2022-11-22

4.3.4 Qubit supraconducteur : transmon (Co-inventé par alexandre Blais)

On remplace l'inducteur d'un circuit RLC par une indictance non-linéaire nt

Figure 1 – qbit transoms

$$
\begin{array}{cc}
\text{Inductance} & \text{Jonction Josephson (J)} \\
I = \frac{\Phi}{L} & I = I_0 \sin\left(\frac{2\pi}{\Phi_0}\Phi\right) \\
\Phi(t) = \int_{-\infty}^{t} \mathrm{d}t V(t) & \Phi(t) = \int_{-\infty}^{t} \mathrm{d}t V(t) \\
E = \int \mathrm{d}t V(t) I(t) = \int \mathrm{d}t \frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t}\frac{\Phi}{L} = \frac{\Phi^2}{2L} & E = \cdots = -\underbrace{I_c \frac{\Phi_0}{2\pi}}_{E_J} \cos\left(\underbrace{\frac{2\pi}{\Phi_0}\Phi}_{\varphi}\right)
\end{array}
$$

où I_c est le courant critique, Φ_0 est le quanta de flux ($\Phi_0 = \frac{h}{2e}$)

Le Hamiltonien de notre nouveau système est

$$
H = 4E_c\hat{n}^2 - E_J\cos(\hat{\varphi}) = E_c\left[4\hat{n}^2 - \frac{E_J}{E_c}\cos(\varphi)\right]
$$

Puisqu'on a un cosinus, les *petites* différence avec l'oscillateur harmonique commence à apparaitre au 4ème ordre

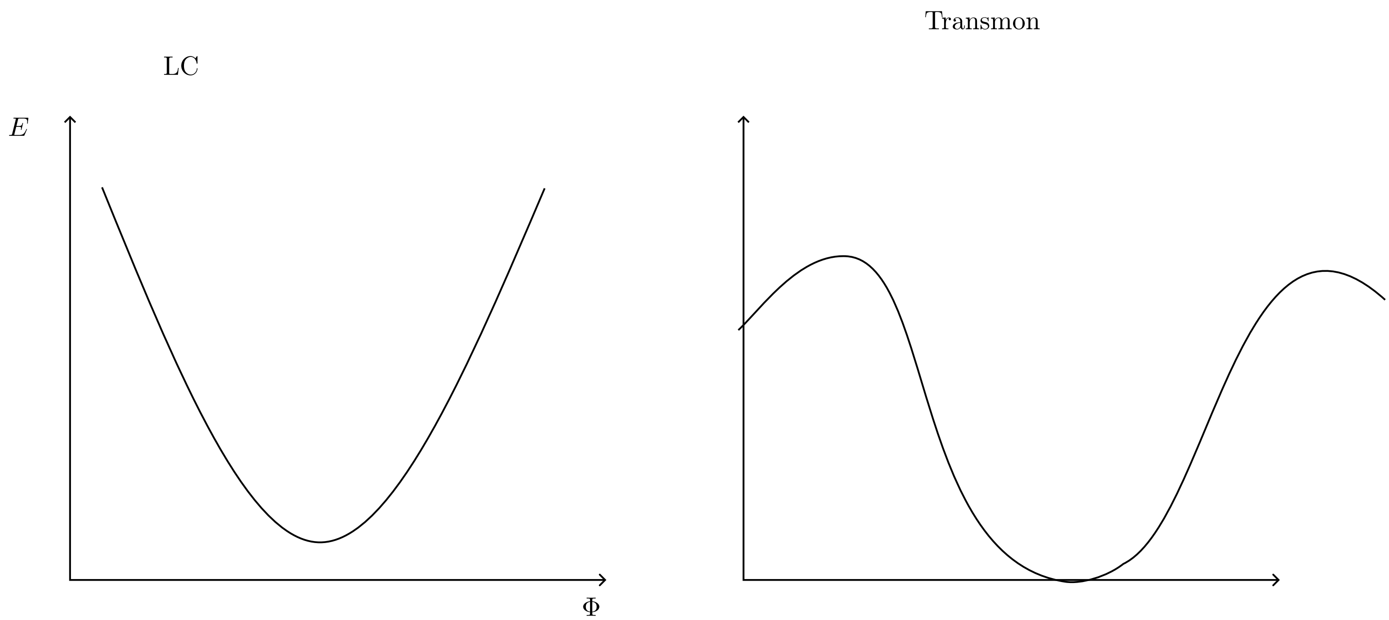

Figure 2 – Potentiel

$$H_{\text{approx}} = 4E_c\hat{n}^2 + E_J\frac{\hat{\varphi}^2}{2} + E_j\frac{\hat{\varphi}^4}{8}$$

De manière analogue à l'oscillateur harmonique on définit

$$\hat{n} = -\frac{i}{2}\left(\frac{E_J}{2E_c}\right)^{\frac{1}{4}}\left(b - b^\dagger\right)$$

$$\hat{\varphi} = \left(\frac{2E_c}{E_j}\right)^{\frac{1}{4}}\left(b + b^\dagger\right)$$

Le Hamiltonien peut alors se réécrire comme

$$H = \cdots = \cdots (\text{RWA}) \cdots = \hbar\left(\omega_q - \frac{k}{2}\right)bb^\dagger + \frac{\hbar k}{2}\left(b^\dagger b\right)^2$$

où $\hbar\omega_q \equiv \sqrt{8E_jE_c} - E_c$ et $k = -E_c$

$$H = \hbar\left(_q - \frac{k}{2} + \frac{k}{2}b^\dagger b\right)b^\dagger b$$

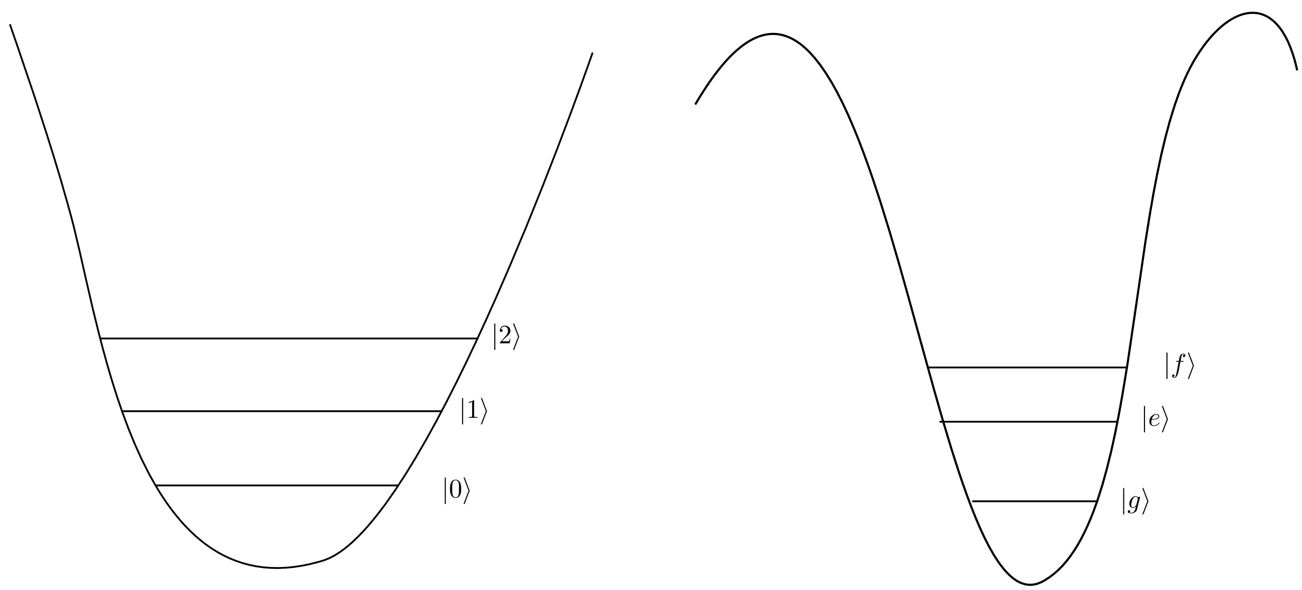

FIGURE 3 – beep boop bap

Étant donné la séparation ente les niveau énérgétique on appele souvent les qubits transmons des atomes artificiels.

$$\frac{K}{\omega_q} = \frac{E_c}{\sqrt{8E_J E_c} - E_c} \approx \frac{E_c}{\sqrt{8E_j E_c}} = \sqrt{\frac{E_c}{8E_j}}$$

Dans la limite $\frac{E_j}{E_c} \to \infty$, le transmon deviens un oscillateur harmonique