

# Le transformateur idéal

## Conversion électromécanique

Prof. Perriard & Dr Koechli

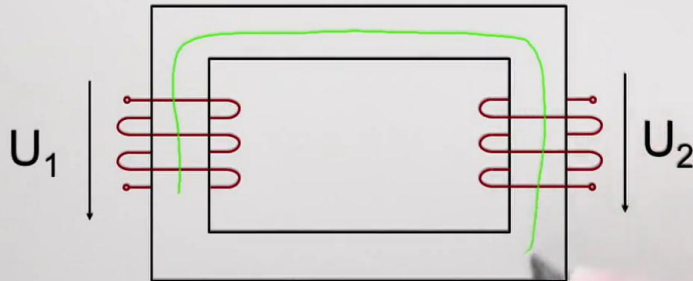


Search MOOC



Video





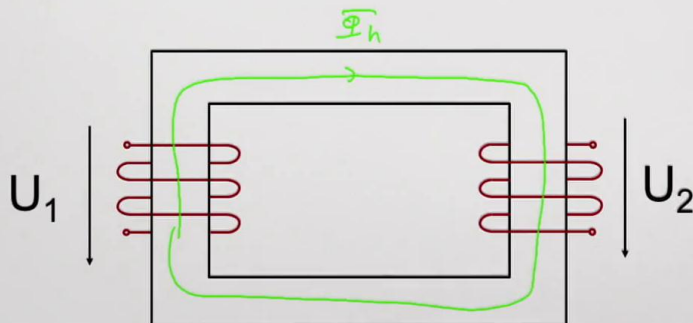
Madame, Monsieur, bonjour. Dans cette leçon, nous allons étudier le transformateur. Le titre de cette leçon est " Transformateur idéal ". Pourquoi ? Parce que dans une première phase, il est intéressant de faire quelques hypothèses simplificatrices et d'analyser le comportement du transformateur. À travers ces hypothèses simplificatrices nous allons découvrir le comportement générale du transformateur et nous allons pouvoir, ensuite, modéliser ce transformateur idéal, très utile pour comprendre le cas général du transformateur réel. Voici un transformateur élémentaire extrêmement simple. Nous allons le rendre idéal en faisant un certain nombre d'hypothèses, des hypothèses, comme vous allez le voir, qui sont extrêmement dures, donc j'entends, on va très loin dans ces hypothèses. Mais elles permettent, justement, de simplifier grandement les équations du transformateur et de découvrir comment fonctionne ce lien entre l'élément magnétique, qui est ici représenté par un circuit en fer et deux bobines qui sont placées sur ce même circuit en fer. Donc évidemment, on a ici un flux qui va être créé par les deux bobines. Ce flux est le même pour les deux : c'est le flux de champ principal.

Notes

Summary



0m 04s



Hypothèses : •  $\mu_{\text{fer}} = \infty$

•  $\Phi_{\sigma 1}, \Phi_{\sigma 2} = 0$

•  $R_1, R_2 = 0$

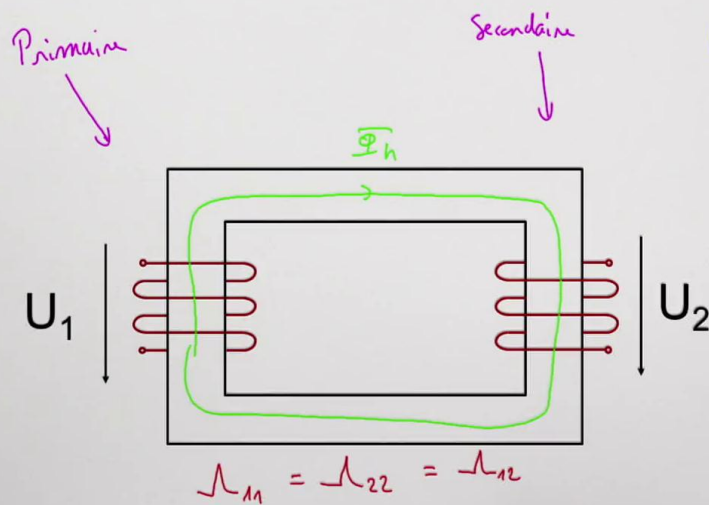
Normalement chacune des bobines qui crée un flux va aussi créer des fuites. Mais comme je l'ai dit avant, on va faire des hypothèses. Alors quelles sont-elles ? Tout d'abord, première hypothèse : on dit que la perméabilité du fer est infinie. On va dire "ça c'est pas très nouveau", "on l'a déjà fait", c'est pas vraiment une de ces hypothèses drastiques dont je parlais avant. Deuxième hypothèse : les flux de fuite  $\Phi_{\sigma 1}$  et  $\Phi_{\sigma 2}$  sont supposé égaux à zéro. Ça, c'est déjà assez drastique comme hypothèse. La troisième est encore pire, si j'ose dire. Nous allons dire que  $R_1$  et  $R_2$ , les résistances des deux bobines concernées, on dit qu'elles sont négligeables et égales à zéro. Alors ça, ça va assez loin, mais vous verrez que ça nous permet, justement, de simplifier grandement les équations, par la suite. Et que même si on fait ces simplifications on va apprendre quelque chose. C'est ça aussi l'important. Qu'est-ce qu'on peut dire de ce schéma du point de vue magnétique, du point de vue des inductances, ou plutôt du point de vue des perméances ? Et bien on sait que la perméance propre, vu de la première bobine et bien c'est la même que la perméance propre vu de la deuxième bobine, puisqu'elle voit le même circuit magnétique, et comme tout le flux de 1 va dans 2 et vice-versa, c'est aussi égale à la perméance propre mutuelle.

Notes

Summary



1m 27s



Hypothèses :

- $\mu_{\text{fer}} = \infty$
- $\Phi_{r1}, \Phi_{r2} = 0$
- $R_1, R_2 = 0$

$$u_1 = \cancel{R_1} i_1 + \frac{d\psi_1}{dt}$$

$$u_2 = \cancel{R_2} i_2 + \frac{d\psi_2}{dt}$$

On va définir un certain nombre de choses, là, on parle de Bobine 1 de Bobine 2. Et bien quand on parle de transformateur, on va donner un autre nom à ce Bobine 1 et Bobine 2, on va appeler ça la partie primaire, et la partie, ici, évidemment, secondaire. Donc dans un transformateur, on a un primaire et on a un secondaire : normalement une entrée et une sortie. Qu'est-ce qu'on peut encore dire ? Et bien posons les équations de tension induite : on a  $U_1 = R_1 i_1 + (d\psi_1/dt)$ . Même chose dans la bobine 2 :  $U_2 = R_2 i_2 + (d\psi_2/dt)$ . Mais, maintenant qu'on a dit, que à la fois  $R_1$  et à la fois  $R_2$  étaient nuls, ces deux termes disparaissent et vont donc grandement simplifier les équations.

Notes

Summary



$$\begin{aligned}\psi_1 &= N_1 \cdot \Phi_1 = N_1 \cdot \Phi_h \\ \psi_2 &= N_2 \cdot \Phi_2 = N_2 \cdot \Phi_h \\ \frac{U_1}{U_2} &= \frac{N_1 \cdot \frac{d\Phi_h}{dt}}{N_2 \cdot \frac{d\Phi_h}{dt}} = \frac{N_1}{N_2}\end{aligned}$$

non continu !

Écrivons maintenant ce que sont les flux totalisés 1 et 2 pour essayer d'avancer. Donc  $\Psi_1 = N_1 \Phi_1 = N_1 \Phi_h$  On l'a défini comme ça ce flux qui passe à travers les deux bobines.  $\Psi_2 = N_2 \Phi_2 = N_2 \Phi_h$   $\Phi_h$  : flux principal. Si on fait le rapport, maintenant, entre  $U_1$  et  $U_2$ , Qu'est-ce qu'on obtient ? Le rapport entre  $U_1$  et  $U_2$  donc : tension du primaire sur tension du secondaire, je remplace  $U_1$  par l'équation de tension induite qu'on avait trouvé avant, c'est  $N_1 (d\Phi_h / dt) / N_2 (d\Phi_h / dt)$ . Alors pour autant que  $\Phi_h$  soit non continu. C'est important. Et bien on a  $(d\Phi_h / dt)$  et  $(d\Phi_h / dt)$  qui disparaissent. Et on voit que le rapport des tensions entre  $U_1$  et  $U_2$  c'est le rapport du nombre de spires entre le primaire et le secondaire. Autrement dit, on a là un moyen, avec les hypothèses qu'on a donné au départ. On voit d'avoir une tension au secondaire, soit identique au primaire, à ce moment-là  $N_1$  et  $N_2$  doivent être égales, soit double, soit triple, soit la diviser par 2. Bref, on peut adapter un système avec les tensions pour permettre de modifier la tension de sortie du secondaire. Alors qu'en est-il du courant ? Parce que là, on a parlé tension, on va évidemment évoquer après le principe de la puissance.

Notes

Summary



4m 03s

$$\psi_1 = N_1 \cdot \Phi_1 = N_1 \cdot \Phi_h$$

$$\psi_2 = N_2 \cdot \Phi_2 = N_2 \cdot \Phi_h$$

$$\frac{u_1}{u_2} = \frac{N_1 \cdot \frac{d\Phi_h}{dt}}{N_2 \cdot \frac{d\Phi_h}{dt}} = \frac{N_1}{N_2}$$

non continue!

$$\oint H dl = \sum N \cdot i = 0$$

$= 0$

$$H = \frac{B}{\mu_{\infty}}$$

$$N_1 \cdot i_1 - N_2 \cdot i_2 = 0$$

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

Puisque c'est pour ça qu'on va essayer de voir quel est le courant si on a une tension qui augmente. Qu'en sera-t-il du courant ? Alors pour ceci on a la loi d'Ampère qui nous dit que la somme des  $Hdl$  c'est la somme des  $Ni$ , la somme des potentiels. Mais ici, la somme des potentiels  $Ni$ , si on a un système à gauche et à droite avec, quel que soit les bobines qu'on a, va être égale à zéro. Mais pourquoi c'est égale à zéro ? Ça c'est assez bizarre. Et bien parce que ceci est un potentiel dans le fer. On a la somme des  $Hdl$  qui est là. Hors,  $H = (B / \mu)$  mais, je vous rappelle que  $\mu$  est infini parce qu'on a dit que le  $\mu$  du fer était infini donc  $H = 0$  en tous points. Donc cette équation qui est ici fait que forcément le résultat est égal à zéro dans cette somme sur le pourtour du transformateur. Donc la somme des  $Ni$  entre les deux bobines doit être égale à zéro. Ce qui veut dire que "somme des  $Ni$ " ça veut dire :  $N_1 \cdot i_1 - N_2 \cdot i_2 = 0$ , d'où le résultat assez simple :  $i_1 / i_2 = N_2 / N_1$ . Donc c'est le contraire, on voit :  $U_1 / U_2 = N_1 / N_2$   $i_1 / i_2 = N_2 / N_1$ . Et évidemment, vous comprenez qu'on a une conservation de la puissance, dans cette histoire, la puissance en entrée  $P_1$  est égal à la puissance en sortie  $P_2$ .

Notes

Summary



6m 01s

$$\psi_1 = N_1 \cdot \Phi_1 = N_1 \cdot \Phi_n$$

$$\psi_2 = N_2 \cdot \Phi_2 = N_2 \cdot \Phi_n$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1 \cdot \frac{d\Phi_n}{dt}}{N_2 \cdot \frac{d\Phi_n}{dt}} = \frac{N_1}{N_2}$$

non continue!

$$\oint H dl = \sum N \cdot i = 0$$

$$H = \frac{B}{\mu_{r\infty}}$$

$$N_1 \cdot i_1 - N_2 \cdot i_2 = 0$$

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

On a  $U \cdot i$  qui est conservé. Mais ça c'est pas une surprise, mais donc on peut élever la tension du secondaire, ou la baisser. Et en conséquence l'inverse se produira pour le courant.

Notes

Summary





Cas Sinusoïdal :

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

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$Z_2 = \frac{U_2}{I_2}$$

$$Z_1 = \frac{U_1}{I_1} = \frac{U_2 \cdot \frac{N_1}{N_2}}{I_2 \cdot \frac{N_2}{N_1}} = Z_2 \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2$$

Dans un transformateur, en général, on travaille avec des grandeurs sinusoïdales. Tout simplement parce que c'est le régime sinusoïdal monophasé ou triphasé que nous avons à la maison ou dans les entreprises, dans notre société. Donc on va voir ce qui se passe dans le cas sinusoïdal. Donc, je peux écrire que  $U_1$  souligné, donc le phaseur, et  $U_2$ , et ben le rapport c'est aussi  $N_1 / N_2$ . Je peux dire aussi, comme je l'ai découvert avant, que  $i_2 / i_1$  donc là j'ai fait  $U_1 / U_2$ , là je fais  $i_2 / i_1$  c'est aussi  $N_1 / N_2$ . Alors, j'aimerais tu peux voir ce qu'il en est maintenant. Donc là, on le sait, on le voit bien. Qu'est-ce qu'on peut dire d'une impédance, parce que maintenant on a une impédance peut-être au primaire, on a une impédance en secondaire, comment on a ce lien vu de l'un par rapport à l'autre ? Alors ce qu'on peut dire c'est que  $Z_2 = U_2 / i_2$ .  $Z_1 = U_1 / i_1$  Mais c'est aussi alors  $U_2$ , deux parce que  $U_1 = U_2 * (N_1 / N_2)$  et puis  $i_1 = i_2 * (N_2 / N_1)$ . Et on obtient que  $Z_1 = Z_2 * (N_1 / N_2)^2$ . Ça veut dire quoi ceci ? Ça veut dire qu'il y a un lien, quand une impédance se trouve au secondaire, elle influence le primaire de cette manière. Elle est vue du secondaire de cette manière.

Notes

Summary



7m 56s



Cas Sinusoidal :

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

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$Z_2 = \frac{U_2}{I_2}$$

$$Z_1 = \frac{U_1}{I_1} = \frac{U_2 \frac{N_1}{N_2}}{I_2 \frac{N_2}{N_1}} = Z_2 \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2$$

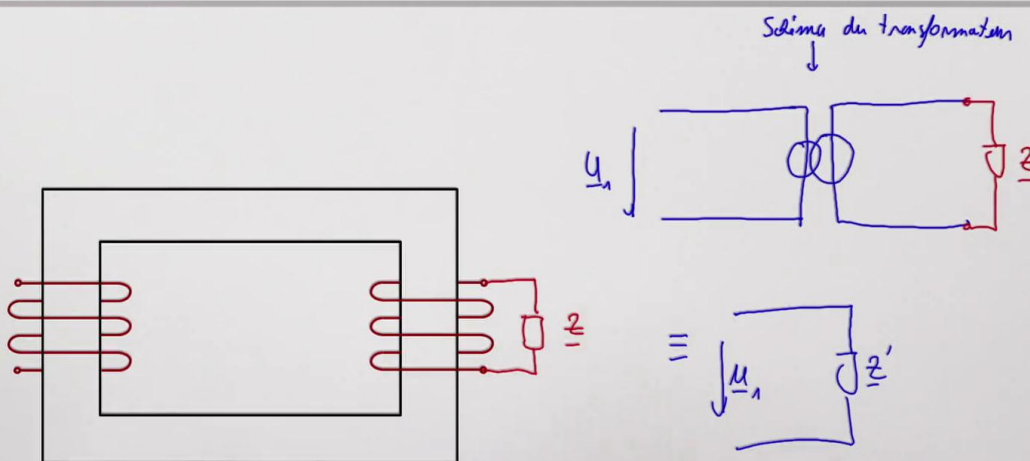
Donc une tension, c'est le rapport des nombres de spires, le courant, le rapport inverse du nombre de spires, et l'impédance le rapport du nombre de spires au carré. Donc voilà des éléments très intéressants et très importants qui vont nous permettre d'avancer dans la modélisation, plus tard, du transformateur réel.

Notes

Summary



9m 57s

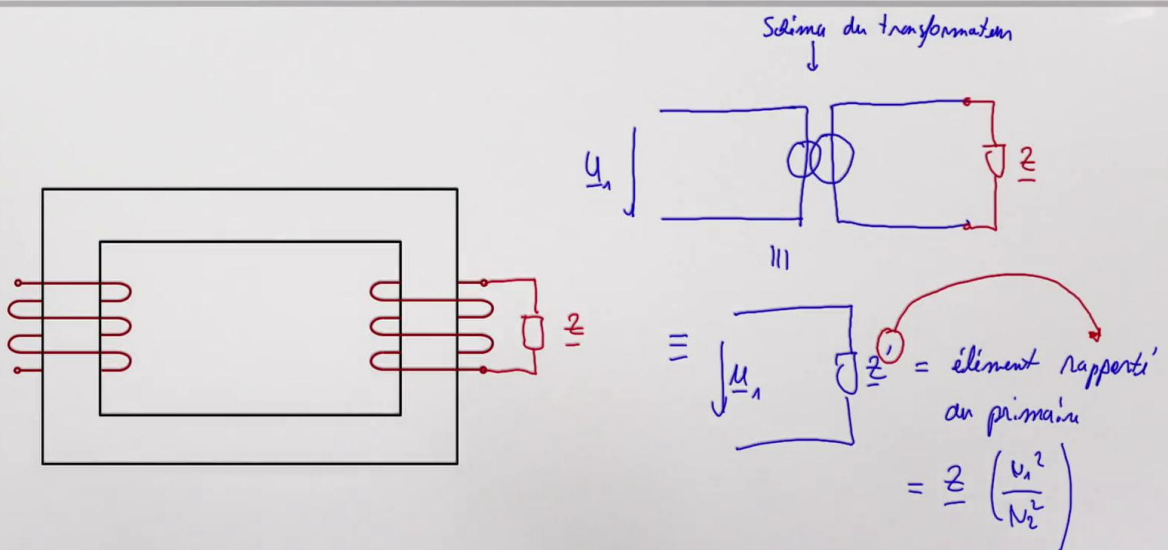


Allons un tout petit peu plus loin et imaginons qu'ici sur le secondaire, j'aie une résistance, ou une impédance, on va mettre peut-être une impédance, de manière plus générale. Si j'essaie de modéliser ce transformateur qui est schématisé ici, dessiné ici : évidemment, électriquement, ou galvaniquement, comme on dit, on a ici une tension  $U_1$  avec une bobine. Et voilà le schéma qu'on a inventé pour faire ce lien entre primaire et secondaire,  $U_1$  et  $U_2$ , on invente ici le schéma du transformateur. C'est pour dire qu'il n'y a pas de lien galvanique, autrement dit il n'y a pas de contact électrique entre Bobine 1 et Bobine 2, mais il y a un lien magnétique puisque, un influence l'autre et vice-versa. Alors maintenant imaginons, que là, au secondaire, je mette une impédance  $Z$ , qui est ici. Et puis j'essaie de me dire : "Comment résoudre ce problème ?". Parce qu'ici il va y avoir un courant dans le secondaire. Comment cette impédance  $Z$  influence, maintenant, mon primaire  $U_1$  ? Et bien en fait grâce à ce que nous avons écrit avant, on peut dire que : si j'ai  $U_1$  qui est toujours ici, j'ai un nouvel élément ici,  $Z'$ . Ce  $Z'$  qui est équivalent au schéma d'ici dessus, si vous voulez, c'est l'impédance  $Z$  rouge ici que nous avons rapporté au primaire.

Notes

Summary





Donc ça c'est  $Z'$ , c'est l'élément, on va dire, rapporté au primaire. Cet élément rapporté au primaire vaut :  $Z (N_1^2 / N_2^2)$ . Et pour montrer que cet élément  $Z$ , il a été rapporté au primaire, on a mis ce "prime" ici qui signifie "rapporté au primaire". On peut ainsi prendre des éléments qui sont placés dans un secondaire, les inclure au primaire pour un schéma électrique, et résoudre très facilement, maintenant, les équations de l'électrotechnique qui nous permettent de dire quel est le courant qui circule à travers  $Z'$ . Voilà déjà une première illustration.

Notes

Summary



12m 19s

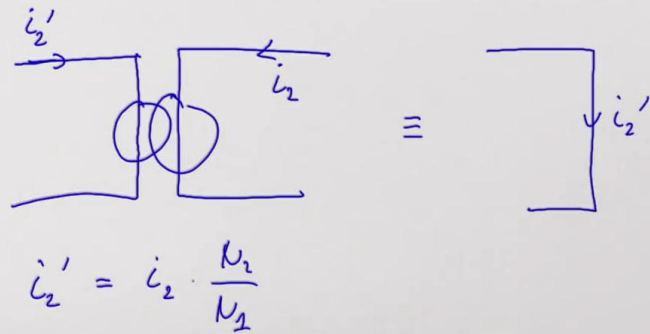
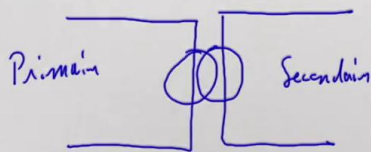


Schéma du transformateur idéal



$\frac{N_1}{N_2} = U$  rapport de transformation

Évidemment, on peut imaginer de faire quelque chose d'identique avec le courant. Donc on peut avoir par exemple un schéma, je reprends un schéma d'un transformateur. Voilà. J'ai par exemple ici un courant  $i_2$  dans le secondaire. J'aimerais savoir, vu du primaire comment voit le primaire ce courant  $i_2$  ? Et bien, je peux dire, qu'il y a ici un courant  $i_2'$  qui est ce courant  $i_2$ , mais vu du primaire. Autrement dit rapporté au primaire. Et ce courant  $i_2'$  sera égal à  $i_2 (N_2 / N_1)$ . Ce qui me permet, après, de dire qu'il y aura juste un seul fil avec ce courant  $i_2'$  qui symbolise le secondaire et ce qu'il se passe dans ce secondaire. Alors vous voyez que ce  $N_2 / N_1$  ou ce  $N_1 / N_2$  est extrêmement important, il intervient, on voit bien dans ce schéma simplificateur schéma du transformateur idéal. On va peut-être résumé ici le schéma du transformateur idéal, qui n'est autre que ce dessin. Avec le primaire, le secondaire, et ce rapport entre le nombre de spires 1 et le nombre de spires 2 que l'on va appeler  $U$ , et qu'on appelle le rapport de transformation. Donc voilà, on a trouvé un moyen. C'est vrai c'était un transformateur idéal il ne correspond pas à la réalité, on a fait beaucoup d'hypothèses.

Notes

Summary



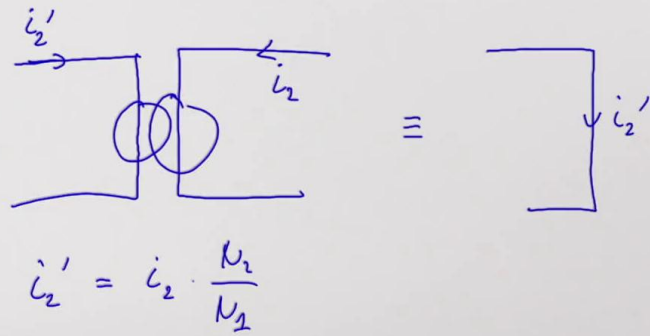
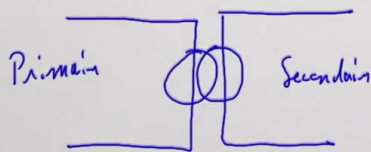


Schéma du transformateur idéal



$$\frac{N_1}{N_2} = k \text{ rapport de transformation}$$

Mais grâce à ce schéma, on peut maintenant prendre des éléments qui sont au secondaire et les rapporter au primaire avec les quelques règles simples que nous avons vu précédemment, liées aux rapports de transformation. On va voir dans une autre leçon, lors de l'étude du transformateur réel, comment on va pouvoir utiliser cette idée de rapporter les éléments du secondaire au primaire pour résoudre le problème.

Notes

Summary



15m 21s



- Définition du transformateur idéal
- Hypothèses du transformateur idéal
- Notion l'élément au secondaire «vu» du primaire
- Notion d'élément rapporté au primaire
- Définition du rapport de transformation

On a vu ici la définition de ce qu'est un transformateur idéal, quelles hypothèses assez importantes nous avons dû faire pour y arriver, la notion d'éléments au secondaire vu du primaire, et surtout cette notion de comment on rapporte un élément du secondaire au primaire. Ce qui va nous permettre de simplifier grandement les choses plus tard. Et on a défini, ensemble, ce fameux rapport de transformation  $\tilde{U}$ , qui nous permet de définir le rapport entre tension primaire/secondaire, courant primaire/secondaire, ou encore une impédance vu du secondaire au primaire. Merci.

Notes

Summary



15m 49s