

Chapitre 16c

Circuits RLC parallèles Télécommande centralisée Application aux circuits bouchons

Sommaire

- Circuit RL et RC parallèles
- Circuits bouchons
- Télécommande centralisée
- Exemples de calculs pratiques
- Exercices

Introduction

Circuits RC et RL parallèle

A l'inverse des circuits série, les circuits parallèles présentent une grande impédance pour la fréquence de résonance.

Lors de l'étude des circuits de résistances en parallèle, nous avons utilisé la conductance G pour déterminer la résistance équivalente du circuit. Cette méthode nous permet de simplifier les calculs et de mieux en comprendre le comportement.

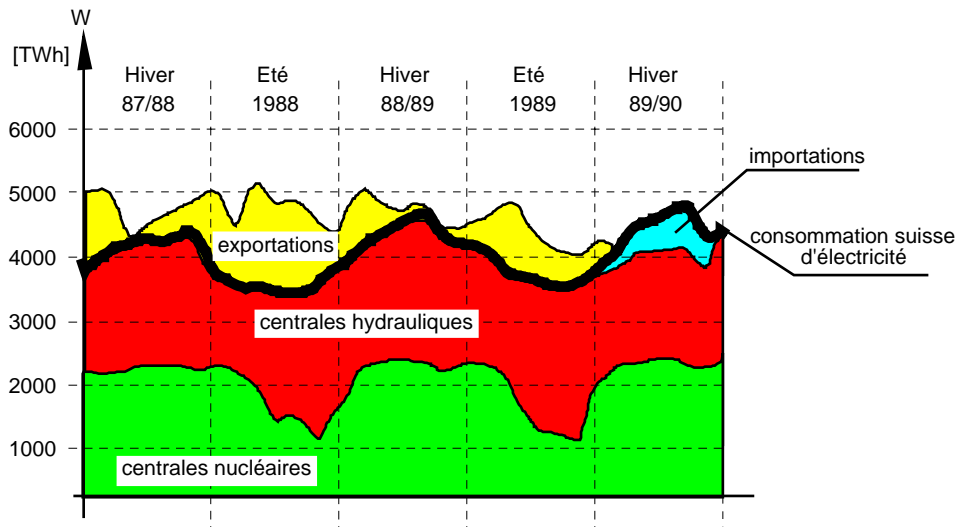
Régulation de la production d'énergie électrique

En Suisse, nous utilisons principalement deux sources de production d'énergie électrique :

- production par les centrales hydrauliques
- production par les centrales nucléaires

La production d'énergie doit également être liée à la consommation, qui varie en fonction des heures de la journée ainsi que des saisons.

Des courbes sont établies par les producteurs d'énergie électrique pour leur permettre une planification.

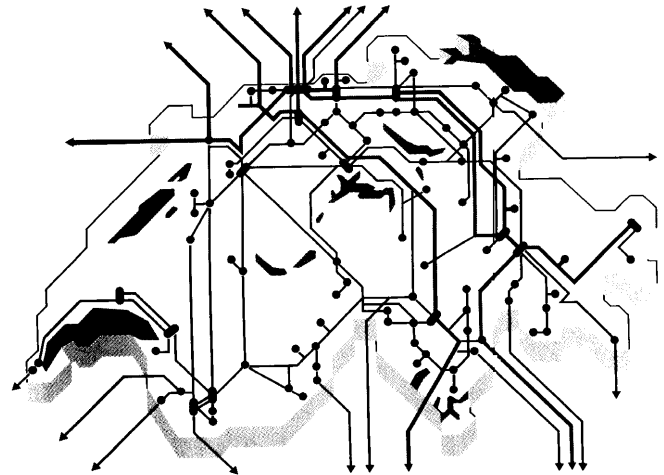


Ce diagramme montre les différents types de production d'énergie électrique ainsi que les périodes d'importation et d'exportation. Nous constatons également la différence entre l'été et l'hiver. La production est moins importante lors des mois chauds, car la demande est moins forte.

Le réseau suisse de production d'énergie électrique est interconnecté avec l'étranger.

Cela permet un approvisionnement plus fiable et une meilleure régulation de la production.

En effet, lorsque la consommation interne est plus faible, nous exportons l'excédent vers l'étranger.

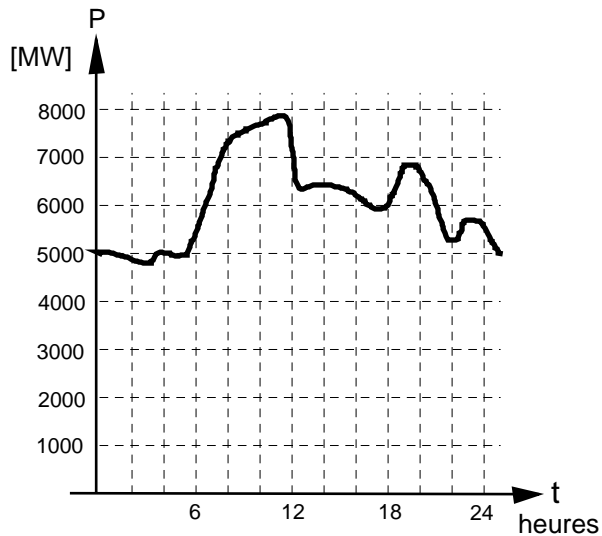


Télécommande centralisée TC

Les distributeurs d'énergie électrique disposent dans leur réseau d'un système permettant de commander à distance et avec un minimum de frais d'installation les différents types de consommateurs d'énergie.

Chaque distributeur établit un programme complet de télécommande, en fonction de sa courbe de charge. La courbe de charge correspond à la puissance raccordée aux différentes heures de la journée. Le but est d'obtenir une courbe de charge la plus plate possible pendant les 24 heures.

Exemple de courbe de charge



Nous constatons sur cette courbe des pointes de consommation aux heures de repas, ainsi qu'une consommation plus faible durant la nuit.

Cette courbe va permettre de commander les récepteurs et de réguler la production d'énergie électrique.

Ce dispositif porte le nom de TELECOMMANDE CENTRALISEE et elle a pour but, par exemple, de :

- commuter les compteurs d'énergie entre le tarif haut et le tarif bas.
- bloquer les chauffages électriques dans les immeubles ou les villas.
- bloquer les fours industriels.
- bloquer les machines à laver le linge.
- enclencher l'éclairage public.
- d'autres fonctions sont également possibles.

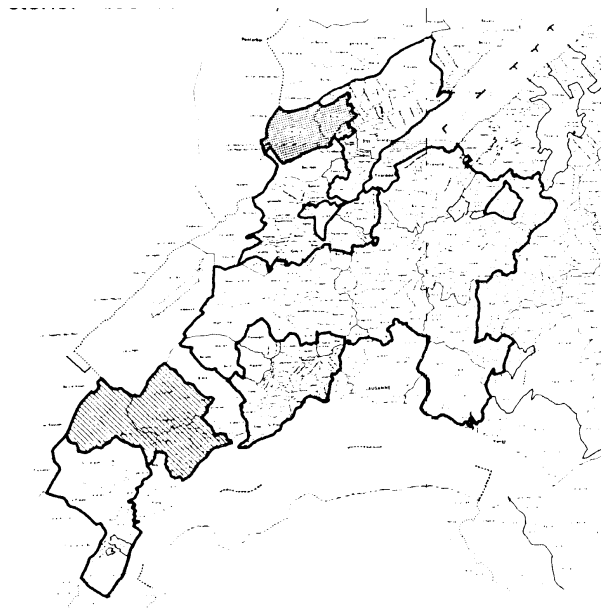
Dans la pratique, nous donnons le nom de PILOTE aux fils dont la fonction est de commander. Le tableau ci-dessous représente les principales fonctions ainsi que leurs désignations abrégées.

Fonctions	Désignations abrégées
Charges en heures creuses	CHC
Chauffages à accumulation	CA
Chauffage direct	CD
Chauffage mixte	CM
Chauffe-eau	CE
Chauffe-eau court blocage	CEC
Chauffe-eau long blocage	CEL
Délestage	DEL
Double tarif	DT, DT1, DT2, DT3, DT4
Double tarif boulanger	DTFB
Double tarif four professionnel	DTFP

Fonctions	Désignations abrégées
Eclairage cage d'escalier	EE
Eclairage de monuments	EM
Eclairage public	EP
Eclairage public réduit	EPR
Eclairage vitrine	EV
Effacement jour de pointe	EJP
Enregistrement du maximum	MAX
Force motrice	FM
Fours professionnels	FP
Lave linge	LL
Piscine	PI SC
Pompe d'arrosage	PA
Pompe à chaleur	PAC
Remise à zéro de la télécommande	RAZ1 - RAZ2
Saune	SA
Sèche-linge	SL
Tarif saisonnier	TS

Pour le canton de Vaud, la Romande d'Energie a divisé son réseau de distribution en zones comme le montre cette carte.

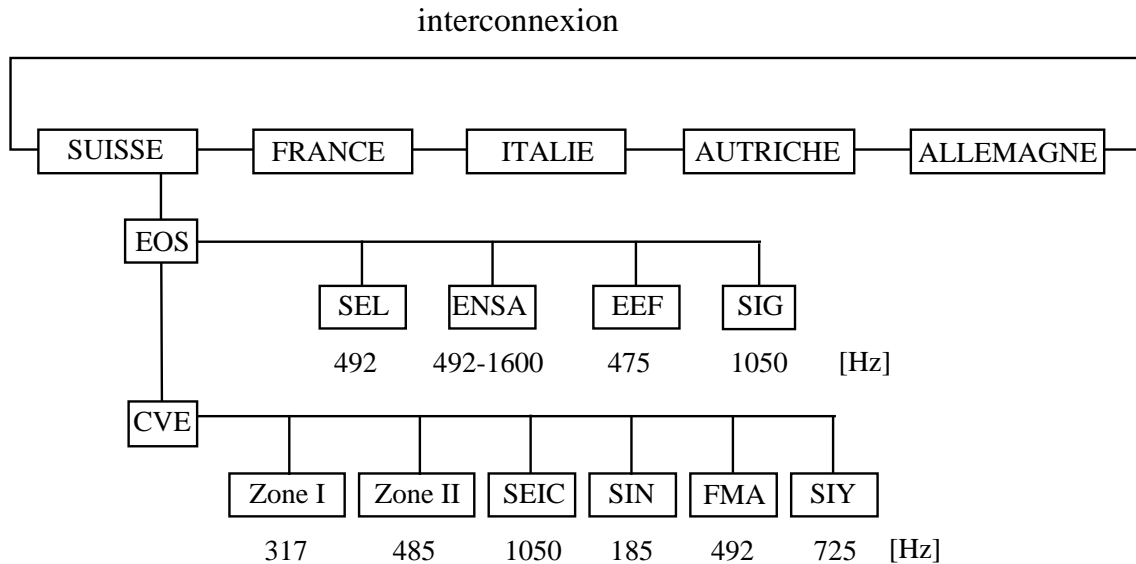
Une fréquence différente est utilisée pour chaque zone de distribution, même lorsque ce n'est pas la Romande d'Energie qui est responsable de la distribution.



Interconnexion

Les réseaux de distribution d'énergie électrique sont interconnectés. Ils disposent tous de télécommande centralisée.

Les pays européens sont tous interconnectés et ils s'échangent régulièrement de l'énergie. Le réseau de la Romande d'Energie est également relié au réseau européen par l'intermédiaire d'EOS.



Vu la multitude de réseaux, il est nécessaire de **BLOQUER** les différentes fréquences, en amont, de leur point d'injection. Si cette précaution n'est pas prise, il peut se produire des démarrages intempestifs de télécommande à un moment et à un endroit non désiré (sorte de pollution des réseaux pouvant provoquer des dégâts).

Circuits bouchons

Pour empêcher les fréquences télécommande de remonter dans l'interconnexion, on dispose un **CIRCUIT BOUCHON** au point de connexion.

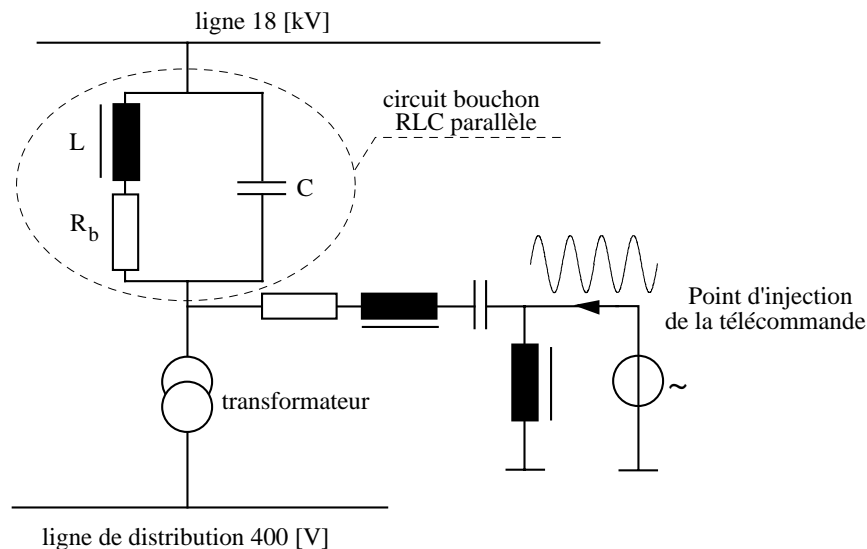
Ce circuit est constitué par :

- un condensateur C
- une inductance L

qui sont montés en parallèle.

Ces éléments sont dimensionnés pour supporter le courant nominal I_{nom} et le courant de court-circuit I_{cc} du réseau.

Schéma :



L'inductance L et le condensateur C sont montés en parallèle. Ils sont soumis à la tension U avec une fréquence f. Selon leurs caractéristiques, ces éléments auront une certaine impédance totale Z à la fréquence du réseau 50 [Hz]. Cette impédance devra être faible pour ne pas limiter le courant vers le transformateur.

Si la fréquence se modifie, l'impédance totale Z se trouvera elle aussi modifiée. La valeur des deux éléments sera choisie pour empêcher (faire bouchon) aux fréquences pilotes d'arriver sur la ligne 18 [kV].

Exemple chiffré :

Calculons les différentes grandeurs électriques dépendant de ces fréquences.

Données : $R_b = 1.1 [\Omega]$ $L = 81.9 [\text{mH}]$ $C = 3.05 [\mu\text{F}]$

f de 0 à 1500 [Hz] en prenant 317 [Hz]

Inconnues :

$X_L = ?$ $X_C = ?$ $Z_{\text{tot}} = ?$

Relations :

$$X_L = \omega \cdot L \quad X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} \quad \omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

impédance RL série $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$

impédance RC série $Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$

impédance parallèle $\frac{1}{Z_{\text{tot}}} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \dots + \frac{1}{Z_n}$

Calculons l'impédance totale à 50 [Hz] :

$$Z_{\text{tot}} = \frac{1}{\frac{1}{\sqrt{R_b^2 + (2\pi \cdot f \cdot L)^2}} + 2\pi \cdot f \cdot C}$$

Application numérique :

pour $f = 50$ [Hz]

$$Z_{tot} = \frac{1}{\frac{1}{\sqrt{1.1^2 + (2\pi \cdot 50 \cdot 81.9 \cdot 10^{-3})^2}} + 2\pi \cdot 50 \cdot 3.05 \cdot 10^{-6}} = 25.13 [\Omega]$$

Calculons la réactance capacitive X_C

$$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 3.05 \cdot 10^{-6}} = 1043.64 [\Omega]$$

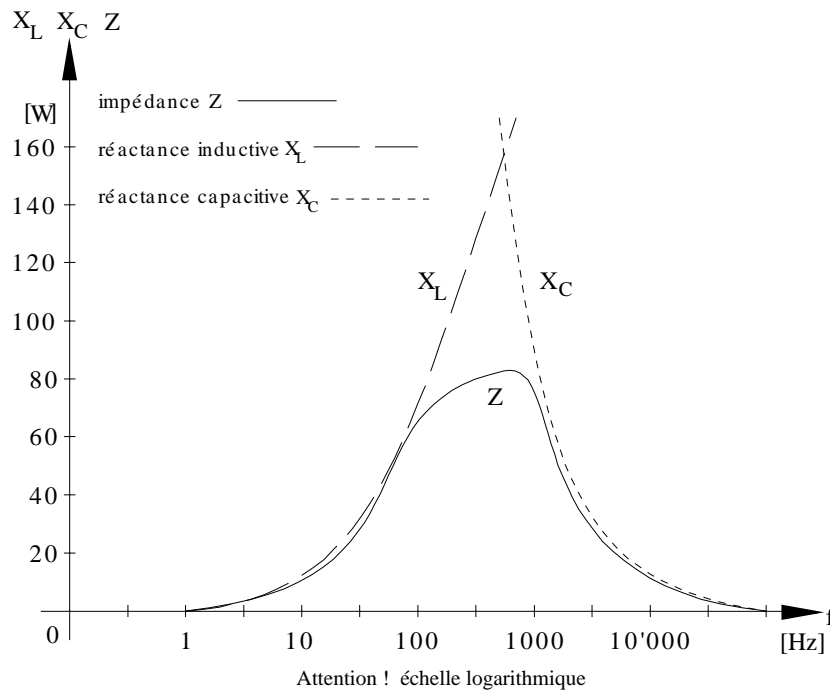
Calculons la réactance inductive X_L

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 81.9 \cdot 10^{-3} = 25.73 [\Omega]$$

Les calculs que nous venons de faire correspondent à la fréquence de 50 [Hz] du réseau. Lors de la transmission de fréquences pilotes, l'impédance du circuit ne sera plus la même. Pour simplifier l'interprétation des différentes valeurs, les résultats ont été rassemblés dans le tableau ci-dessous :

f [Hz]	R _b [Ω]	L [mH]	C [μF]	X _L [Ω]	X _C [Ω]	Z _{tot} [Ω]
0	1.1	81.9	3.05	0	grande	<1.1
50	1.1	81.9	3.05	25.73	1043.64	25.13
317	1.1	81.9	3.05	163.13	164.61	81.93
1000	1.1	81.9	3.05	514.59	52.18	47.38
1500	1.1	81.9	3.05	771.89	34.79	33.28

Nous allons reporter ces impédances sur un graphique en fonction de la fréquence. $Z f (f)$



Nous constatons donc que, pour une certaine fréquence f , l'effet de la réactance capacitive X_C et inductive X_L sont égaux en grandeur.

Cet effet est appelé :

RESONANCE PARALLELE

Ce phénomène a lieu moment lorsque les éléments sont soumis à la

FREQUENCE DE RESONANCE f_0

A ce moment-là, le petit courant de télécommande rencontre une impédance Z maximum dans chacune des branches du circuit bouchon. Il est donc BLOQUE et ne peut se répandre en amont du montage.

Exemple

Un circuit bouchon pour une fréquence de $f = 485$ [Hz] est composé d'une inductance L de 10 [mH] et d'un condensateur C de 10.8 [μ F]. Le distributeur désire utiliser ce circuit bouchon à la fréquence de 317 [Hz].

Que proposez-vous au distributeur ?

Sachant que le circuit bouchon est constitué d'INDUCTANCE et de CONDENSATEUR, nous pouvons modifier ou l'un ou l'autre des composants.

• 1. Inductance $L = 10$ [mH] **le condensateur change**

Données : $L = 10$ [mH] $f_r = 317$ [Hz]

Inconnue : $C = ?$

Relation :

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}}$$

isolons C , en élevant au carré de chaque côté du signe $=$, en multipliant par C et en divisant par f_r de chaque côté du signe $=$.

$$C = \frac{1}{(2\pi)^2 \cdot f_o^2 \cdot L}$$

Application numérique :

$$C = \frac{1}{(2\pi)^2 \cdot 317^2 \cdot 10 \cdot 10^{-3}} = 25.21 [\mu F]$$

• 2. Condensateur $C = 10.8$ [μF] **l'inductance change**

Données : $C = 10.8$ [μF] $f_r = 317$ [Hz]

Inconnue : $L = ?$

Relation :

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}}$$

isolons L , en élevant au carré de chaque côté du signe $=$, en multipliant par L et en divisant par f_r de chaque côté du signe $=$.

$$L = \frac{1}{(2\pi)^2 \cdot f_o^2 \cdot C}$$

Application numérique :

$$L = \frac{1}{(2\pi)^2 \cdot 317^2 \cdot 10.8 \cdot 10^{-6}} = 23.34 [mH]$$

REMARQUE :

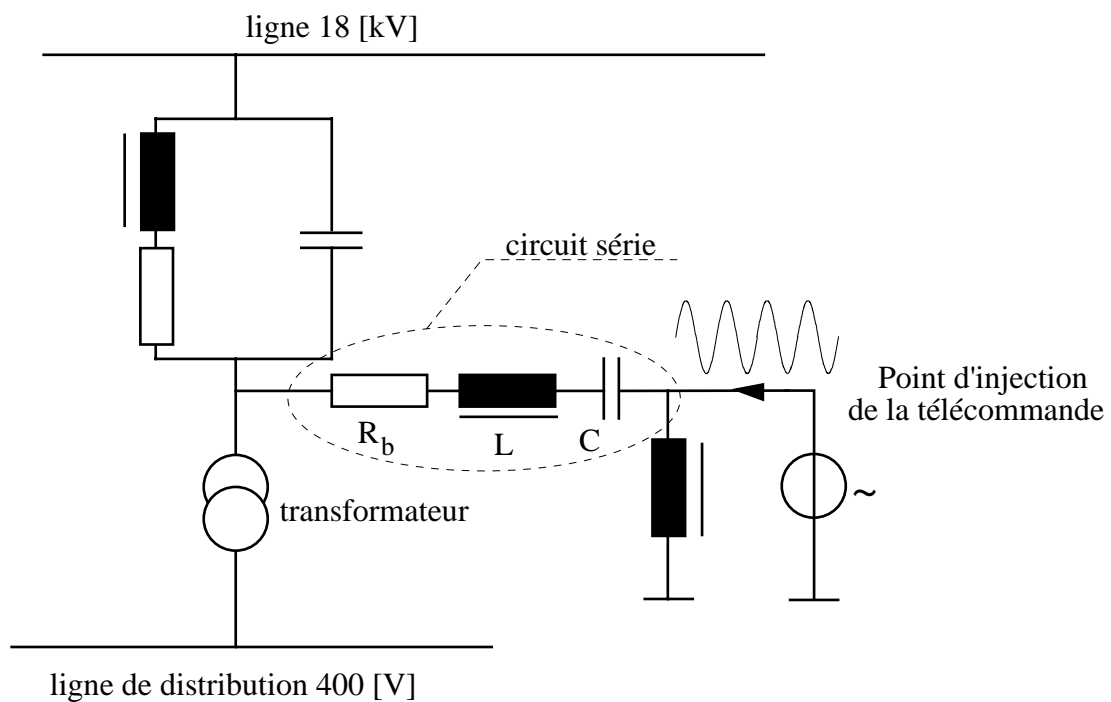
En pratique, nous ne modifions pas l'INDUCTANCE L car il faut augmenter sa valeur. Ce qui implique que le fil de cuivre constituant la bobine va provoquer une augmentation de la puissance dissipée en chaleur en régime 50 [Hz].

Le condensateur offre lui la particularité d'avoir une puissance P nulle.

Point d'injection

Les distributeurs d'énergie possèdent, dans leurs postes de transformateurs, des générateurs de fréquences.

Cela leur permet d'enclencher ou de déclencher les différents récepteurs.



Comme nous venons de l'étudier, le couplage RLC parallèle, placé en amont du point d'injection doit empêcher les ordres de télécommande centralisée de remonter sur un autre réseau.

Par contre, la fréquence de 50 [Hz] du réseau ne doit pas pouvoir arriver dans le générateur de fréquences. Seules les fréquences élevées doivent pouvoir passer du générateur vers la ligne de distribution.

Pour réaliser ce montage nous utilisons également un condensateur et une bobine, mais cette fois ils sont montés en série. L'impédance d'un circuit série est grande à la fréquence de résonance. Si nous dimensionnons les éléments pour que f_0 soit 50 [Hz], nous allons réaliser un filtre qui "protégera" le générateur de fréquences.

Ces éléments sont dimensionnés pour supporter le courant nominal I_{nom} et le courant de court-circuit I_{cc} du réseau.

Théorie de la résonance du circuit série

Une inductance L et un condensateur C sont montés en série. Ils sont soumis à la tension U avec une fréquence f . Selon leurs caractéristiques, ces éléments auront une certaine impédance totale Z à la fréquence du réseau 50 [Hz]. Si la fréquence se modifie, l'impédance totale Z se trouvera elle aussi modifiée.

Calculons les différentes grandeurs électriques dépendantes de ces fréquences.

Données :

$$R_b = 1.1 \text{ } [\Omega]$$

$$L = 81.9 \text{ [mH]}$$

$$C = 3.05 \text{ } [\mu\text{F}]$$

f de 0 à 1500 [Hz] en prenant 317 [Hz]

Inconnues :

$$X_L = ?$$

$$X_C = ?$$

$$Z_{\text{tot}} = ?$$

Relations :

$$X_L = \omega \cdot L \quad X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} \quad \omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

impédance RL série $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$

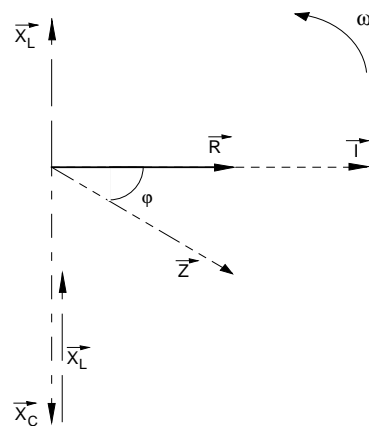
impédance RC série $Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$

impédance série $Z_{\text{tot}} = Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n$

impédance totale $Z_{\text{tot}} = \sqrt{R_b^2 + (2\pi \cdot f \cdot L)^2} - \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}$

Remarque :

Il ne faut pas oublier que vectoriellement X_L et X_C sont opposés. Le diagramme vectoriel ci-contre n'est pas dessiné à la fréquence de résonance.



Calculons l'impédance totale à 50 [Hz]

Application numérique :

pour $f = 50$ [Hz]

$$Z_{tot} = \sqrt{1.1^2 + (2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 81.9 \cdot 10^{-3})^2} - \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 3.05 \cdot 10^{-6}} = -380.41 \text{ } [\Omega]$$

Le signe - indique que notre impédance totale Z_{tot} est de nature capacitive.

Calculons la réactance capacitive X_C

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 3.05 \cdot 10^{-6}} = 1043.64 \text{ } [\Omega]$$

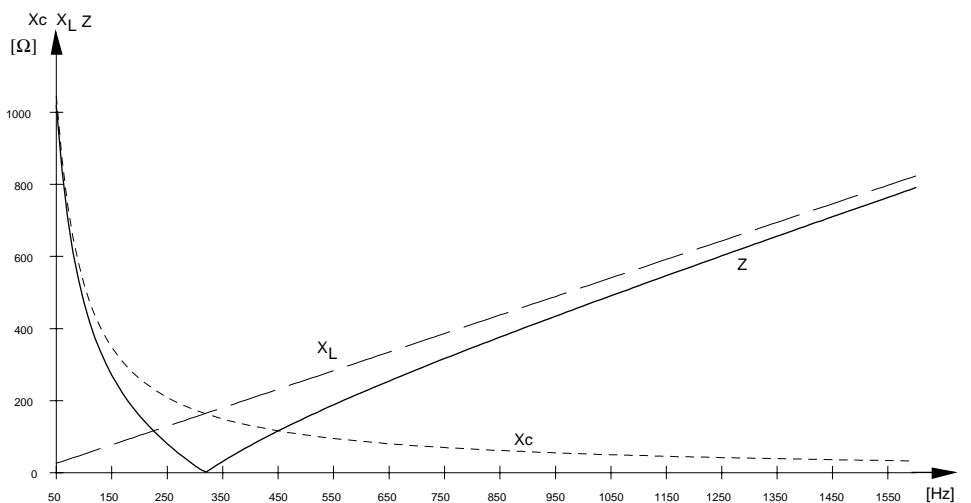
Calculons la réactance inductive X_L

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 81.9 \cdot 10^{-3} = 25.73 \text{ } [\Omega]$$

Pour simplifier l'interprétation des résultats, nous allons établir un tableau identique au circuit bouchon parallèle, mais avec les valeurs de l'impédance série.

f [Hz]	R_b [Ω]	L [mH]	C [μ F]	X_L [Ω]	X_C [Ω]	Z_{tot} [Ω]
0	1.1	81.9	3.05	0	grande	grande
50	1.1	81.9	3.05	25.73	1043.64	380.41
317	1.1	81.9	3.05	163.13	164.61	1.48
1000	1.1	81.9	3.05	514.59	52.18	462.41
1500	1.1	81.9	3.05	771.89	34.79	737.10

Nous allons reporter ces impédances sur un graphique en fonction de la fréquence. $Z = f(f)$



Nous constatons donc que pour une certaine fréquence f , l'effet de la réactance capacitive X_C et inductive X_L sont égales en grandeur.

Seule la résistance R_b , qui doit rester petite, limite le courant I .

Cet effet est appelé :

RESONANCE SERIE

$$Z_0 = R$$

Ce phénomène a lieu au moment où les éléments sont soumis à la :

FREQUENCE DE RESONANCE f_r

A ce moment-là, le petit courant de télécommande rencontre une impédance Z minimum. Il peut se répandre en aval du point d'injection.

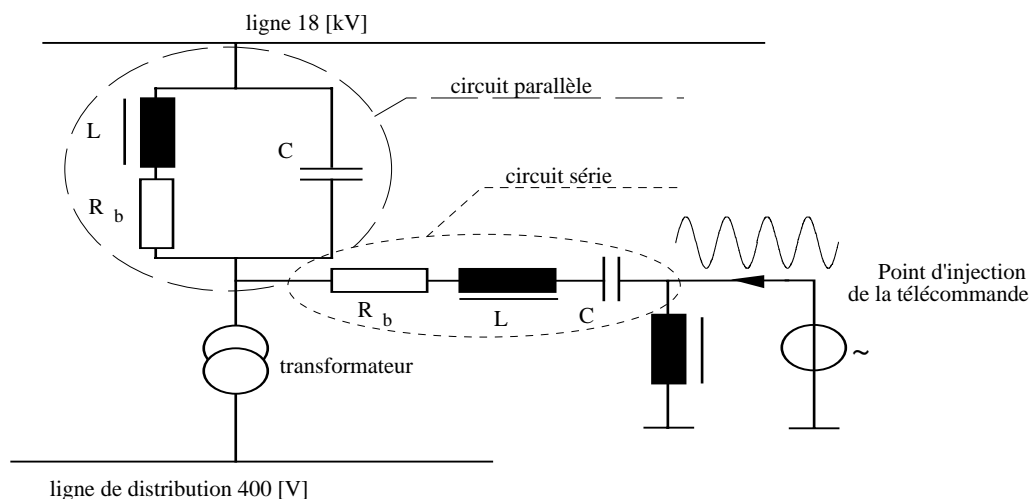
Récapitulation

Reprenons notre schéma, pour en étudier le fonctionnement en détail.

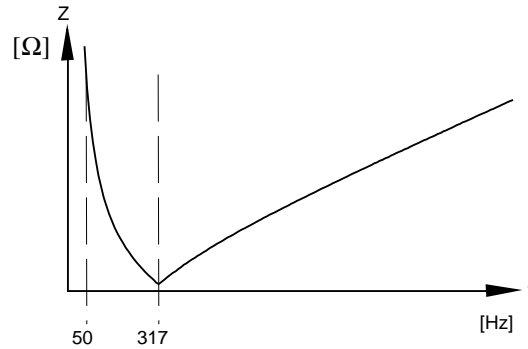
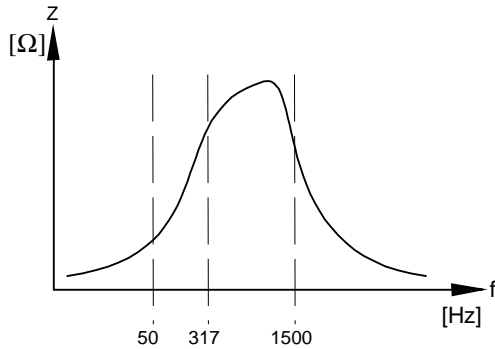
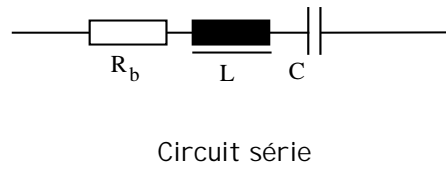
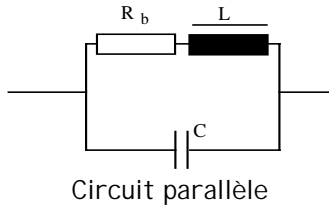
Conditions posées :

- Le courant de la ligne d'alimentation 18 [kV] à 50 [Hz] doit pouvoir circuler vers le transformateur.
- La fréquence de 50 [Hz] du réseau ne doit pas perturber le générateur de fréquences pilotes.
- Les fréquences pilotes doivent se diriger vers le transformateur de la ligne de distribution.
- Les fréquences pilotes ne doivent pas se diriger vers la ligne 18 [kV] pour ne pas perturber les autres récepteurs raccordés.

Schéma complet :



Etudions le comportement des deux circuits séparément :



Le circuit série présente une faible impédance pour le 50 [Hz], mais il oppose une grande impédance aux fréquences pilotes.

Le circuit parallèle présente une faible impédance aux fréquences pilotes, mais il oppose une grande impédance pour le 50 [Hz].

Circuit série :	Circuit parallèle :
Dans un circuit RLC série raccordé sur une source de tension alternative, le courant est commun à tous les éléments.	Dans un circuit RLC parallèle raccordé sur une source de tension alternative, la tension est commune à tous les éléments.
Les tensions partielles varient en fonction de la fréquence.	Les courants varient en fonction de la fréquence.
Pour une certaine valeur de fréquence, le courant est maximum, avant et après cette fréquence il est plus faible.	Pour une certaine valeur de fréquence, le courant est minimum. Avant et après cette fréquence, il est plus grand.
Si $f \neq f_0$ l'addition algébrique des tensions partielles donne une valeur plus grande que celle de la tension totale aux bornes du circuit.	Si $f \neq f_0$, l'addition algébrique des courants partiels donne une valeur plus grande que celle du courant total dans le circuit.
Les tensions aux bornes du condensateur et de la bobine sont déphasées de 180° .	Les courants dans le condensateur et dans la bobine sont déphasés de 180° .
La tension aux bornes du condensateur diminue en fonction de la fréquence.	Le courant dans le condensateur augmente en fonction de la fréquence.
La tension aux bornes de la bobine augmente en fonction de la fréquence.	Le courant dans la bobine diminue en fonction de la fréquence.
La tension aux bornes de la résistance est en phase avec le courant.	Le courant dans la résistance est en phase avec la tension.
La tension à l'entrée du circuit varie de phase par rapport au courant.	Le courant total varie de phase par rapport à la tension totale du circuit.
Pour les fréquences plus petites que f_0 , la tension totale est en retard par rapport à I .	Pour les fréquences plus petites que f_0 le courant total est en retard par rapport à la tension totale.
La fréquence pour laquelle $U_C = U_L$ se nomme :	La fréquence pour laquelle $I_C = I_L$ se nomme :
FREQUENCE DE RESONANCE	

Exercices

1. Qu'est-ce qu'un circuit bouchon ?
2. Qu'est-ce que l'interconnexion et pourquoi est-elle réalisée ?
3. De quoi se compose un circuit bouchon ?
4. Que faut-il pour que nous obtenions la condition de résonance ?
5. Quel est le genre de couplage d'un circuit bouchon ?
6. Dessinez la courbe de l'impédance en fonction de la fréquence pour un circuit parallèle
7. Quel est le genre de couplage d'un point d'injection ?
8. Dessinez la courbe de l'impédance en fonction de la fréquence pour un circuit série.

1. Un circuit est composé d'une résistance de $1.5 \text{ [k}\Omega\text{]}$, d'un condensateur de 560 [nF] et d'une bobine de $1.25 \text{ [}\mu\text{H]}$ montés en parallèle et raccordés sur un générateur dont la fréquence vaut 18 [kHz] .Calculer la conductance, les susceptances des trois éléments

2. Une bobine et une résistance sont montées en parallèle sur un générateur 130 [V] 50 [Hz] . Pour les éléments, nous connaissons les valeurs suivantes :

$$R = 15 \text{ [}\Omega\text{]} \text{ et } X_L = 10 \text{ [}\Omega\text{]}$$

Tracer le diagramme vectoriel et calculer les valeurs de la bobine, de l'impédance, de la conductance, de la susceptance, ainsi que tous les courants et l'angle de déphasage.

3. Un condensateur et une résistance sont montés en parallèle sur un générateur 130 [V] / 50 [Hz] . Pour les éléments, nous connaissons les valeurs suivantes :

$$R = 15 \text{ [}\Omega\text{]} \text{ et } X_C = 22 \text{ [}\Omega\text{]}$$

Tracer le diagramme vectoriel et calculer la valeur du condensateur, de l'impédance, de la conductance, de la susceptance, ainsi que tous les courants et l'angle de déphasage.

4. Une source de tension de 60 [V] alimente un circuit parallèle constitué d'un condensateur de $2.5 \text{ [}\mu\text{F]}$ et d'une bobine dont l'inductance et la résistance sont respectivement, 260 [mH] et $15 \text{ [}\Omega\text{]}$.

Calculer la fréquence de résonance du circuit.

5. Calculer pour quelle fréquence de résonance est dimensionné un récepteur de TC dont le montage du circuit RLC série est composé des éléments suivants :.

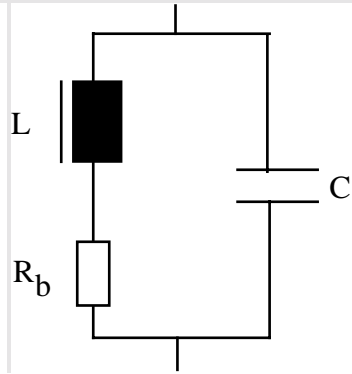
$$R = 4 \text{ [}\Omega\text{]} \quad L = 45 \text{ [mH]} \quad C = 16 \text{ [}\mu\text{F]}.$$

Calculer la tension que devra supporter la capacité si le courant de télécommande est de 400 [mA] .

6. Un circuit bouchon d'un distributeur doit être installé provisoirement sur un autre réseau. Ses caractéristiques sont : $X_L = 20 [\Omega]$ $f_0 = 317 [\text{Hz}]$

Quelles solutions proposez-vous ?

7. Montrer par le calcul et le diagramme vectoriel, si le circuit proposé est en résonance pour la fréquence donnée.



$$L = 150 [\text{mH}]$$

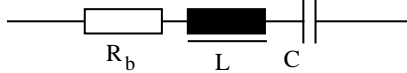
$$R_b = 5 [\Omega]$$

$$C = 6000 [\text{pF}]$$

$$f = 50 [\text{Hz}]$$

8. Calculer les courants circulant dans les différents composants du circuit de l'exercice 7, à 50 [Hz], à 1000 [Hz], à 0 [Hz] et à la fréquence de résonance f_0 , si le courant $I_C = 829.4 [\mu\text{A}]$ à 100 [Hz].

5. Montrer par le calcul et le diagramme vectoriel, si le circuit proposé est en résonance pour la fréquence donnée.



$$R_b = 5 [\Omega] \quad C = 6000 [\text{pF}]$$

$$f = 50 [\text{Hz}] \quad L = 150 [\text{mH}]$$

Réponses : 1. $G = 666.67 [\mu\text{S}]$ $B_C = 63.34 [\text{mS}]$ $B_L = 7.08 [\text{mS}]$