

Feuille de calcul avec les cavités RF principales + harmoniques

Paramètres de l'anneau de stockage :

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

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 :

$$\begin{aligned}
 \text{Nombre de cavités : } nh_{cav} &:= 2 & \text{Harmonique : } n_h &:= 4 \\
 fh_0 &:= n_h \cdot f_0 = 1,409 \text{ GHz} & \omega h_0 &:= 2 \cdot \pi \cdot fh_0 \\
 Qh_0 &:= 31000 & Rh_{shunt} &:= 0,92 \text{ M}\Omega \\
 Qh_1 &:= Qh_0 = 31000 & \beta h &:= 0 \\
 \frac{Rh_{shunt}}{Qh_0} &= 29,68 \Omega & \tau h_{cav} &:= 2 \cdot \frac{Qh_1}{\omega h_0} = 7 \mu\text{s} \\
 & & \text{detune}_h &:= 0 \text{ kHz}
 \end{aligned}$$

Tension et détuning des cavités harmoniques :

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

$$v_{hopt} := \sqrt{\frac{(Vf_{total})^2}{n_h^2} - \frac{(U_0)^2}{(n_h^2 - 1)}} = 371 \text{ kV}$$

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

$$\delta fh := \frac{-fh_0}{Qh_0} \cdot \sqrt{\left(\frac{Rh_{shunt} \cdot I_{beam}(I_{max})}{nh_{cav}} \right)^2 - \frac{1}{4}} = -110,381 \text{ kHz}$$

$$fh_c := fh_0 + \delta fh \quad \omega h_c := 2 \cdot \pi \cdot fh_c \quad Yh_{cav} := \left(\frac{1}{Rh_{shunt}} \right) \cdot \left(1 + i \cdot Qh_0 \cdot \left(\frac{\omega h_0}{\omega h_c} - \frac{\omega h_c}{\omega h_0} \right) \right)$$

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

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

Tension totale avec l'ensemble des cavités harmoniques

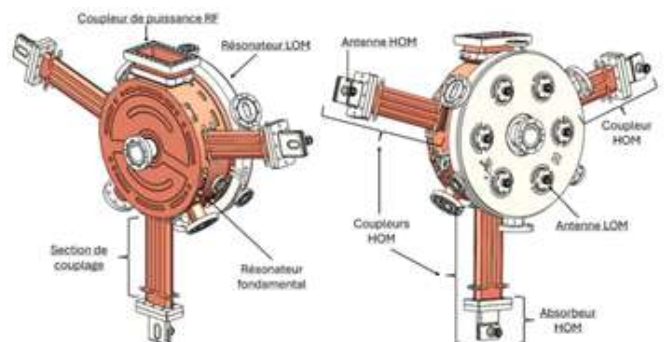
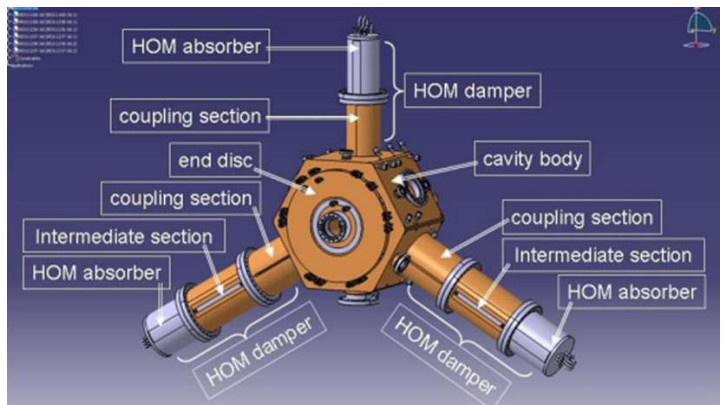
$$Vh_{total}(x) := Vh_{cav}(x) \cdot nh_{cav} \quad |Vh_{total}(I_{max})| = 370,98 \text{ kV}$$

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

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



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

$$vh := v_{hopt}$$

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

Phase de la tension des cavités harmoniques

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

Energie perdue par les cav. harmoniques

$$U_{h_0}(x) := \frac{Ph_{diss}(x)}{I_{beam}(x)}$$

 UT_0 : Pertes par tour anneau (U0) + cavité harmonique (Uh0)

$$UT_0(x) := U_0 + U_{h_0}(x)$$

$$U_0 = 803 \text{ kV}$$

$$U_{h_0}(I_{max}) = 74,8 \text{ kV}$$

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

Phase synchrone des cavités principales

$$\Phi_s(x) := \left(\frac{\pi}{2} - \arcsin \left(\frac{UT_0(x)}{|Vf_{total}|} \right) \right)$$

$$\Phi_s(I_{max}) = 58,91 \text{ deg}$$

 β optimal pour le courant max (juste pour info)

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

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

$$Q_{ext} := \frac{Q_0}{\beta_{opt}}$$

$$\beta := \frac{Q_0}{Q_{ext}} = 7,3545$$

$$Q_1 := \frac{Q_0}{1 + \beta} = 4189$$

Détuning optimum des cavités principales

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

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

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

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

Admittance des cavités principales et harmoniques non chargées

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

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

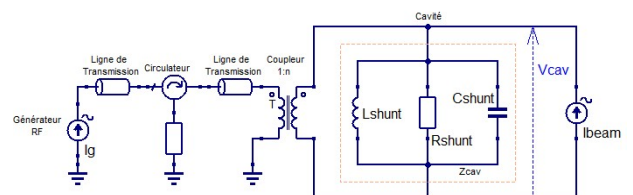
Admittance des cavités principales + faisceau

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

Admittance a 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, Pi, Pr, Pbeam et Pbeam

Coefficient de réflexion

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

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

Puissance dissipée par cavité

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

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

Puissance incidente par cavité

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

Puissance réfléchiée par cavité

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

Puissances RF au courant min et courant max

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

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

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

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

$$P_r(I_{max}) = 2,04 \text{ kW}$$

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

Charge équivalente du faisceau

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

Puissance totale a fournir au faisceau par les cavités principales

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

Puissance faisceau par cavité

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

TOS

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

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

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

Puissance dissipée chaque cavité harmonique au courant max

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Détuning des cavités au courant max

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

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

Bande passante des cavités avec RF Feedback pour un gain donné

$$\text{Gain} := 1,3$$

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

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

Gain max du RF Feedback pour un délai donné

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

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

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

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

Réponse du feedback RF en fonction du gain et délai

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

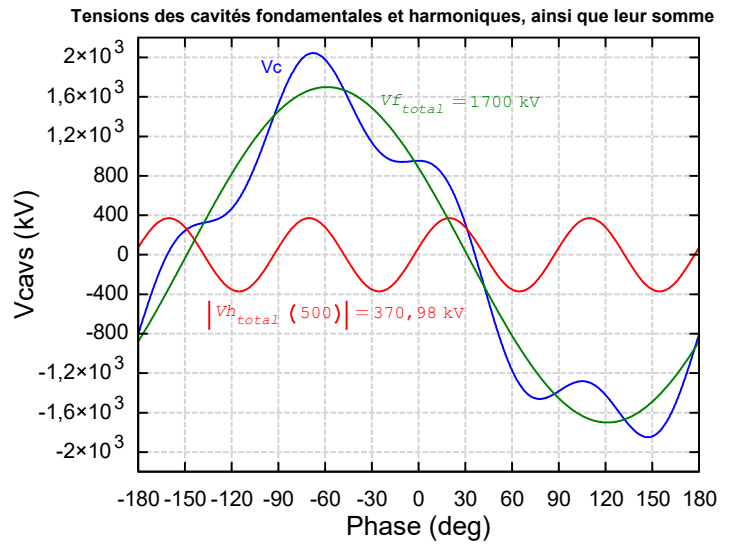
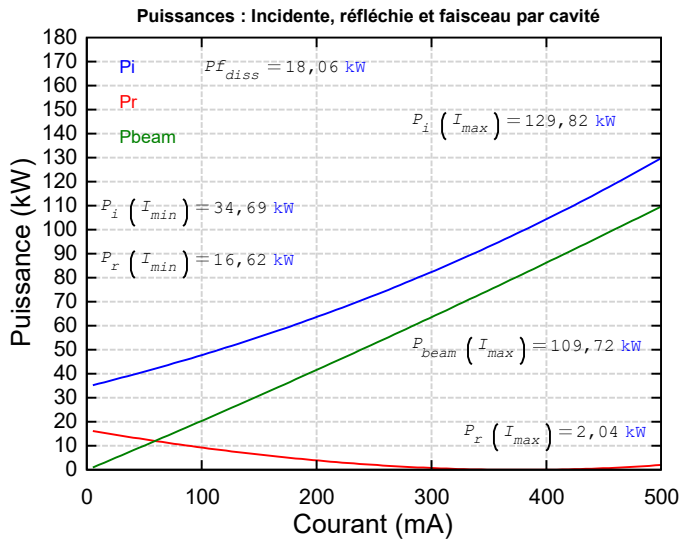
$$G_C(f; g) := \frac{g}{R_{shunt}} \cdot e^{i \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \Delta t}$$

$$Z_{Cfb}(x; y) := \frac{Z_C(x)}{1 + G_C(x; y) \cdot Z_C(x)}$$

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

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

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



fonction juste pour afficher une gaussienne dans le graphe pour une représentation (fausse) du paquet,

$$gauss1(x) := \frac{U_0 + |2 \cdot U_{h_0}(I_{max})|}{1000 \text{ V}} + 80 \cdot e^{-0,1 \cdot x^2}$$

