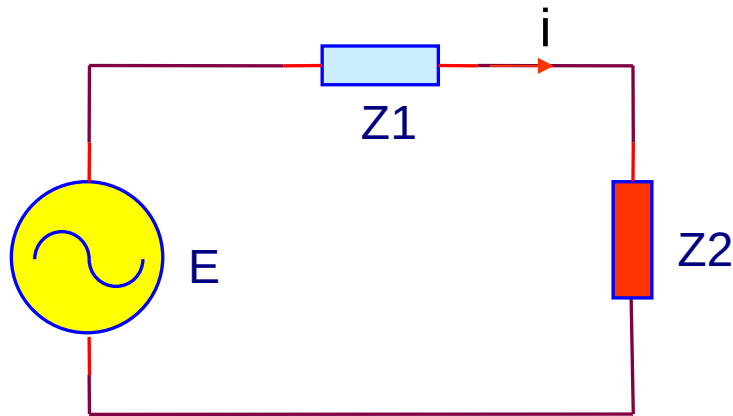


Puissance maximale transmise



$$Z1 = R1 + jX1$$

$$Z2 = R2 + jX2$$

Valeur de $Z2$ pour que la puissance reçue soit maximale ?

Adaptation des réactances

Courant dans le circuit: $I = E/(Z_1 + Z_2) = E/\{(R_1 + R_2) + j(X_1 + X_2)\}$

$$|I| = \frac{E}{\sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (X_1 + X_2)^2}}$$

Puissance utile reçue par Z_2

$$P = R_2 I^2 = \frac{R_2 E^2}{(R_1 + R_2)^2 + (X_1 + X_2)^2}$$

P est maximale pour $X_1 + X_2 = 0 \longrightarrow$

$$\mathbf{X_2 = -X_1}$$

Puissance maximale

$$X_2 = -X_1 \longrightarrow P = \frac{R_2 E^2}{(R_1 + R_2)^2}$$

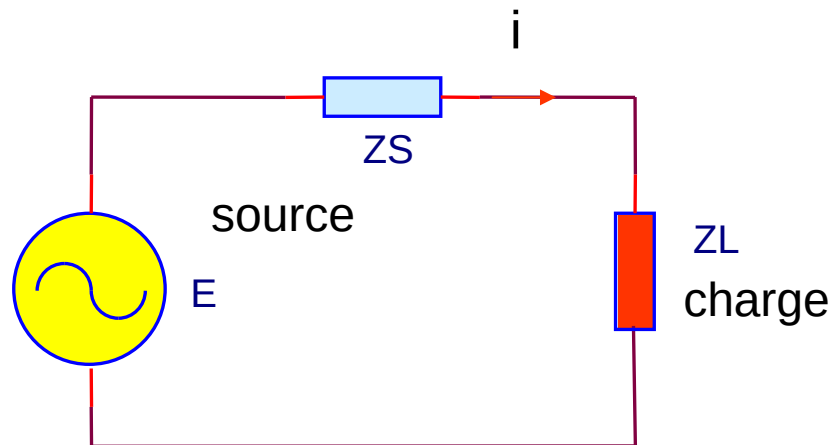
$$P \text{ max ?} \quad \frac{dP}{dR_2} = E^2 \left[\frac{(R_1 + R_2)^2 - 2R_2(R_1 + R_2)}{(R_1 + R_2)^4} \right] = 0$$

$$\frac{dP}{dR_2} = E^2 \left[\frac{(R_1 + R_2)(R_1 - R_2)}{(R_1 + R_2)^4} \right] = 0$$

$$R_2 = R_1$$

$$P_{\text{max}} = E^2 / 4R_2$$

Adaptation



$$Z_S = R_S + jX_S$$

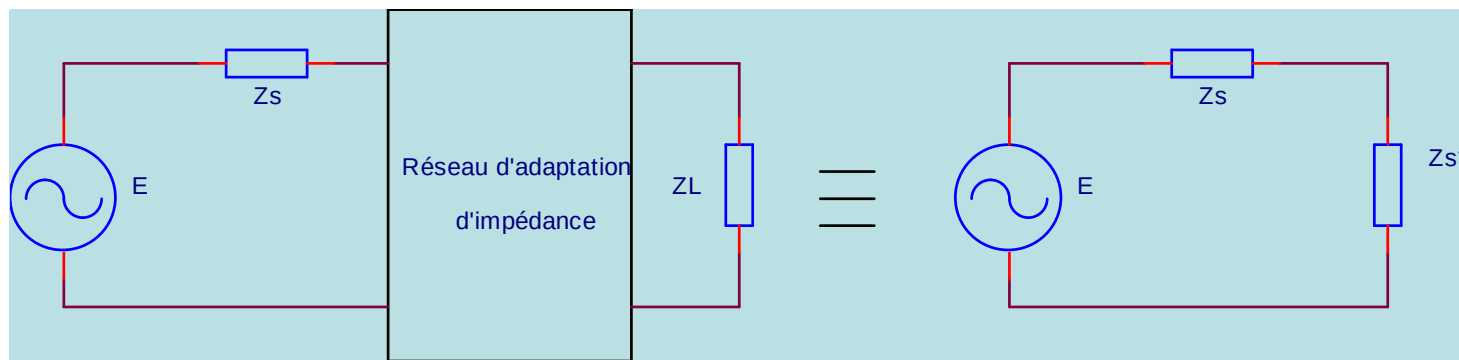
$$Z_L = R_L + jX_L$$

La puissance transmise par une source d'impédance Z_S à une charge Z_L est maximale si les deux impédances sont ***conjuguées***

$$Z_L = R_S - jX_S$$

Circuit d'adaptation d'impédance

Comment transférer la puissance maximale lorsque les impédances de source et de charge sont quelconques ?



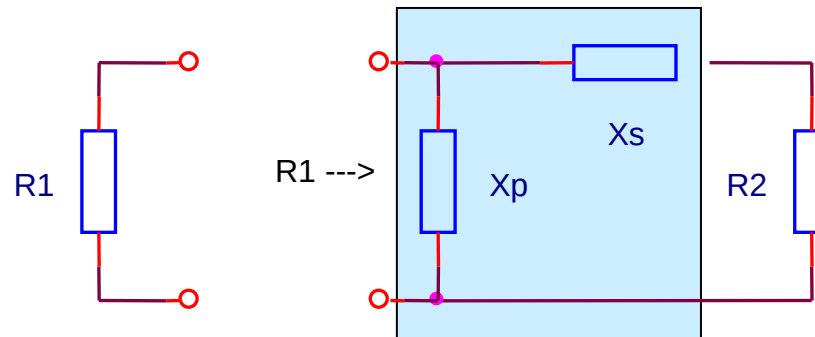
Le but du réseau d'adaptation d'impédance est de *transformer* l'impédance de charge Z_L en une impédance Z_s^* conjuguée de celle de la source

Circuit en L

Cas de deux résistances pures

$$R1 > R2$$

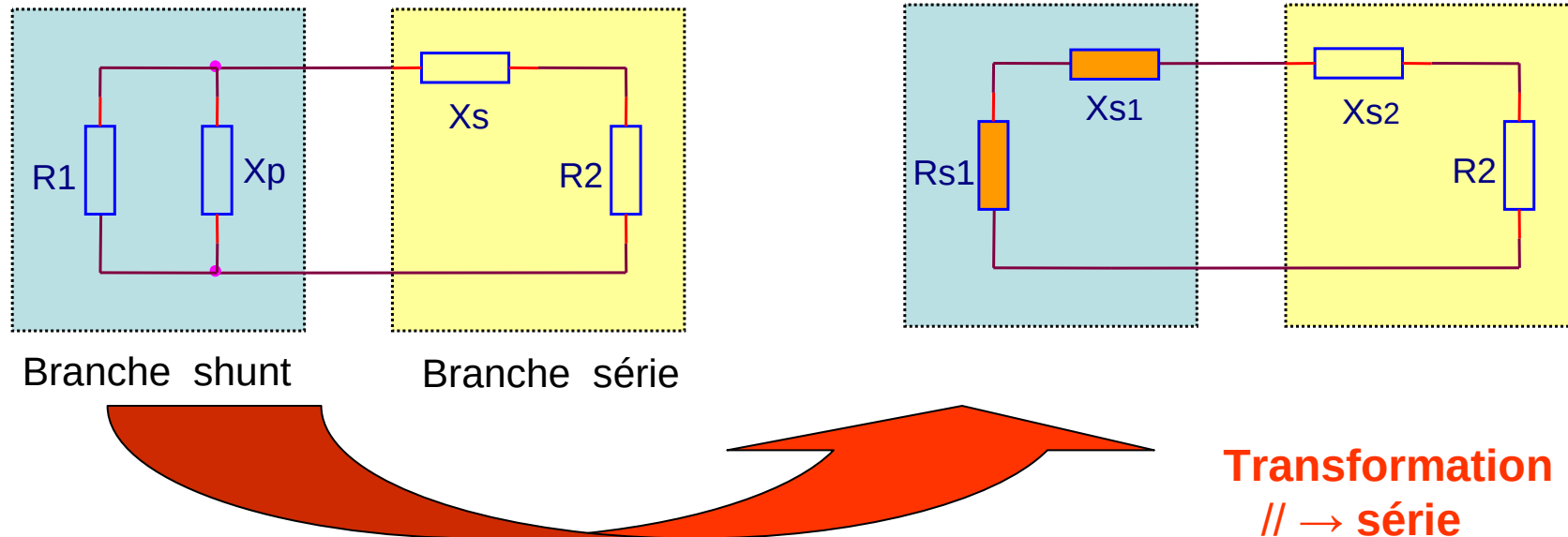
$$R1 = nR2$$
$$n > 1$$



Circuit en L

Le circuit en L se compose de deux réactances X_p (shunt) et X_s (série). La *branche parallèle* (shunt) du L doit toujours se situer *du côté de la résistance la plus forte*.

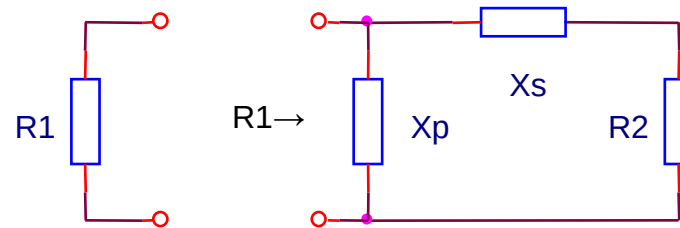
Nature de X_s et X_p



Adaptation $\rightarrow Z_{s1} = Z_{s2}^* \rightarrow X_{s1} = -X_{s2} \rightarrow \text{signe}(X_p) = -\text{signe}(X_s)$

Les réactances X_s et X_p sont de signe opposé, si l'une est *capacitive*, l'autre est *inductive* et vice versa

Calcul de X_s et X_p



Impédance vue de R1 $R_1 = jX_p // (R_2 + jX_s)$

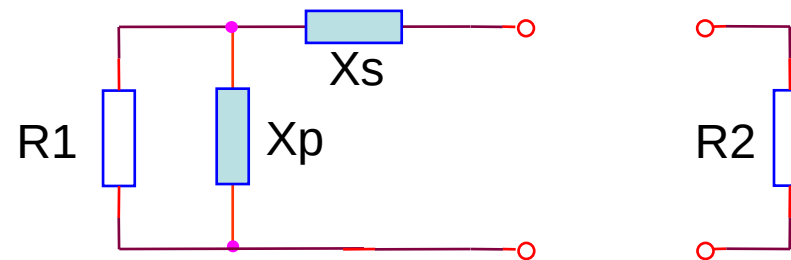
$$R_1 = \frac{jX_p(R_2 + jX_s)}{R_2 + j(X_p + X_s)} = \frac{R_2 X_p^2}{R_2^2 + (X_p + X_s)^2} + j \frac{R_2^2 X_p + X_p X_s (X_p + X_s)}{R_2^2 + (X_p + X_s)^2}$$

R1 est réelle (résistance pure)

$$R_2^2 X_p + X_p X_s (X_p + X_s) = 0$$

$$R_2^2 = -X_s(X_p + X_s)$$

Calcul de Xs et Xp



Impédance vue de R2 $R_2 = jX_p // (R_1) + jX_s$

$$R_2 = \frac{jR_1X_p + jX_s(R_1 + jX_p)}{R_1 + jX_p}$$

$$R_2 = \frac{R_1X_p^2 + j(R_1^2(X_p + X_s) + X_p^2X_s)}{R_1^2 + X_p^2}$$

R2 est réelle (résistance pure)

$$R_1^2(X_p + X_s) + X_p^2X_s = 0$$

$$R_2 = \frac{R_1X_p^2}{R_1^2 + X_p^2}$$

Calcul de X_p

$$R_2 = \frac{R_1 X_p^2}{R_1^2 + X_p^2} \longrightarrow X_p^2 = \frac{R_2 R_1^2}{R_1^2 - R_2}$$

$$X_p = \mp R_1 \sqrt{\frac{R_2}{R_1^2 - R_2}}$$

Ou encore si $n = R_1/R_2$ $n > 1$

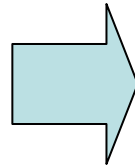
$$X_p = \mp R_1 \frac{1}{\sqrt{n-1}}$$

Calcul de X_s

$$R_1^2 (X_P + X_S) + X_P^2 X_S = 0$$

$$R_1^2 = -\frac{X_P^2 X_S}{X_P + X_S}$$

$$R_2^2 = -X_S(X_P + X_S)$$



$$(R_1 R_2)^2 = (X_P X_S)^2$$

X_P et X_S de signe opposé

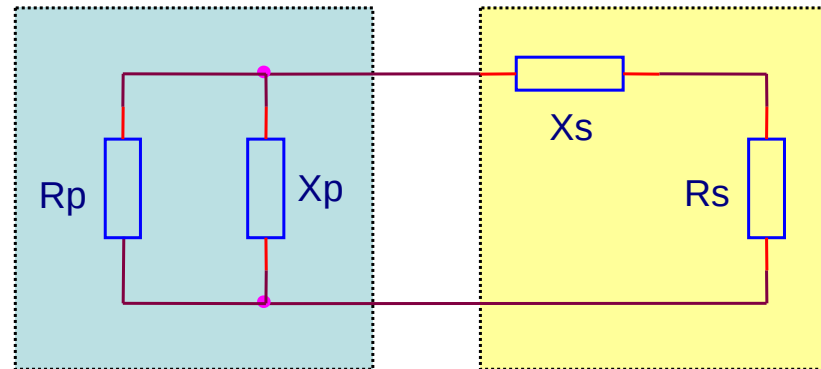
$$R_1 R_2 = -X_P X_S$$

$$X_S = \mp \sqrt{R_2 (R_1 - R_2)}$$

Ou encore si $n = R_1/R_2 \quad n > 1$

$$X_S = \mp R_2 \sqrt{n - 1}$$

Facteur de Qualité



Branche shunt

Branche série

$$Q_p = R_p / X_p$$

$$Q_s = X_s / R_s$$

$$R_p R_s = -X_p X_s \rightarrow |Q_s| = |Q_p|$$

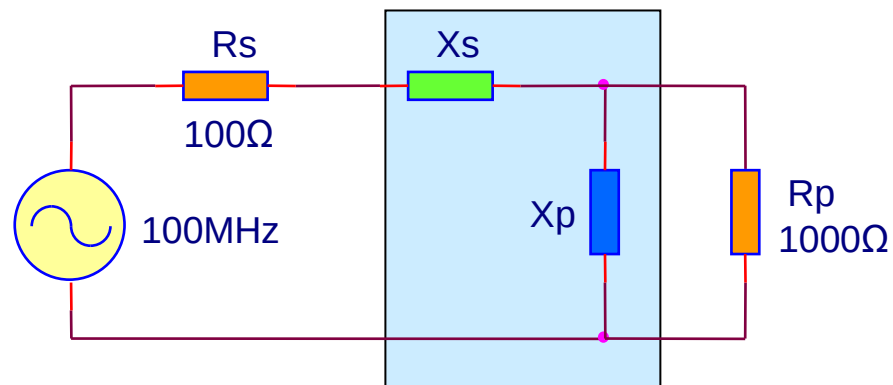
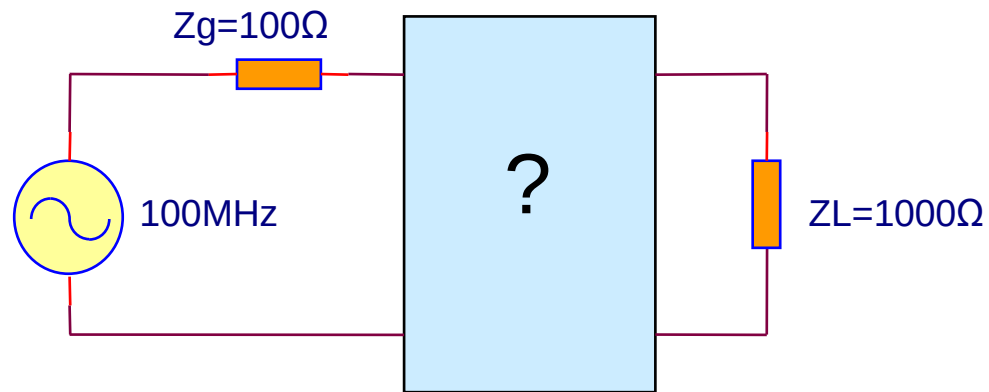
$$Q_s = Q_p = \mp \sqrt{\frac{R_p}{R_s} - 1} = \mp \sqrt{n - 1}$$

$$n = R_p / R_s > 1$$

Méthode de calcul du réseau en L

- 1 – déterminer le **sens du réseau**: la branche shunt du côté de la résistance la plus forte
- 2 – calculer le **rapport de transformation n**
$$n = R_{\text{forte}} / R_{\text{faible}} \quad n > 1$$
- 3 – calculer le **facteur de qualité** du circuit
- 4 – calculer la **valeur des réactances X_s et X_p**
- 5 – calculer la **valeur des éléments** (inductance et capacité)
- 6 - choisir la solution **passee haut** ou **passee bas** selon l'application

Example



$n = 10$

Calcul des réactances X_s et X_p

$$Q_s = Q_p = \mp \sqrt{n-1} = \mp \sqrt{9} = \mp 3$$

$$X_s = Q_s R_s = \pm 3.100 = \pm 300\Omega$$

$$X_p = R_p/Q_p = \pm 1000/3 = \pm 333\Omega$$

Solution 1

$$X_s = 300\Omega$$

$$X_p = -333\Omega$$

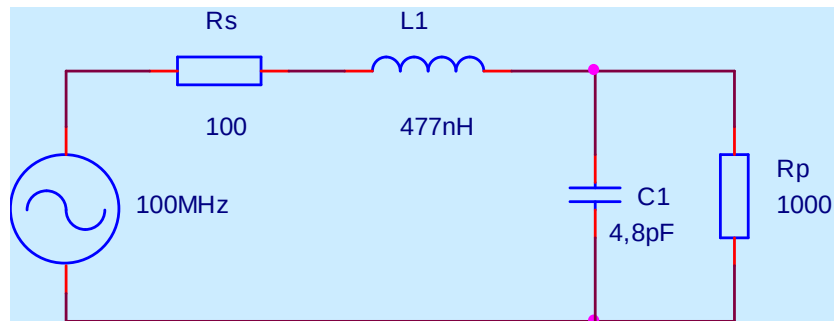
Solution 2

$$X_s = -300\Omega$$

$$X_p = 333\Omega$$

Calcul des éléments

Solution 1: passe bas



$$X_{s1} = 300\Omega$$

$$X_{p1} = -333\Omega$$

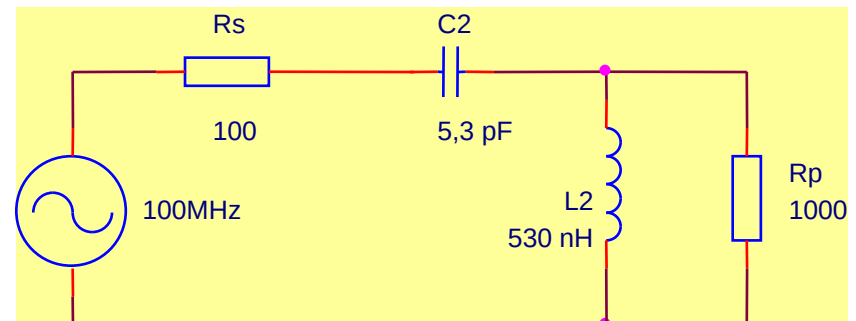
$$L_1 = X_{s1} / 2\pi f_0 = 300 / 6,28 \cdot 100 \cdot 10^6$$

$$L_1 = 477\text{nH}$$

$$C_1 = 1 / 2\pi f_0 X_{p1} = 1 / 2\pi \cdot 100 \cdot 10^6 \cdot 333$$

$$C_1 = 4,8\text{ pF}$$

Solution 2: passe haut



$$X_{s2} = -300\Omega$$

$$X_{p2} = 333\Omega$$

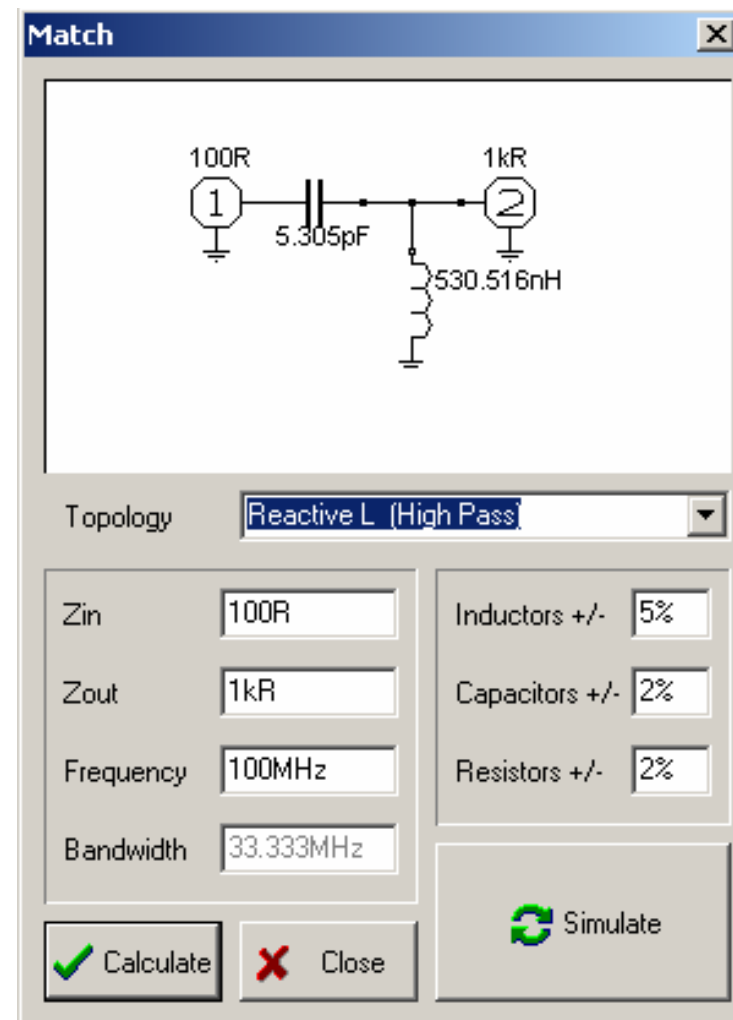
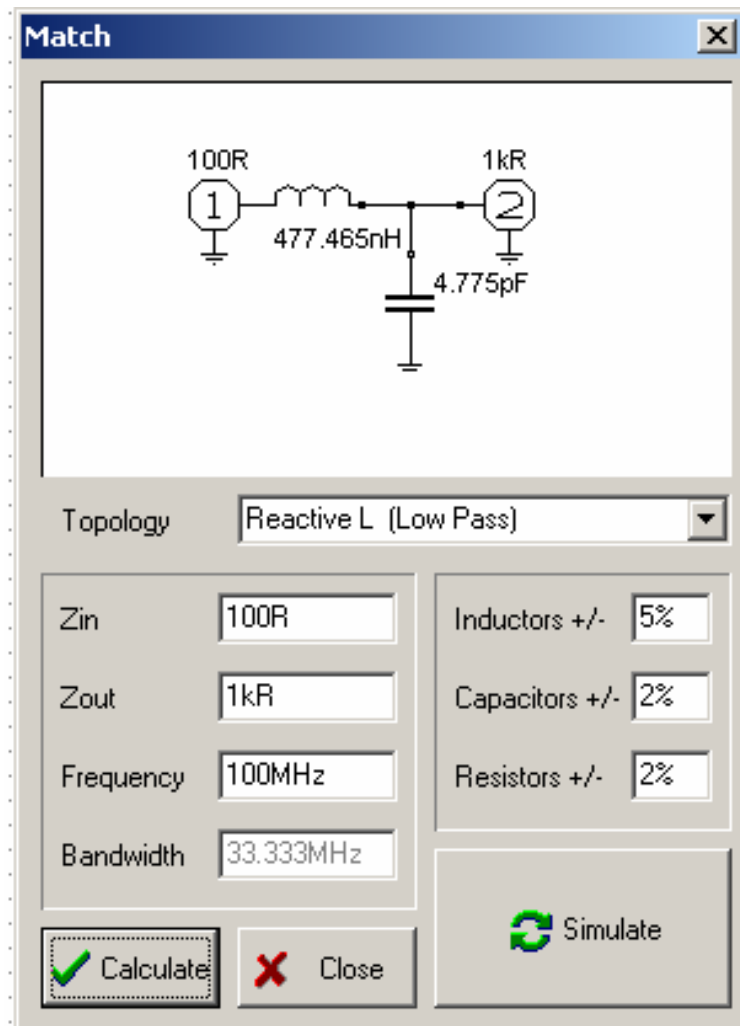
$$C_2 = 1 / 2\pi f_0 X_{s2} = 1 / 2\pi \cdot 100 \cdot 10^6 \cdot 300$$

$$C_2 = 5,3\text{ pF}$$

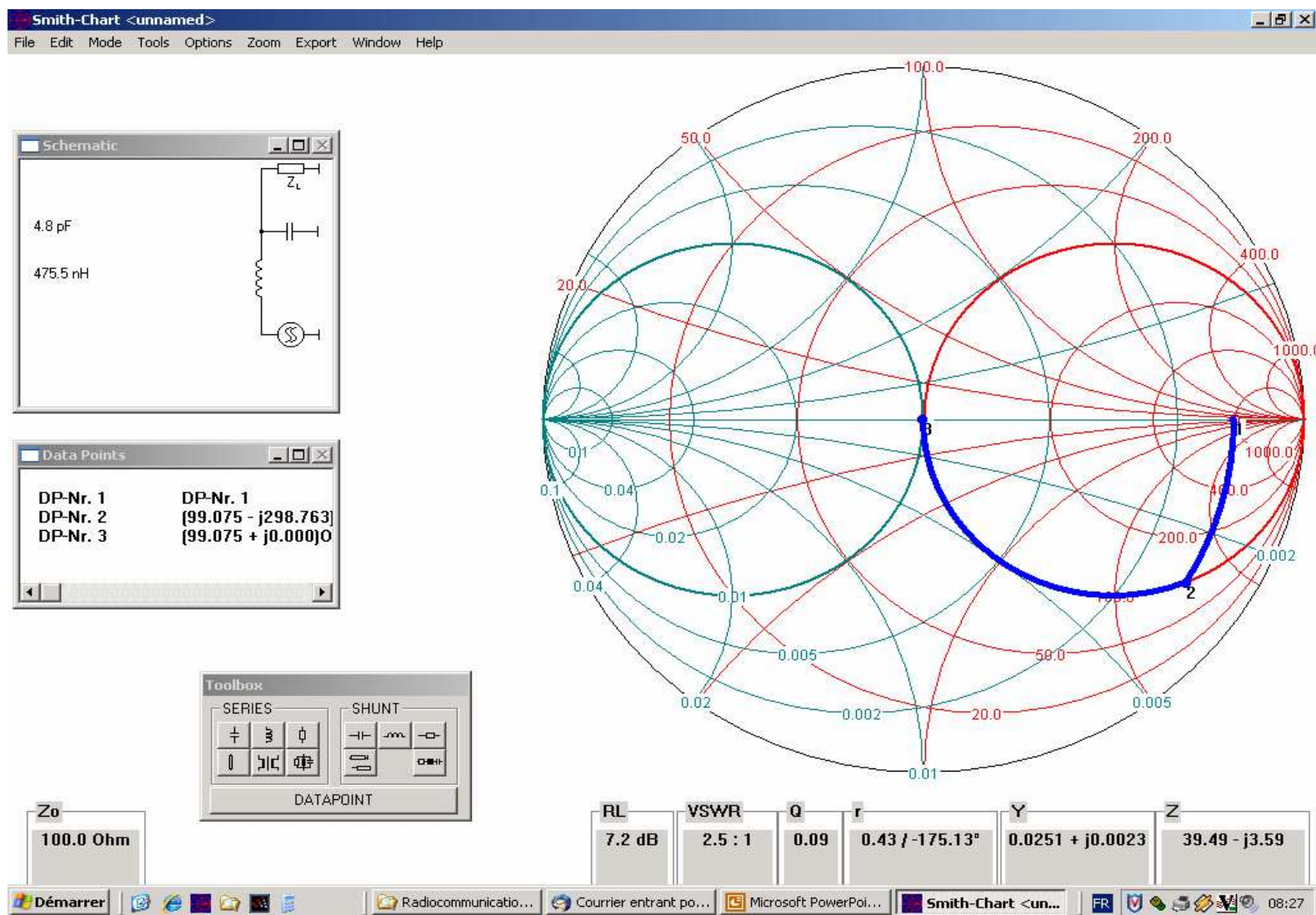
$$L_2 = X_{p2} / 2\pi f_0 = 333 / 2\pi \cdot 100 \cdot 10^6$$

$$L_2 = 530\text{ nH}$$

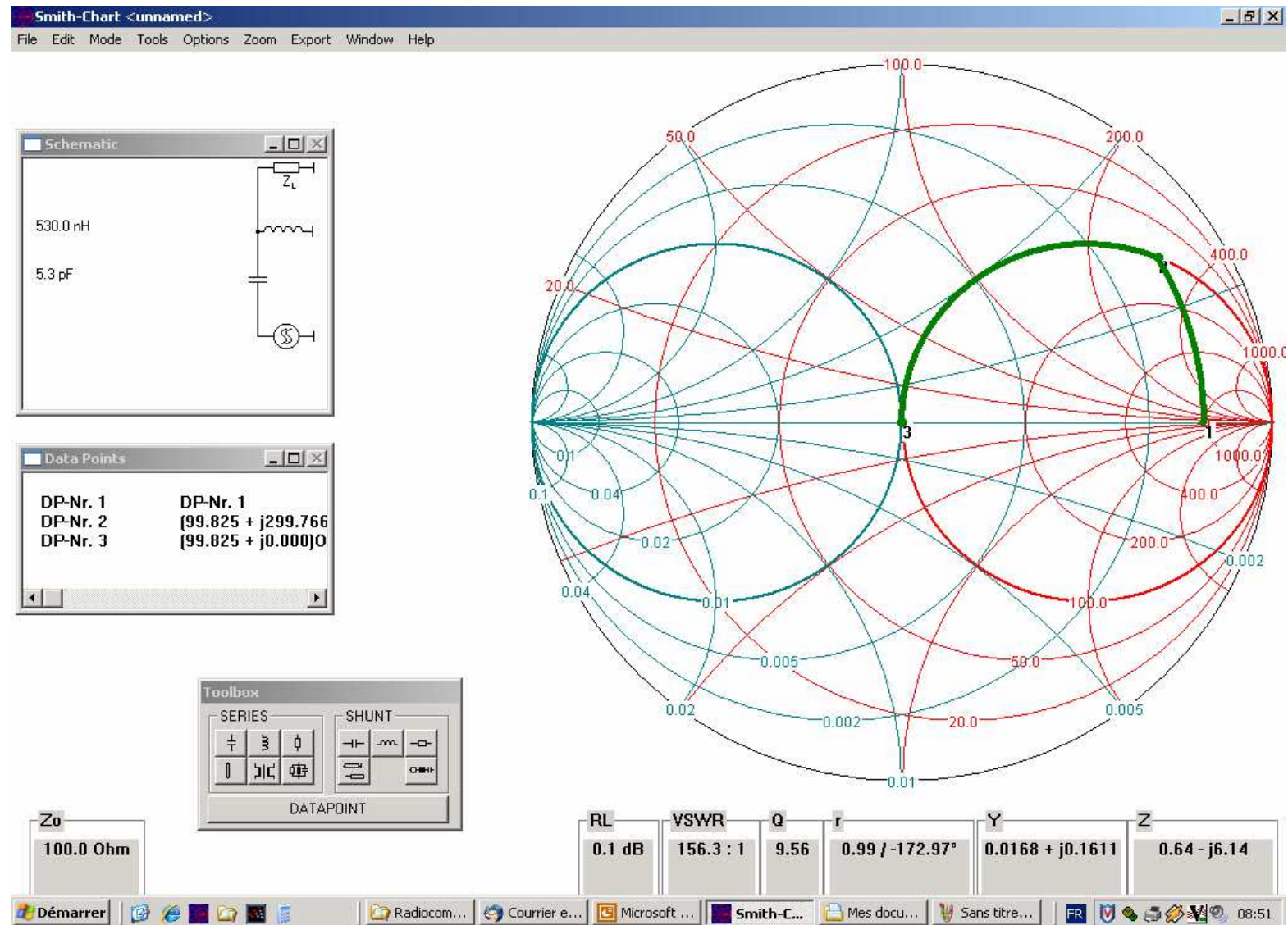
Simulation RFSIM



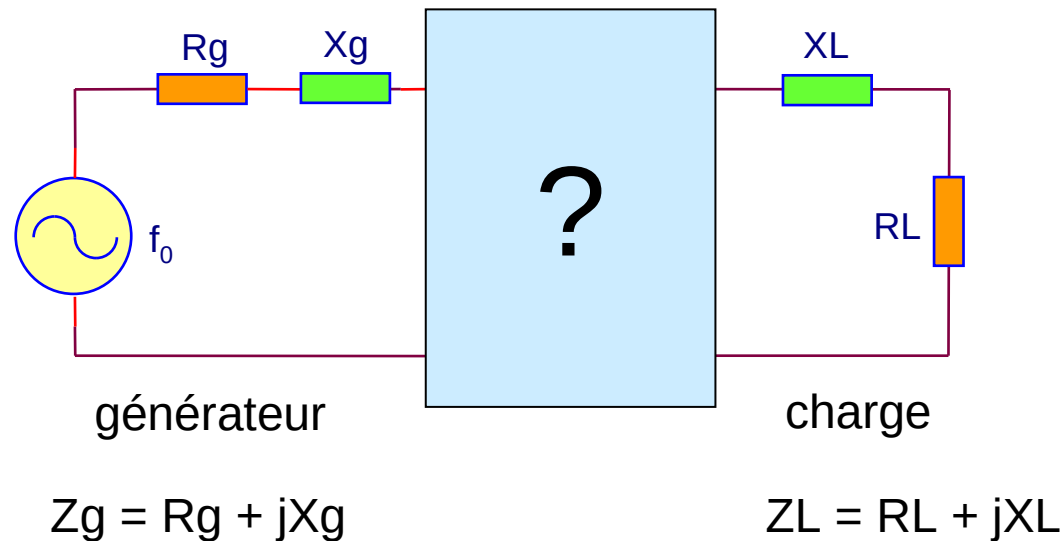
Abaque de Smith



Abaque de Smith



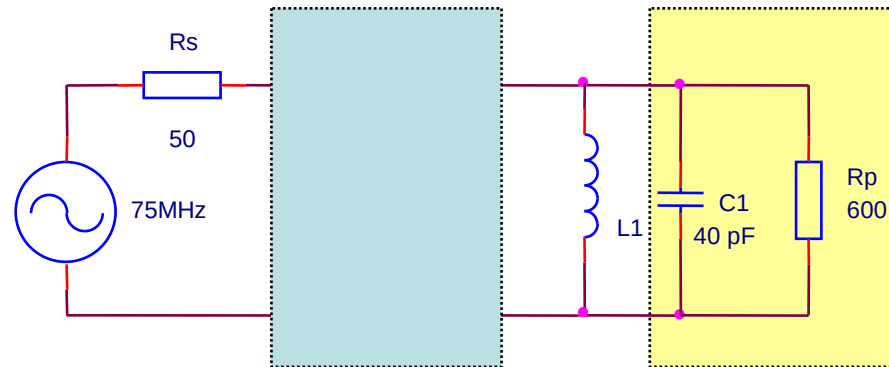
Cas d'impédances complexes



On se ramène au cas précédent :

- En intégrant les réactances dans le réseau d'adaptation (absorption)
- En annulant les réactances par une réactance de signe opposé (résonance)

Exemple



$$L1 = 1/C1(2\pi f_0)^2 = 1/(2\pi \cdot 75 \cdot 10^6)^2 \cdot 40 \cdot 10^{-12} = 112,6 \text{ nH}$$

$$Q_S = Q_P = \pm \sqrt{\frac{600}{50}} - 1 = \pm 3,32$$

On choisit le passe haut

$$X_S = Q_S R_S = 3,32 \cdot 50 = 166 \Omega$$

$$X_P = R_P / Q_P = 600 / 3,32 = 181 \Omega$$

$$C_S = 1/X_S 2\pi f_0 = 1/2\pi \cdot 75 \cdot 10^6 \cdot 166 = 12,8 \text{ pF}$$

$$L_P = X_P / 2\pi f_0 = 181 / 2\pi \cdot 75 \cdot 10^6 = 384 \text{ nH}$$

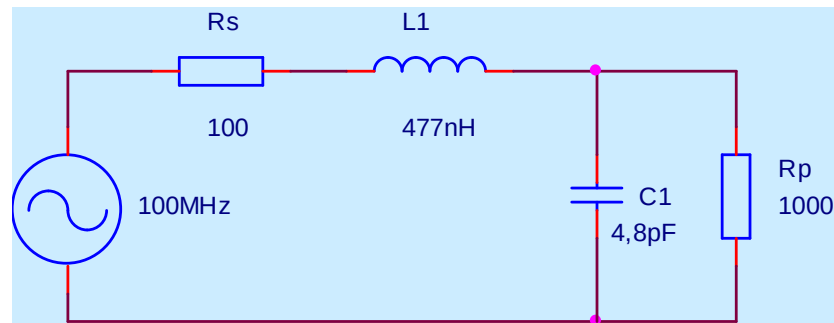
$$L_{eq} = L_1 L_P / (L_1 + L_P) = 112,6 \times 384 / (112,6 + 384) = 87 \text{ nH}$$

Bande passante de l'adaptation

L'adaptation n'est parfaite qu'à la fréquence f_0

exemple

$$Q_s = Q_p = 3$$
$$f_0 = 100 \text{ MHz}$$



Impédance vue de la source:

$$Z_{in} = jL\omega + \frac{R_L \frac{1}{jC\omega}}{R_L + \frac{1}{jC\omega}} = jL\omega + \frac{R_L}{1 + jCR_L\omega}$$

$$f = 95 \text{ MHz}$$

$$f = 105 \text{ MHz}$$

$$Z_{in} = 109,6 - j 27,4$$

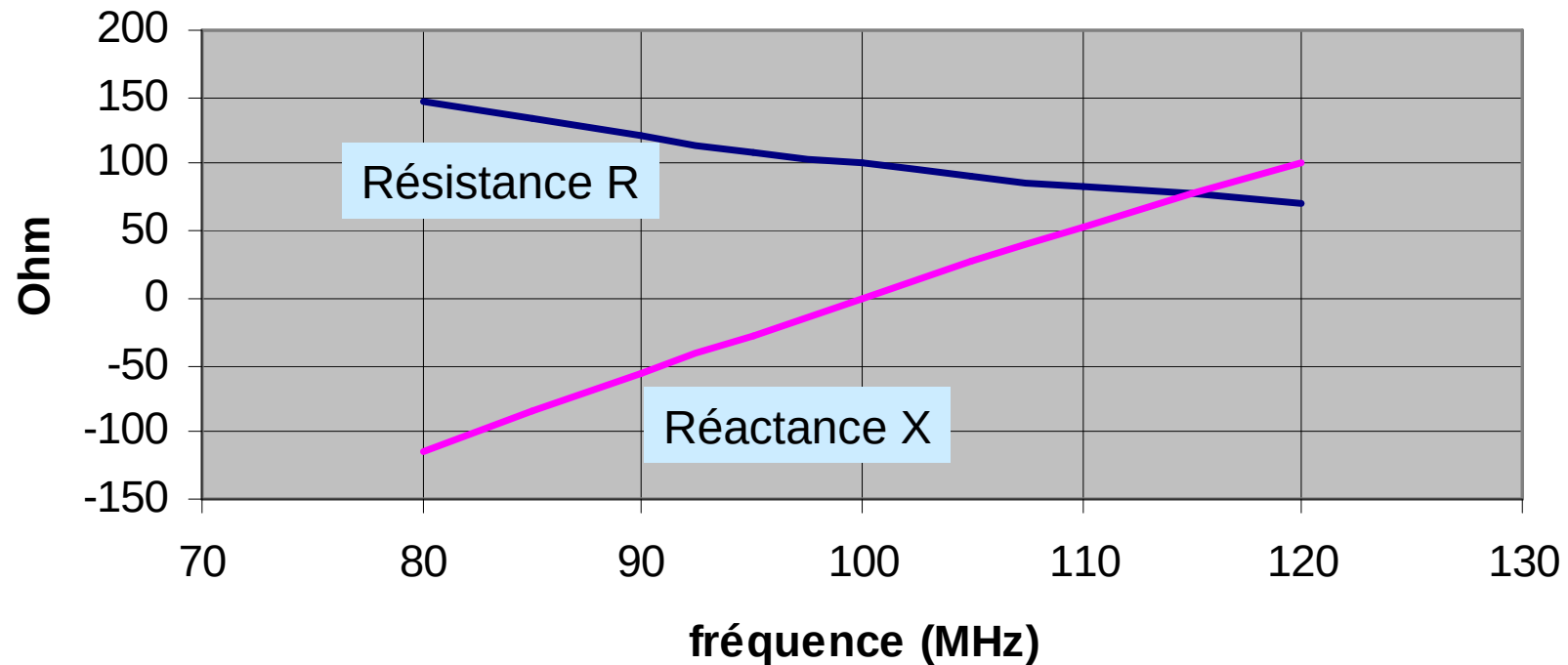
$$Z_{in} = 91,5 + j26,6$$

capacitive

inductive

Bande passante de l'adaptation

Impédance $Z=R+jX$ vue de la source



Q et bande passante

Le facteur de qualité Q du circuit a une importance considérable sur la bande passante:

Plus le facteur de qualité Q du circuit est élevé, plus la bande passante est étroite.

Pour un circuit en L, il n'existe qu'une seule valeur de Q permettant l'adaptation.

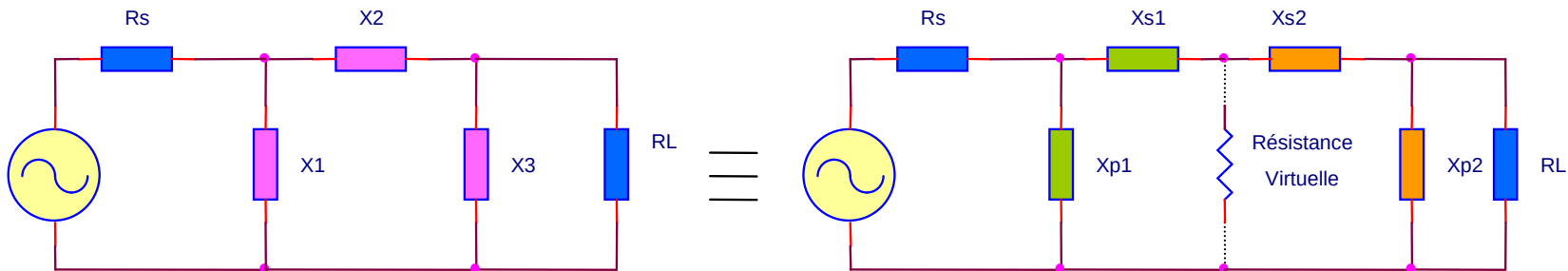
Choix de Q



Circuit à 3 (ou plus) réactances

Circuit d'adaptation en PI

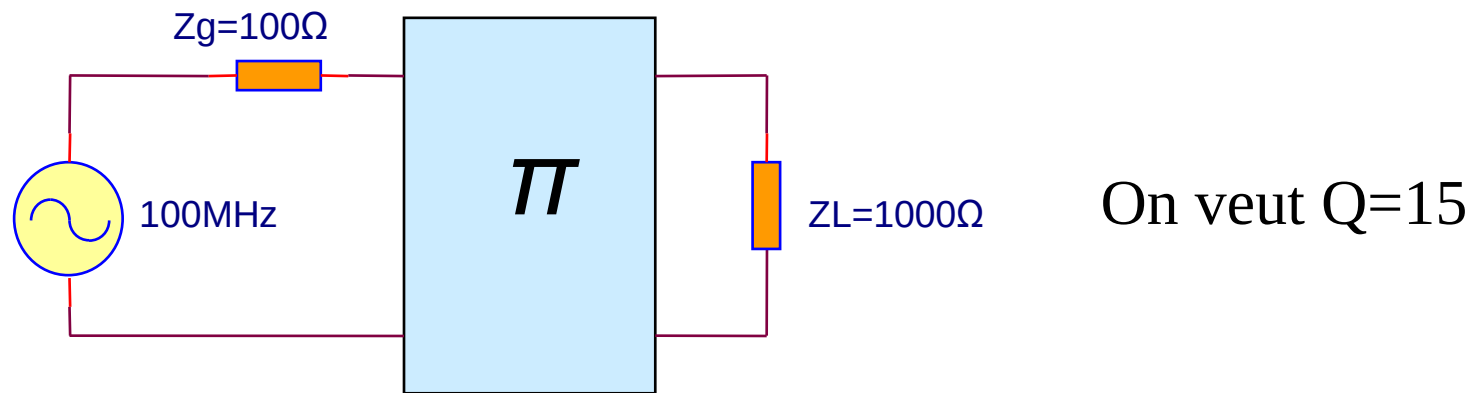
Les réseaux d'adaptation en Pi permettent la réalisation de circuits d'adaptation d'impédance dont le facteur de qualité Q peut prendre n'importe quelle valeur à condition qu'elle soit supérieure à celle du réseau en L assurant la même fonction. $Q_{\pi} > Q_L$



Le réseau en Π peut être décomposé en deux réseaux en L montés en cascade et procurant une adaptation à une résistance virtuelle R_V située entre les deux.

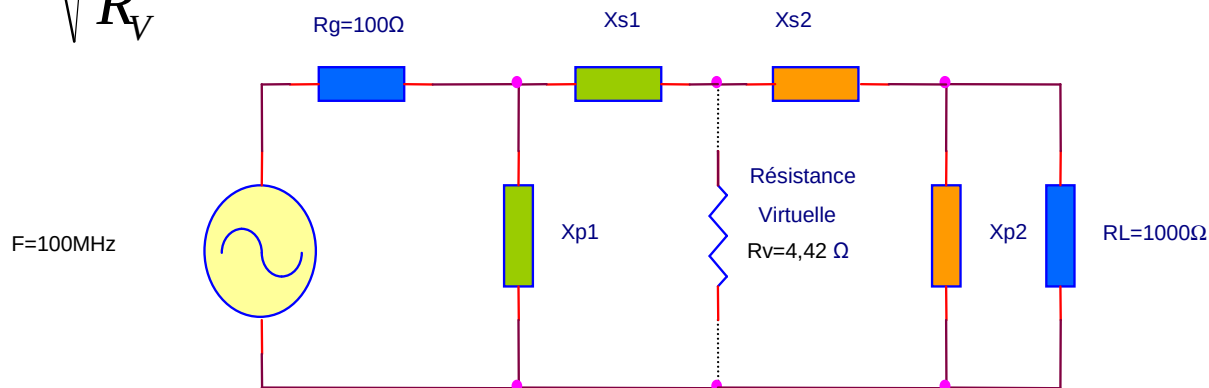
$$R_v < \text{Max} (R_s, R_L)$$

Exemple

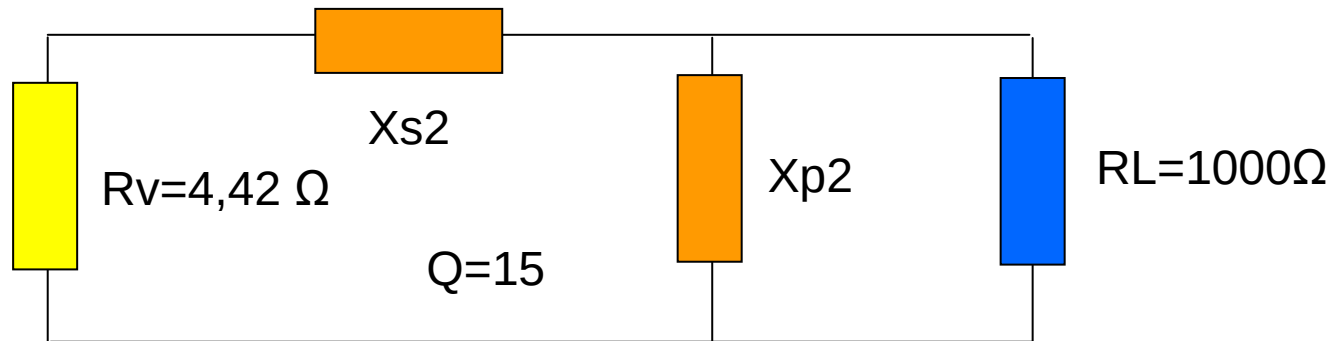


$$Q_L = \mp \sqrt{n-1} = \mp \sqrt{9} = \mp 3 \quad Q_\pi > Q_L \quad \textbf{\textit{faisable}}$$

$$Q = \sqrt{\frac{R_L}{R_V} - 1} \quad R_V = R_L / (Q^2 + 1) = 1000 / (15^2 + 1) = 4,42\Omega$$



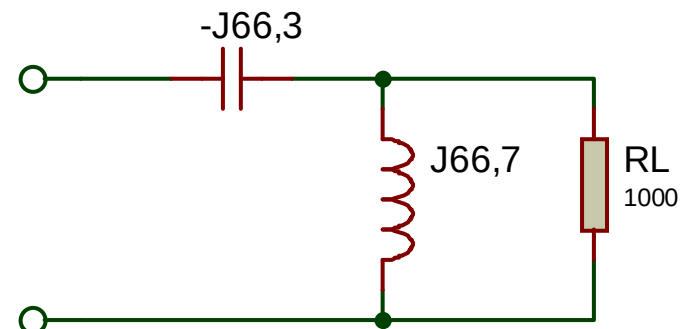
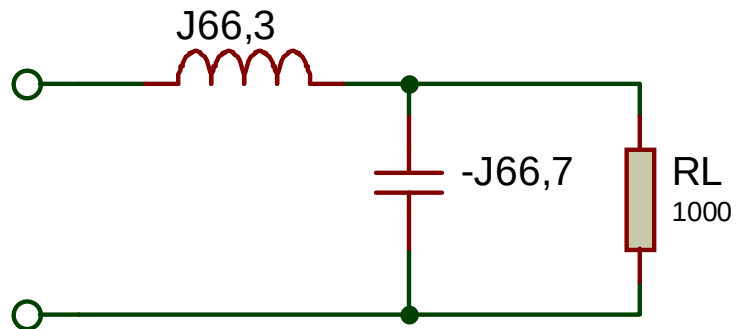
Coté charge



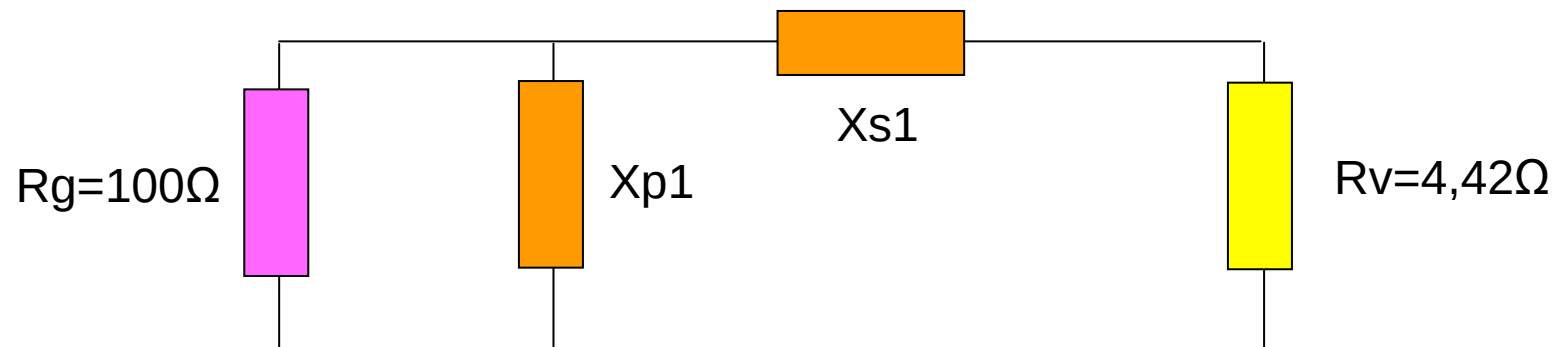
$$X_{P2} = R_P / Q_P = R_L / Q = 1000 / 15 = 66,7 \Omega$$

$$X_{S2} = Q_S R_S = Q R_V = 15 \cdot 4,42 = 66,3 \Omega$$

2 solutions:



Coté source

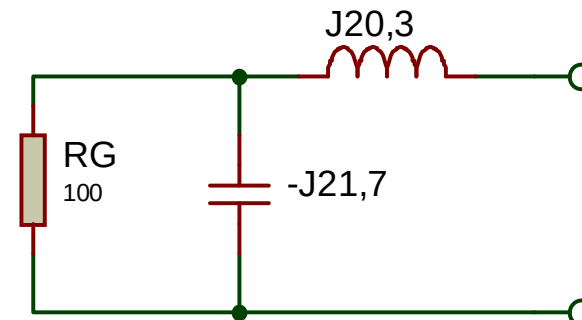
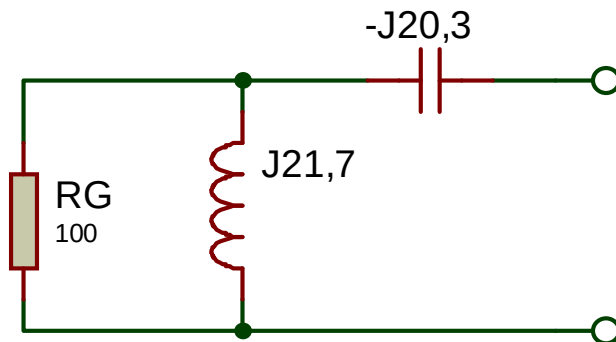


$$Q' = \sqrt{\frac{R_g}{R_v}} - 1 = \sqrt{\frac{100}{4,42}} - 1 = 4,6$$

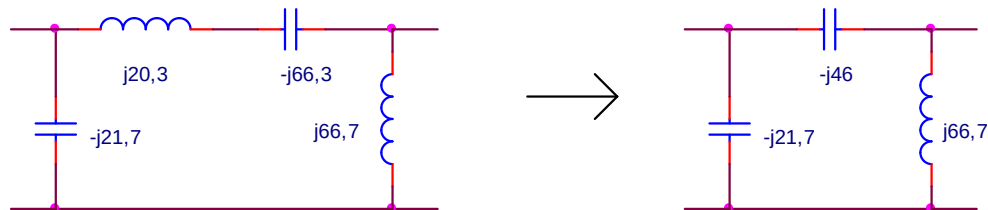
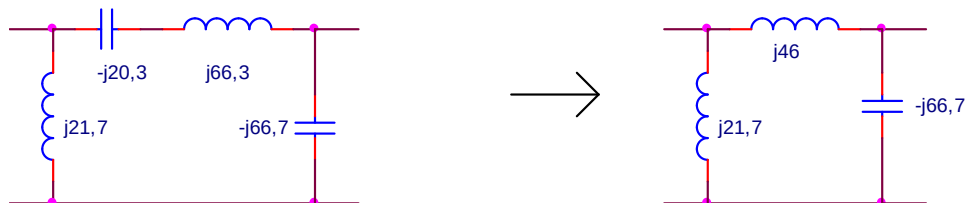
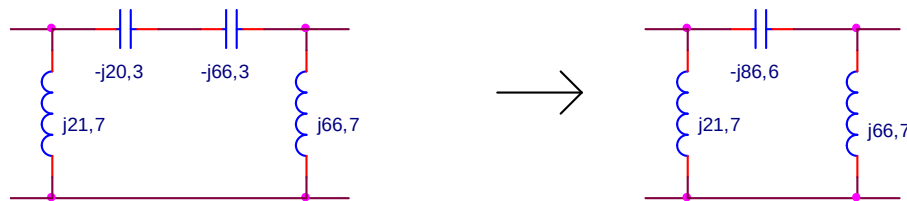
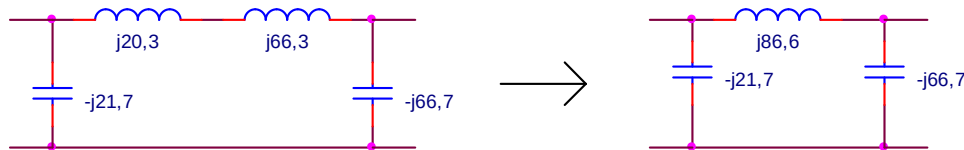
$$X_{p1} = R_g / Q' = 100 / 4,6 = 21,7\Omega$$

$$X_{s1} = Q' R_v = 4,6 \cdot 4,42 = 20,3\Omega$$

2 solutions:



Circuit en PI



$F=100\text{MHz}$

$-j21,7 \Omega \rightarrow 74 \text{ pF}$

$j21,7 \Omega \rightarrow 34 \text{ nH}$

$-j66,7 \Omega \rightarrow 24 \text{ pF}$

$j66,7 \Omega \rightarrow 106 \text{ nH}$

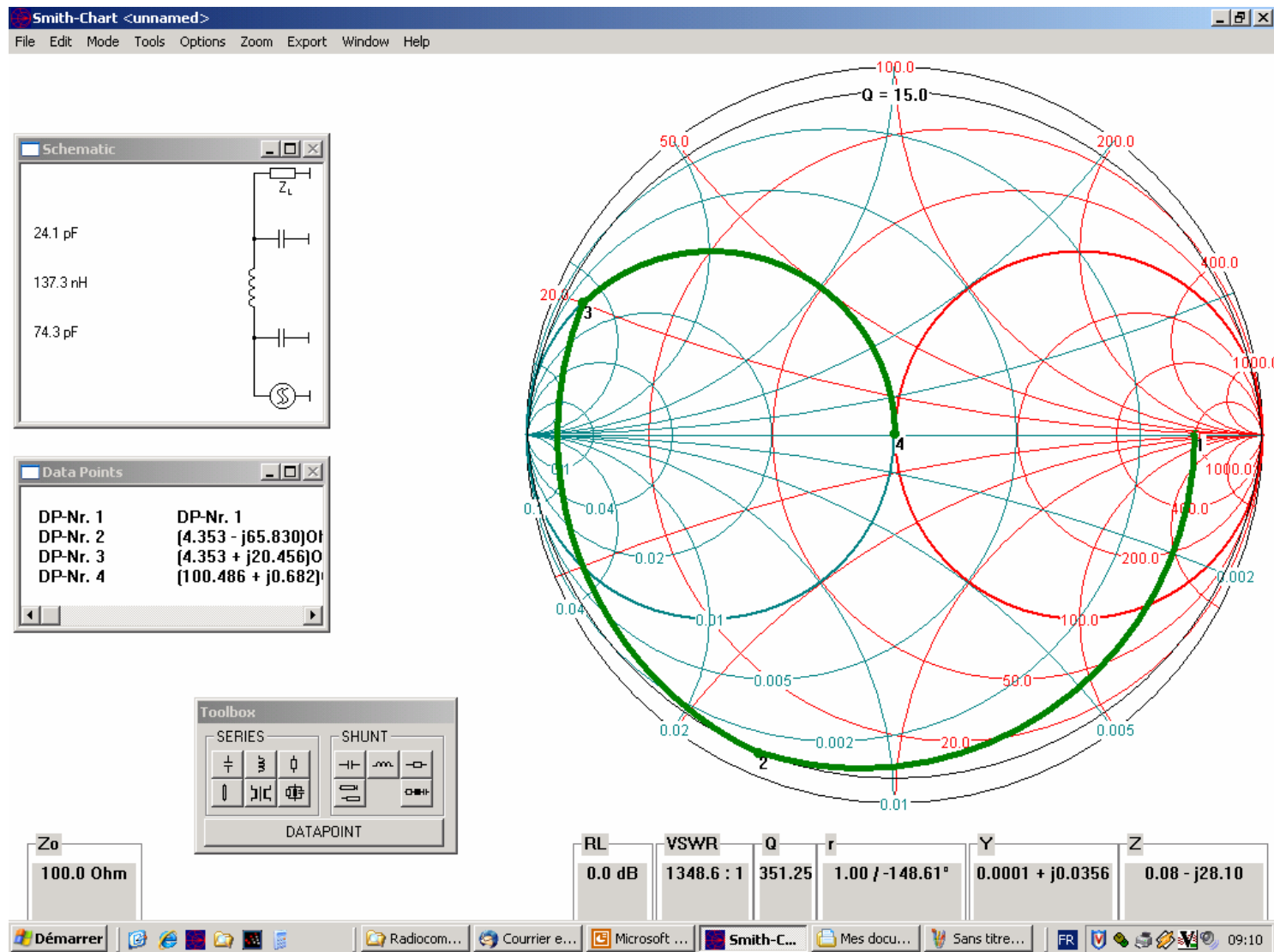
$-j86,6 \Omega \rightarrow 18 \text{ pF}$

$j86,6 \Omega \rightarrow 138 \text{ nH}$

$-j46 \Omega \rightarrow 35 \text{ pF}$

$j46 \Omega \rightarrow 73 \text{ nH}$

Exemple de résolution graphique



Boite d'accord d'antenne

