

1- Courant d'appel d'un transformateur:

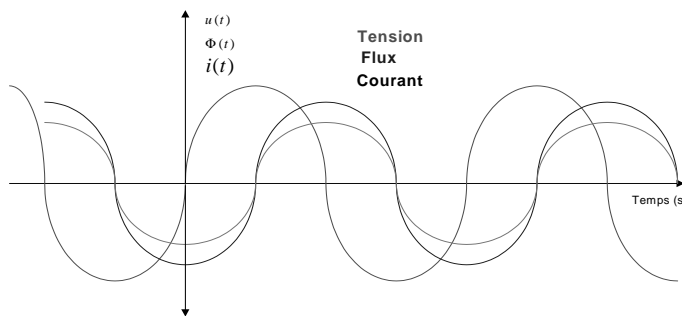
A la mise sous tension d'un transformateur en courant alternatif, il y a un sur-courant appelé « courant d'enclenchement » ou « inrush current ». Ce phénomène est analogue au courant d'appel créé par un moteur ou un étage capacitif lors du branchement au réseau. Bien que dans le cas du transformateur, ce courant est causé par un autre phénomène.

a- Analyse des grandeurs électriques d'un transformateur :

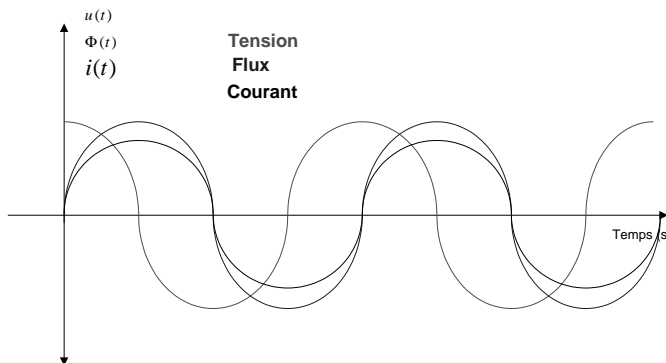
On a vu précédemment que la variation du flux instantané dans un transformateur est proportionnelle à la chute de tension dans le circuit primaire. Or on sait que la tension est la dérivée du flux dans le temps

et le flux est l'intégral de tension : $u(t) = \frac{d\Phi(t)}{dt}$ et $\Phi(t) = \int u(t)dt$

Le flux est proportionnel à la force électromotrice **fem**. De plus la fem est proportionnelle au courant magnétisant. Ainsi le courant et le flux sont en phase et les deux sont décalés de 90° par rapport à la tension.

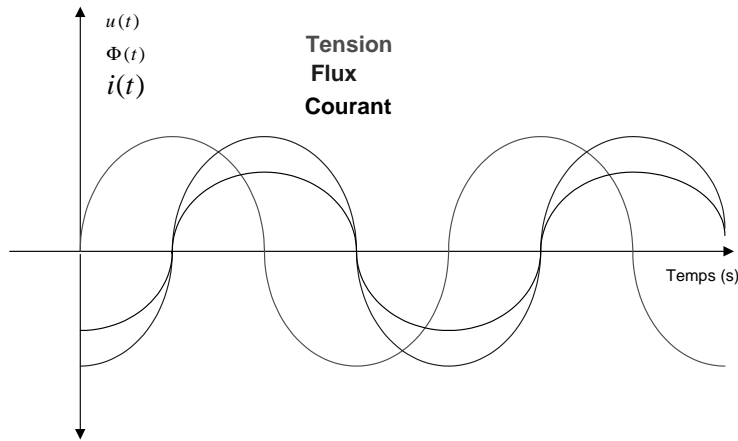


Supposant que I_m est la valeur maximale positive. Pour que le transformateur crée une chute de tension qui s'oppose à la tension appliquée, il doit créer un flux magnétique qui se progresse rapidement. Le résultat est que le courant magnétisant augmente aussi si rapidement. On parle du fonctionnement nominal.

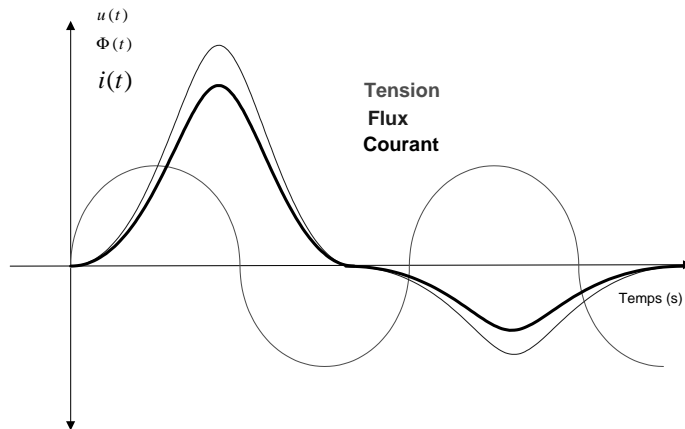


Le flux et le courant partent en même temps du point zéro et atteignent leurs valeurs maximales comme dans le fonctionnement nominal. Dans ce cas il n'y a pas de pointe du courant.

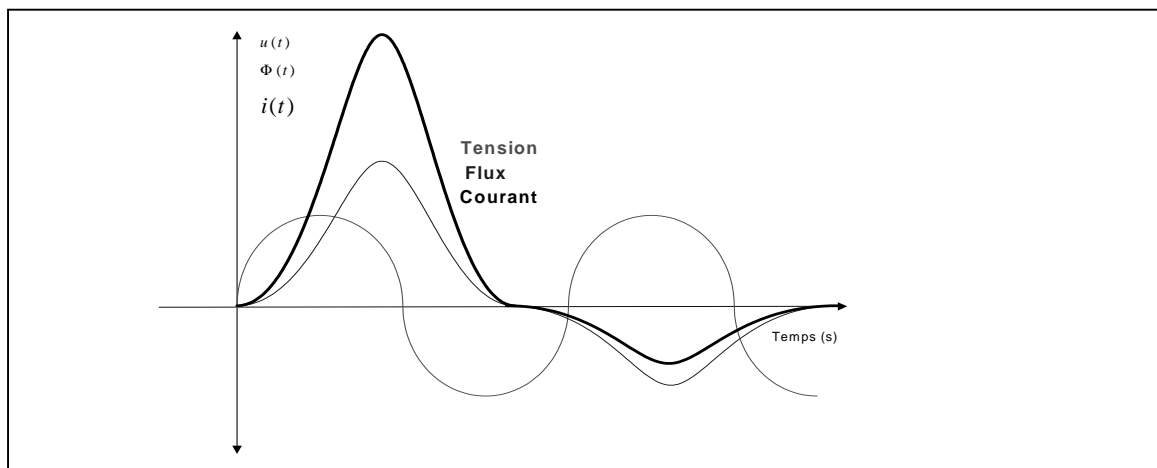
Maintenant, on va analyser le comportement des grandeurs précédentes dans le cas où, au moment de la mise sous tension, la tension passe par zéro. Puisqu'il y a un décalage de 90° par rapport à la tension, le flux et le courant sont initialement à leurs valeurs maximales négatives et progressent pour atteindre les valeurs crêtes positives au fur et à mesure que la tension appliquée progresse.



En réalité c'est pas tout à fait le fonctionnement en régime dynamique réel, car dans ce cas là , à la mise sous tension passant par zéro, le flux et le courant doivent partir aussi de zéro vers leurs valeurs crêtes quoique ce soit la valeur de la tension au moment de l'enclenchement. Ainsi, au fur et mesure que la tension augmente, le flux et le courant augment aussi de zéro à la valeur maximale et non plus d'une valeur négative à la valeur crête positive comme en régime nominal. De ce fait, à la mise sous tension d'un transformateur avec un corps démagnétisé, le flux sera environ deux fois le flux nominal et idem pour le courant.

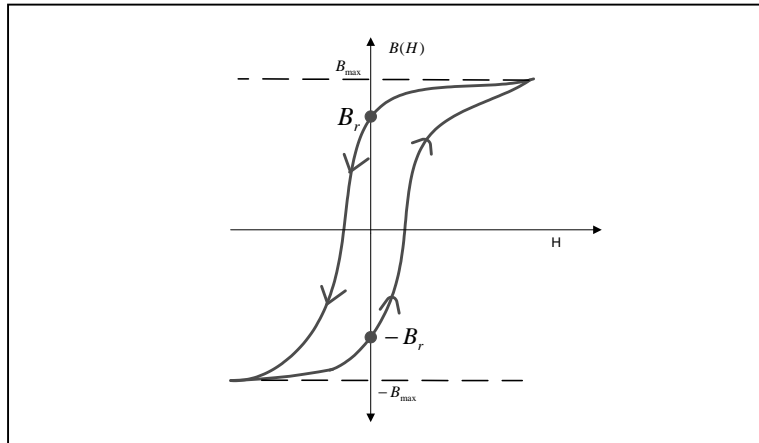


Alors pour un transformateur idéal, le courant magnétisant peut s'élever jusqu'à une valeur deux fois plus grande que celle nominale. Pourtant, les transformateurs réels ne sont pas fabriqués avec un écart entre le flux nominal et leurs limites de saturation pour éviter la saturation du corps dans ces conditions. Il en résulte que le ce dernier sera largement saturé durant le 1^{er} cycle de tension. Dans ce cas la le courant d'enclenchement pourrait atteindre des valeurs supérieures à deux fois le courant nominal.



Ce la est le mécanisme décrivant et expliquant comment, à la mise sous tension d'un transformateur, un pic du courant d'enclenchement se produit et pourrait être énorme. Il est claire qu'il dépend aussi du moment de la mise sous tension.

En réalité , certains transformateurs peuvent garder une certaine énergie dans leurs corps magnétique même hors tension. Ce la est dû à ce que l'on appel « flux rémanent » ou « inductance rémanente » comme on voit dans la courbe d'hystérésis suivante :



Lorsque le champs magnétique H augmente, l'induction B augmente aussi jusqu'à sa valeur maximale.

C'est l'induction de saturation B_{sat} .

On appel l'induction rémanente B_r , l'induction à champs H nul.

Le cycle d'hystérésis d'un transformateur dépend, pour un même matériau, de :

- La température : B_{sat} décroît avec la température pour qu'elle s'annule à une température de **Curie**.
- De la fréquence avec lequel le cycle est décrit.
- Des traitements que subit le matériau magnétique.

L'induction magnétique B est proportionnel au flux magnétique : $B = \mu_0(H + M)$

$\Phi = B.A$ avec μ_0 la perméabilité magnétique, M est l'aimantation et A est la surface perpendiculaire au flux en m².

En régime permanent, l'induction magnétique B varie entre $-B_n$ et $+B_n$.lorsque la tension passe par

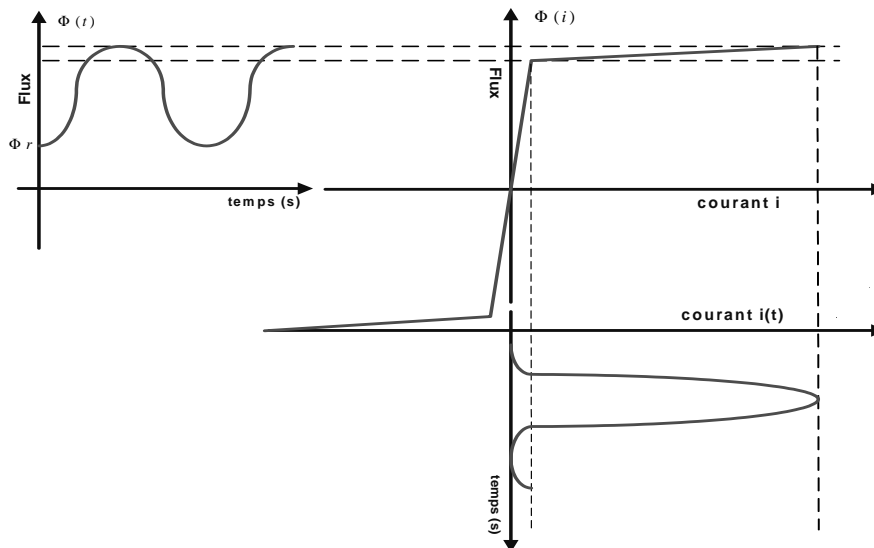
zéro, B se trouve à son maximum ou minimum pendant une demi-période, et elle varie donc de $2B_n$. Lors de la mise sous tension au passage par zéro, l'induction B est nulle ou provient d'une induction

rémanente B_r . Après une demi-période, l'induction magnétique maximale vaut :

$$B_{\max} = B_r + 2B_n > B_n$$

A ce niveau là, la saturation du noyau a lieu. D'où : $\Phi_{\max} = \int B_{\max} .dA = \Phi_r + 2\Phi_n$

Et le courant maximal sera : $I_{\max} = I_0 + 2I_n$ avec I_0 le courant résultant de la présence du flux rémanent.



Conclusion :

Dans des conditions particulièrement défavorables, surtout lors d'un démarrage à vide, flux rémanent important, et enclenchement au zéro de tension avec une première alternance de flux de même signe que le flux rémanent, on pourrait atteindre rapidement une saturation remarquée du noyau magnétique, l'enroulement crée un flux trois fois plus grand que le flux nominal. Du fait de cette saturation, l'inductance du circuit magnétique chute de manière importante, et se rapproche du comportement d'une bobine à l'air (flux de fuite important), le courant résultant dans l'enroulement d'un transformateur à la mise sous tension peut alors atteindre des valeurs de crête jusqu'à une dizaine de fois la crête du courant nominal avec une forme du courant très déformée du fait du phénomène de saturation. Le courant s'amortie ainsi avec une constante du temps ($\tau = \frac{L}{R}$) propre à chaque transformateur, liée à ces caractéristiques magnétique et de flux de fuite. Elle est de l'ordre de quelques millisecondes.

Dans certaines installations où les paramètres des transformateurs sont très importants (transformateur de puissance sur les réseaux électriques), la connaissance du courant d'appel ou d'enclenchement est nécessaire pour le dimensionnement de la protection contre les court-circuits placée au primaire du transformateur.