

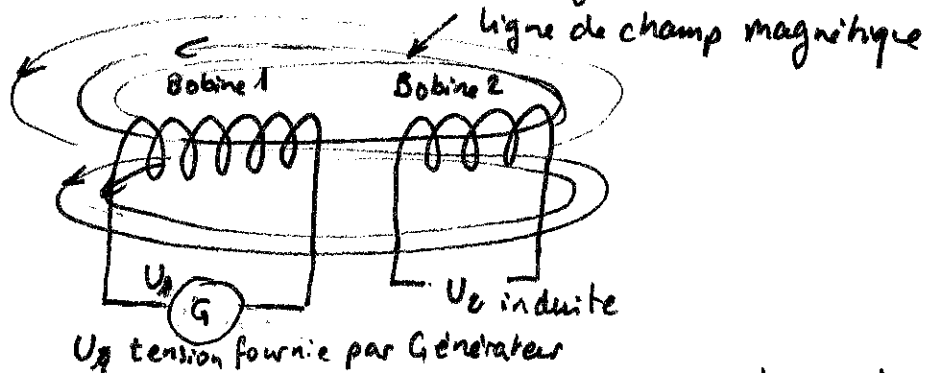
(1)

## Rappel d'électromagnétisme

On a vu précédemment : - qu'un courant électrique dans un conducteur crée un champ magnétique (électro-aimant),  
 - qu'un conducteur parcouru par un courant électrique et placé dans un champ magnétique était soumis à une force (ampère-mètre)  
 - qu'aux bornes d'un conducteur placé dans un champ magnétique variable apparaissait une force électromotrice variable (alternateur)

## Transformateur

Plaçons une bobine dans l'alignement d'une autre bobine

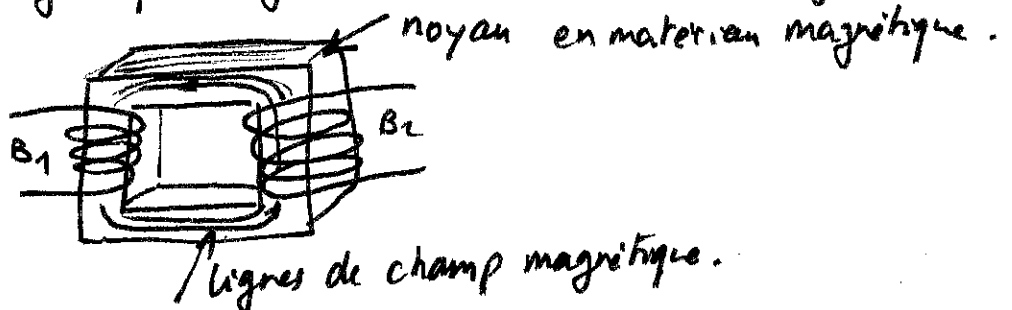


Si on connecte la bobine 1 à un générateur de tension variable  $U_1$ , la bobine 1 sera traversée par un courant variable qui créera un champ magnétique variable.

La bobine 2 sera donc dans un champ magnétique variable et à ses bornes apparaîtra une f.e.m. variable.

C'est sur ce principe que sont réalisés les transformateurs.

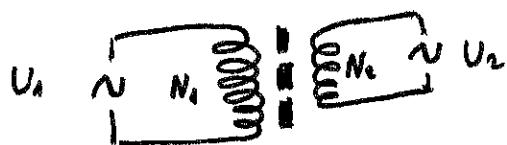
Dans la pratique on enroule le fil des bobines sur un noyau constitué d'un matériau magnétique (fer, ferrite...) le matériau magnétique très perméable au champ magnétique guide et concentre les lignes de champ.



toutes les lignes de champ sont principalement concentrées dans le noyau si bien que le transformateur ne rayonne presque pas et a un meilleur rendement puisque toutes les lignes de champ créées par  $B_1$  traversent  $B_2$ .

les bobines  $B_1$  et  $B_2$  sont appelées respectivement enroulement primaire et enroulement secondaire ou tout simplement primaire et secondaire

Si on branche le primaire  $B_1$  à un générateur de tension sinusoïdale de valeur  $U_1$  il apparaît au secondaire une tension  $U_2$  elle aussi sinusoïdale



On montre que si le primaire comporte  $N_1$  spires (tours de fil) et le secondaire  $N_2$  spires on a :

$$\boxed{\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}}$$

Le transformateur transforme les tensions sinusoïdales dans le rapport du nombre de spires entre primaire et secondaire.

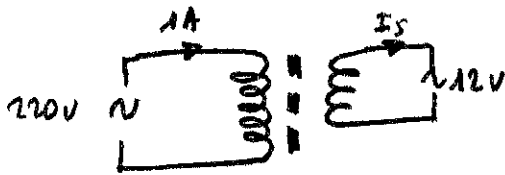
Exemple si  $N_1 = 440$  spires et  $N_2 = 24$  spires et si on branche le primaire sur le 220V alternatif du secteur il apparaît au secondaire une tension  $U_2$  telle que :

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} \text{ soit } U_2 = U_1 \frac{N_2}{N_1} = 220 \frac{24}{440} = 12V$$

Le transformateur est réversible : si on branche le secondaire sur 12V alternatif on obtient alors 220V alternatif au primaire.

Le transformateur permet donc d'abaisser ou d'élever une tension alternative sinusoïdale

De plus dans le cas d'un transformateur parfait (qui n'aurait pas de pertes) toute l'énergie fournie au primaire se retrouve intégralement au secondaire.



Exemple s'il passe 1A au primaire ce qui correspond à une puissance de  $220V \times 1A = 220 \text{ VA}$

puisque l'on retrouve cette puissance au secondaire le courant  $I_s$  vaut donc  $\frac{220W}{12V} \approx 18,3A$ .

Cela suppose naturellement pour qu'il y ait un courant qu'on ait connecté le secondaire à quelque chose qui consomme de la puissance une résistance par exemple la valeur de cette résistance serait d'après la loi d'ohm

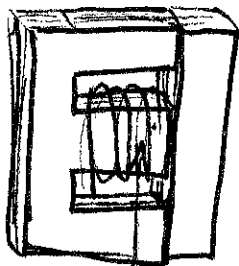
$$R = \frac{12V}{18,3A} \approx 0,65\Omega$$

On pourrait aussi calculer  $R$  en utilisant  $P = \frac{U^2}{R}$  soit  $R = \frac{U^2}{P} = \frac{144}{220} \approx 0,65\Omega$ .

On exprime la puissance d'un transformateur en Volts-Ampères (V.A) et non en Watts. Nous verrons pourquoi plus tard

### Technologie des transformateurs

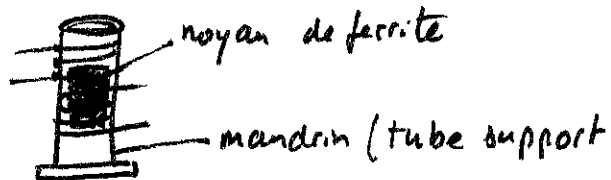
Il existe différents types de transformateurs selon leurs usages. Les transformateurs d'alimentation, qui permettent à partir du 220V alternatif du secteur d'obtenir soit du 12V, soit du 5V, ou du 1000V, sont dans les applications qui nous concernent constitués de toles en forme de E et de I assemblées comme suit et empilées les unes sur les autres



enroulements

primaire et secondaire sont bobinés sur la "barre centrale du E"

Les transformateurs pour les courants haute fréquence dans les montages radio sont simplement constitués de quelques spires bobinées sur un même tube. L'intérieur du tube comportant souvent un noyau de ferrite



### Dimensionnement d'un transformateur d'alimentation

On pourrait être tenté de réaliser des transformateurs d'alimentation peu encombrants et légers avec quelques spires et un petit noyau.

Dans la pratique ce n'est pas si simple.

Tout d'abord il faut un noyau (on parle plutôt de "carcasse" dans le cas de transformateur d'alimentation) suffisamment gros (donc lourd) pour pouvoir transmettre la puissance. Il faut plus exactement que la section du transfo ne soit pas soumise à une densité de champ magnétique trop grande.

Pour une grosse puissance il faut une grosse section

Pour des raisons aussi de densité de champ magnétique il faut suffisamment de spires. Selon la section il faut un certain nombre de spires par volt : ex pour un transfo de 30W il faut 4,5 spires par volt le primaire 220V comportera donc  $220 \times 4,5 \text{ sp/v} = 990 \text{ spires}$ , le secondaire 12V aura  $12 \times 4,5 = 54 \text{ spires}$ .

Plus la section est faible plus le nombre de spires par volt doit être élevé.

Ensuite il faut choisir du fil de cuivre émaillé d'une section suffisante pour supporter les courants qui traverseront les différents enroulements : 3 à 4 A par  $\text{mm}^2$  est une bonne valeur. Un fil de 1mm de diamètre pourra

supporter  $\frac{1 \times 1 \times 3,14}{4} \times 3 \text{ A/mm}^2 \approx 2,3 \text{ A}$

## Auto-induction

On a vu dans le cas du transformateur que le courant variable dans le primaire induit une tension variable dans le secondaire.

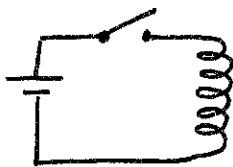
Dans le cas d'une bobine unique, le courant variable qui traverse la bobine induit dans cette même bobine une tension variable. C'est comme si le primaire et le secondaire d'un transformateur étaient confondus.

Ce phénomène est appelé auto-induction ou aussi self-induction

On a vu aux précédents chapitres que la fem induite valait :

$$e = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \quad \text{avec le flux } \Phi = B S N$$

le signe  $\ominus$  de la formule montre que la tension induite est de signe opposé à la tension qui crée le courant dans la bobine.



Quand on branche un générateur de courant continu sur une bobine, le courant ne s'établit pas instantanément (il faut quelques micro ou milli-secondes) car il est freiné par la fem. d'auto-induction.

Une fois le courant établi, si on coupe le circuit la fem de self-induction a tendance à prolonger le courant au delà de l'ouverture du circuit.

Avec une grosse bobine branchée sur une pile de 4,5 V la fem d'auto-induction peut atteindre quelques centaines de volts : on voit d'ailleurs de belles étincelles au niveau de l'interrupteur

## Coefficient de self-induction

On a vu que la fem de self-induction valait  $e = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ .

Plus la variation de flux est importante, plus  $e$  est élevée

le flux magnétique  $\Phi$  vaut en général  $B S N$  ( $B$  champ magnétique,  $S$  surface des spires,  $N$  nombre de spires) ;  $B$  est proportionnel à  $I$

$B = k I$   $k$  constante qui dépend de la géométrie de la bobine  
si bien que  $\Phi = k S N I$   $k S N$  est une constante qui ne dépend que de la géométrie de la bobine et du nombre de spires

ksr noté généralement L est appelé coefficient de self-induction  
donc  $\boxed{\phi = L I}$

Comme  $e = -\frac{\Delta \phi}{\Delta t}$  on obtient finalement

$$\boxed{e = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}}$$

L s'exprime en Henry (symbole H)  
on utilise souvent les mH et  $\mu H$ .

Dans le jargon radio on emploie plutôt le mot self-induction que auto-induction et on emploie aussi le mot self pour désigner une bobine.

"C'est une self de combien?" signifie : "quel est le coefficient d'auto-induction de la bobine?"

### Formule de Nagaoka

Voici une formule approchée bien commode pour calculer "la valeur d'une self" :

$$L = \frac{N^2 d^2}{40d + 110l}$$

N nombre de spires de la bobine

d diamètre en cm

l longueur de la bobine en cm

L coefficient de self induction en  $\mu H$

L croit avec le carré de N : si on double le nombre de spires

L est multiplié par 4

Attention : cela suppose que toutes les spires soient bobinées dans le même sens : les spires bobinées dans le sens contraire créeraient un champ magnétique de sens opposé qui "détruirait" le champ produit par les autres spires, donc réduiraient  $\phi$ , donc L

4 spires bobinées à droite

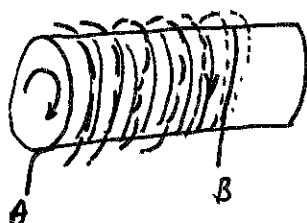


L totale = 0

4 spires bobinées à gauche

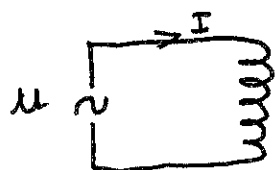
Par contre on peut bobiner plusieurs couches de spires en partant

d'une extrémité ou de l'autre par de problème si on bobine toujours dans le même sens



$N$  spires de A vers B bobinées à droite  
 $N$  spires de B vers A bobinées à droite  
 comme  $N$  est multiplié par 2  $L$  est multiplié par 4

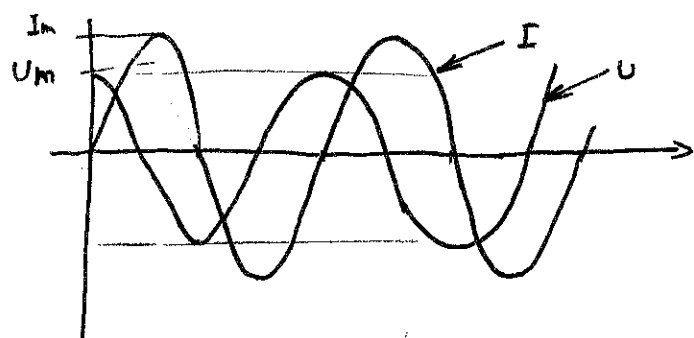
## Utilisation des selfs en courant alternatif sinusoïdal



Branchons une self de "valeur"  $L$  sur une source de courant alternatif  $u = U_m \cos(\omega t)$

$U_m$  tension de crête,  $\omega$  pulsation ( $\omega = 2\pi f$ ),  $t$  temps  
 cos: fonction cosinus

On montre et on vérifie que la self est parcourue par un courant alternatif sinusoïdal de phase de  $-\frac{\pi}{2}$  par rapport à la tension (en retard d'un quart de période)



le courant est en retard sur la tension

le rapport  $\frac{U_m}{I_m}$  est analogue à une résistance (volts divisés par ampères)

est appelé impédance de la self ou inductance. On montre que cette impédance (=résistance au passage du courant alternatif sinusoïdal)

vaut

$$Z = L \omega$$

$L$  coefficient de self induction en Henry

$\omega$  pulsation en  $s^{-1}$

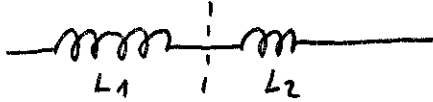
$Z$  en ohm

Cette formule est logique car plus  $L$  est grand plus la fem de self induction est élevée, plus  $\omega$  (donc  $f$ ) est grand plus la variation de flux est rapide donc la fem d'auto-induction est élevée

et plus la fem de self-induction est élevée plus elle s'oppose au passage du courant, donc  $Z$  est élevée.

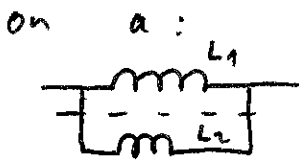
### Association de selfs

Si on monte deux ou plusieurs selfs en série,



Si les selfs ne sont pas couplés, c'est à dire si le champ magnétique créé par une self ne traverse pas l'autre self (donc n'induit pas de tension), on montre que ces deux selfs  $L_1, L_2$  sont équivalentes à une self de coefficient de self induction  $L = L_1 + L_2$

De même <sup>pour</sup> des selfs branchés en parallèle et non couplés



$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}$$

Les règles de groupement des selfs (non couplés) sont les mêmes que pour les résistances.

### perméabilité magnétique

Jusqu'à maintenant à part pour le transformateur, on a toujours considéré des selfs sur air (bobinés sur un tube creux). Si dans le tube on met un noyau magnétique le flux sera multiplié par un coefficient  $\mu_r$  appelé perméabilité magnétique relative.  $\mu_r$  est le rapport entre le coefficient  $\mu_m$  du matériau et le coefficient  $\mu$  de l'air  $\mu_r = \frac{\mu_m}{\mu_{\text{air}}}$

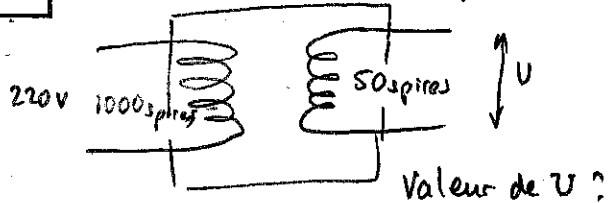
Si on bobine une self sur un matériau magnétique de perméabilité magnétique relative  $\mu_r$ , son coefficient de self-induction se trouve aussi multiplié par  $\mu_r$

$\mu_r$  vaut donc 1 pour l'air et peut aller jusqu'à plusieurs centaines pour certaines ferrites.

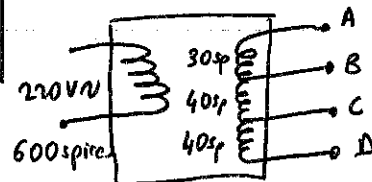


1

Transformateur parfait



2

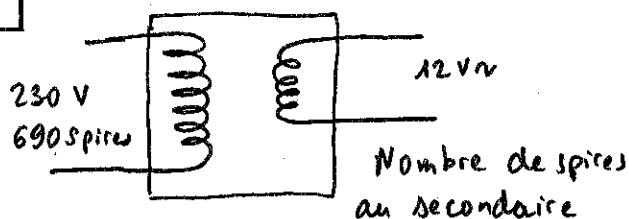


Transformateur parfait

Tension entre :  
A et B ? A et D ?  
B et C ? B et D ?  
C et D ?

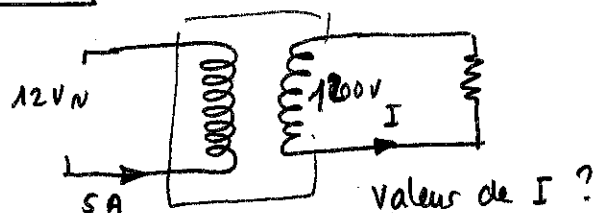
3

Transfo parfait



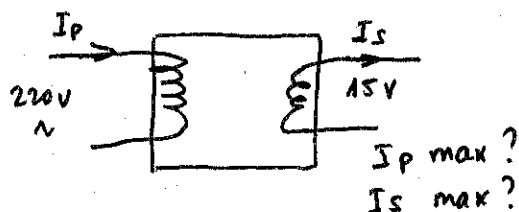
4

Transfo parfait



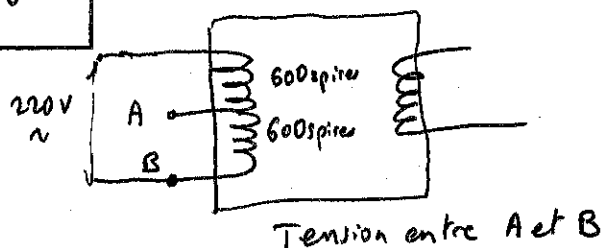
5

Transfo parfait de 200 VA



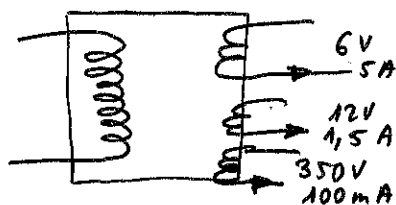
6

transfo parfait



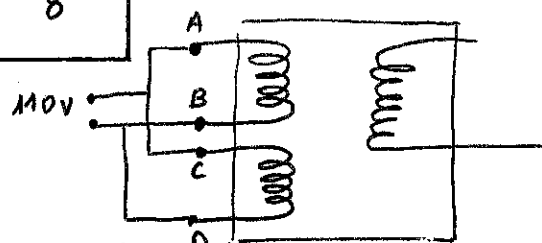
7

Transfo parfait



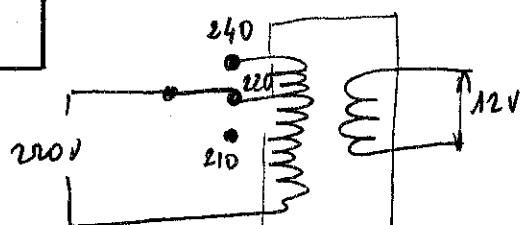
Puissance apparente ? (en VA)

8



Comment faire pour utiliser en 220V ce transfo câblé en 110V

9



Si vous commutiez le primaire sur la position 240V que devient la tension au secondaire ?

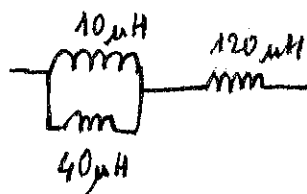
10

Valeur de f ?

$L = 100\mu H$   $Z = 150\Omega$

11

L équivalent ?



12

$L = 120mH$

Que devient L si on enlève le noyau magnétique dont  $\mu_r = 400$

