h0}}\right)\right) \end{aligned}$$

Calcul de la tension induite réelle pour une seule cavité harmonique avec le détuning δfh appliquée

$$vh_{cav}(x) := \frac{2 \cdot I_{beam}(x)}{Yh_{cav}} \quad |Vh_{cav}(I_{max})| = 185,49 \text{ kV}$$

Tension totale avec l'ensemble des cavités harmoniques

$$vh_{total}(x) := Vh_{cav}(x) \cdot nh_{cav} \quad |Vh_{total}(I_{max})| = 370,98 \text{ kV}$$

Puissance dissipée par chaque cavité harmonique

$$Ph_{diss}(x) := \frac{|Vh_{cav}(x)|^2}{2 \cdot Rh_{shunt}}$$

Puissance dissipée par l'ensemble des cavités harmoniques

$$Ph_{T_diss}(x) := nh_{cav} \cdot Ph_{diss}(x)$$

Phase de la tension des cavités harmoniques

$$\phi_{h_s}(x) := \arg(Vh_{total}(x)) \quad \phi_{h_s}(I_{max}) = -78,368^\circ$$

Energie perdue par les cav. harmoniques

$$Uh_0(x) := \frac{PhT_{diss}(x)}{I_{beam}(x)} \quad UT_0 : \text{Pertes par tour anneau (U0) + cavité harmonique (Uh0)}$$

$$UT_0(x) := U_0 + Uh_0(x) \quad U_0 = 803 \text{ kV} \quad Uh_0(I_{max}) = 74,8 \text{ kV}$$

$$UT_0(I_{max}) = 877,8 \text{ kV}$$

Phase synchrone des cavités principales

$$\phi_s(x) := \left(\frac{\pi}{2} - \arcsin \left(\frac{UT_0(x)}{|Vf_{total}|} \right) \right) \quad \phi_s(I_{max}) = 58,91 \text{ deg}$$

\beta optimal pour le courant max (juste pour info)

$$\beta_{opt} := 1 + \frac{2 \cdot I_{beam}(I_{max}) \cdot R_{shunt} \cdot \frac{UT_0(I_{max})}{n_{cav}}}{\left(Vf_{cav}^2 \right)} = 7,07$$

$$Q_{ext_opt} := \frac{Q_0}{\beta_{opt}} = 4947,2$$

$$Q_{ext} := \frac{Q_0}{\beta_{opt}} \quad \boxed{\beta := \frac{Q_0}{Q_{ext}} = 7,3545} \quad Q_1 := \frac{Q_0}{1 + \beta} = 4189$$

Détoning optimum des cavités principales

$$\delta f(x) := - \frac{f_0 \cdot I_{beam}(x) \cdot \frac{R_{shunt}}{Q_0} \cdot \sin(\phi_s(x))}{Vf_{cav}} + detune$$

$$t\psi(x) := 2 \cdot Q_1 \cdot \frac{-\delta f(x)}{f_0}$$

$$f_c(x) := f_0 + \delta f(x)$$

$$\omega_c(x) := 2 \cdot \pi \cdot f_c(x)$$

Admitance des cavités principales et harmoniques non chargées

$$Y_{cav}(x) := \frac{1}{R_{shunt}} \cdot \left(1 + i \cdot Q_0 \cdot \left(\frac{\omega_0}{\omega_c(x)} - \frac{\omega_c(x)}{\omega_0} \right) \right)$$

$$Y_{h_{cav}} := \frac{1}{R_{h_{shunt}}} \cdot \left(1 + i \cdot Qh_0 \cdot \left(\frac{\omega h_0}{\omega h_c} - \frac{\omega h_c}{\omega h_0} \right) \right)$$

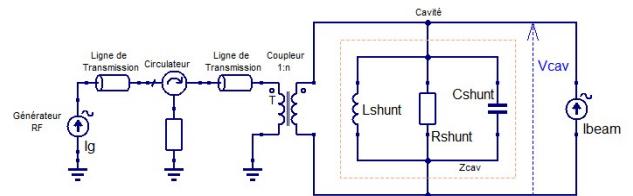
Admitance des cavités principales + faisceau

$$Y_{cav}(x) := Y_{cav}(x) + \frac{2 \cdot I_{beam}(x)}{Vf_{cav}} \cdot (\cos(\phi_s(x)) - i \cdot \sin(\phi_s(x)))$$

Admitance à l'entrée des coupleurs

$$Z_0 := 50 \Omega \quad Y_0 := \frac{1}{Z_0}$$

$$Y_{in}(x) := Y_{cav}(x) \cdot \frac{R_{shunt}}{\beta \cdot Z_0}$$



Coefficient de réflexion

$$\rho_{in}(x) := \frac{Y_0 - Y_{in}(x)}{Y_0 + Y_{in}(x)} \quad |\rho_{in}(I_{min})| = 0,692 \quad 20 \cdot \log_{10}(|\rho_{in}(I_{min})|) = -3,19$$

$$|\rho_{in}(I_{max})| = 0,125 \quad 20 \cdot \log_{10}(|\rho_{in}(I_{max})|) = -18,04$$

$$\frac{1 + |\rho_{in}(I_{min})|}{1 - |\rho_{in}(I_{min})|} = 5,4991$$

$$\frac{1 + |\rho_{in}(I_{max})|}{1 - |\rho_{in}(I_{max})|} = 1,2864$$

Puissance dissipée par cavité

$$Pf_{diss} := \frac{Vf_{cav}^2}{2 \cdot R_{shunt}}$$

Puissance totale à fournir au faisceau par les cavités principales

$$PT_{beam}(x) := I_{beam}(x) \cdot UT_0(x)$$

$$PFT_{diss} := n_{cav} \cdot Pf_{diss}$$

Puissance incidente par cavité

$$P_i(x) := \frac{Pf_{diss} + P_{beam}(x)}{1 - (|\rho_{in}(x)|)^2}$$

Puissance faisceau par cavité

$$P_{beam}(x) := \frac{PT_{beam}(x)}{n_{cav}}$$

Puissance réfléchie par cavité

$$P_r(x) := P_i(x) - P_{beam}(x) - Pf_{diss}$$

$$I_{min} = 0,01 \quad I_{max} = 500$$

$$P_i(I_{min}) = 34,69 \text{ kW}$$

Puissance dissipée chaque cavité harmonique au courant max

$$Ph_{diss}(I_{max}) = 18,70 \text{ kW}$$

$$P_r(I_{min}) = 16,62 \text{ kW}$$

Puissance dissipée par toutes les cavités F + H au courant max

$$PhT_{diss}(I_{max}) = 37,4 \text{ kW}$$

$$Pf_{diss} = 18,06 \text{ kW}$$

$$PFT_{diss} = 72,25 \text{ kW}$$

$$P_i(I_{max}) = 129,82 \text{ kW}$$

$$PT_{cu} := PFT_{diss} + PhT_{diss}(I_{max}) = 109,65 \text{ kW}$$

$$P_{beam}(I_{max}) = 109,72 \text{ kW}$$

Somme des Pi, Pr et Pbeam des cavités principales au courant max

Charge équivalente du faisceau

$$R_{beam} := \frac{Vf_{cav}^2}{2 \cdot P_{beam}(I_{max})} = 0,823 \text{ M}\Omega$$

$$P_i(I_{max}) \cdot n_{cav} = 519,3 \text{ kW}$$

$$P_r(I_{max}) \cdot n_{cav} = 8,15 \text{ kW}$$

$$PT_{beam}(I_{max}) = 438,9 \text{ kW}$$

Détoning des cavités au courant max

$$\delta f(I_{max}) = -50,69 \text{ kHz}$$

$$\psi := \text{atan}(t \psi(I_{max})) = 57,17^\circ$$

Bande passante des cavités avec RF Feedback pour un gain donné

$$Gain := 1,3$$

$$Bp := \frac{f_0}{Q_1} = 65,41 \text{ kHz}$$

$$BpRFfb := Bp \cdot (1 + Gain) = 150,43 \text{ kHz}$$

Gain max du RF Feedback pour un délai donné

Délai avec un nombre entier de périodes RF pour avoir la phase à 0°

$$\Delta t := 704 \cdot \frac{1}{f_0} = 1,999 \mu s$$

$$Gmax := \frac{\pi \cdot Q_1}{2 \cdot \omega_0 \cdot \Delta t} - 1 = 0,912$$

$$BpGmax := Bp \cdot (1 + Gmax) = 125,07 \text{ kHz}$$

Réponse du feedback RF en fonction du gain et délai

$$Zc(f) := \frac{R_{shunt}}{1 + i \cdot Q_1 \cdot \left(\frac{f_0}{f} - \frac{f}{f_0} \right)}$$

$$Gc(f; g) := \frac{g}{R_{shunt}} \cdot e^{i \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \Delta t}$$

$$Zc_{fb}(x; y) := \frac{Zc(x)}{1 + Gc(x; y) \cdot Zc(x)}$$

$$Vf(x) := Vf_{total} \cdot \sin\left(x + \phi_s(I_{max}) + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$Vh(x) := |Vh_{total}(I_{max})| \cdot \sin\left(n_h \cdot x + \phi_h(I_{max}) + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$Vc(x) := Vf(x) + Vh(x)$$

