



ÉCOLE
POLYTECHNIQUE
DE BRUXELLES

UNIVERSITÉ LIBRE DE BRUXELLES

ELEC-H-300

Rapport de laboratoire

Terence BLESIN

Youssef DOULFOUKAR

Nicolas ENGLEBERT

26 octobre 2015

Chapitre 1

ELDA

1.1 Première manipulation

1.1.1 Montage expérimental

Chapitre 2

TFO

2.1 Couplages

Réaliser un couplage $Yd11$. Que représente cette notation ? Quels problèmes liés à l'observation de l'étoile des tensions va se présenter ? Relier les bobines de manière à réaliser l'indice horaire et la vérifier en pratique.

Considérons le schéma le plus basique du transformateur. Si le fer est parfait, tout le flux reste confiné à l'intérieur de celui-ci. Les tensions sont dès lors égales, au nombre de spires près

$$V_1 = N_1 \frac{d\phi}{dt}, \quad V_2 = N_2 \frac{d\phi}{dt}. \quad (2.1)$$

On s'intéresse ici à l'indice horaire suivant : $Yd11$. Pour rappel, nous travaillons ici avec un système triphasé : le Y signifie que la disposition du primaire est en étoile alors que le secondaire est disposé en triangle :

Inclure schéma de l'énoncé complété

Les deux dispositions, celle du primaire et du secondaire, vont être "assemblées" de sorte que V_{ab} soit en phase avec V_a , V_{bc} avec V_B et V_{ca} avec V_C . Notons que chaque bobine capte la même tension, car chacune des bobines est connectée à l'autre.

Représentons maintenant le diagramme des phaseurs V_A , V_B et V_C . Comme on sait que V_{ab} est en phase avec V_A , il faut tracer une droite parallèle à V_A . En suivant le même raisonnement pour V_{bc} et V_{ca} , on obtient un "nouveau" triangle de sommets a , b et c . Il faut ensuite relier chacun de ces sommets par une flèche partant de l'origine. Si les échelles sont respectées, l'angle entre a et A est de -30° , correspondant bien à 11h.

Inclure schéma final

En pratique, il est difficile de déterminer l'indice horaire avant de câbler : on commencera donc par câbler puis en on déduira l'indice horaire.

Pour se faciliter la tâche, il serait bénéfique d'obtenir un point neutre pour notre secondaire, comme c'est le cas pour le primaire. Il est possible d'obtenir un point neutre *virtuel* (100% mathématique) en disposant des résistances, identiques de la façon suivante, pour le peu que celles-ci ne déforment pas tout :

Inclure schéma R

On aura ainsi créer un point neutre virtuel. Le câblage étant réalisé¹, le PC nous montre bien le Yd11.

2.2 Paramètres de transformateur

Décrire, grâce à deux essais, comment calculer les paramètres d'un transformateur triphasé afin de pouvoir représenter son équivalent monophasé dont le secondaire est ramené au primaire.

On va ici tenter une modélisation des imperfections du transformateur. La première chose à faire est de se débarrasser du couple de magnétisation en ramenant le secondaire au primaire, en multipliant la tension du secondaire par le rapport de transformation

Image ou deux bobines => ramené

Il faut maintenant modéliser les différentes pertes possibles :

- Pertes d'hystérèses et courant de Foucault : R_p .
- Imperfection du fer ; relation $I - \phi$ non linéaire : X_m car courant magnétisant
- Pertes par effet Joule : R_1 et $\mu^2 R_2$
- Flux de dispersion X_1 et $\mu^2 X_2$

Si l'on représente le flux magnétisant et le courant magnétisant sur le même graphique en fonction du temps, on se rend compte que le flux est en avance sur le courant de $\pi/2$: X_m sera modélisé par une bobine.

Inclure schéma avec ordre de grandeur

En pratique, on utilise les *per unit*. Il s'agit d'une normalisation de la grandeur afin de pouvoir les comparer (indispensable pour comparer des puissances). Par exemple, si l'on possède un $I_{nominal} = 5A$, on divisera chacune mesure par 5A pour l'exprimer en *pu*. On peut également calculer $Z_b = V_b / I_b$.

Le premier test à réaliser est de faire un *court-circuit à droite*. En faisant ça, on remarque que l'impédance des pertes est beaucoup plus importante que celles dans l'entrefer : on peut négliger le courant magnétisant et prendre la mesure de $|Z|$. Si en plus on mesure le déphasage ϕ entre la tension et le courant, on peut tout retrouver grace aux relations suivantes :

$$\Re(Z) = R_1, \quad \Im(Z) = X_1 \quad (2.2)$$

Le second test à réaliser est cette fois en *circuit ouvert à droite*. Cette fois-ci, c'est l'impédance de l'entrefer qui est beaucoup plus élevée que celles des pertes et je peux mesurer celle-ci. Comme vu au cours, on fait l'hypothèse que $R_1 \approx \mu^2 R_2$ et $X_1 \approx \mu^2 X_2$.

Donner le schéma de câblage et décrire les manœuvres permettant de réaliser l'essai.

1. Diagramme ?

Schéma de câblage ?

Quels sont les grandeurs à surveiller durant cet essai.

Pour le court-circuit, il est important de monitorer le courant, afin de ne pas griller les circuits ! Ceci n'est pas important dans le second cas² (circuit ouvert).

Indiquez les résultats et calculs de cet essai.

Il faut considérer les courants, tensions et puissances moyennes (on est en circuit triphasé, ne l'oublions pas !) On obtient :

$$\bar{I} := 5.30 \text{ A} \qquad \bar{V} = 6.21 \text{ V}, \qquad \bar{W} = 27.09 \text{ W}. \qquad (2.3)$$

On peut dès lors calculer le $\cos \phi$:

$$\bar{P} = \bar{V}\bar{I} \cos \phi \Rightarrow \cos \phi = 0.82 \qquad (2.4)$$

2.3 Saturation

Qu'est ce que le phénomène de saturation d'un cœur ferromagnétique ? Comment se manifeste-t-il ? Comment l'observer ?

Le matériau magnétique d'un transformateur est constitué de fer (en tôles) ou de ferrite. Ce sont des aimants microscopiques qui sont, à priori, orientés dans n'importe quelle direction (aucune direction privilégiée). Les aimantations de chaque aimant microscopique se compensent donc globalement. Lorsque ce matériau est soumis à un champ magnétique croissant, les aimants vont s'orienter progressivement selon ce champ. L'aimantation globale tendra à suivre le champ appliqué. Si on continue d'augmenter le champ magnétique extérieur, il arrive un moment où tous les aimants sont orientés selon le champ et ne peuvent donc plus faire augmenter l'aimantation globale du matériau. L'aimantation globale n'est plus proportionnelle au champ magnétique extérieur : c'est la saturation magnétique.

On peut observer un tel effet en imposant une tension importante au primaire puis en continuant d'augmenter celle-ci.

Donner le schéma de câblage et décrire les manœuvres permettant de réaliser l'essai.

Schéma de câblage

Le transformateur du laboratoire est dimensionné pour que les bobines puissent recevoir 400V. Pour rendre la saturation pleinement visible, on peut utiliser la seconde encoche permettant de n'utiliser que 90% des bobines, et non l'entièreté. De cette façon, si l'on applique à nouveau 400V, on sera beaucoup plus loin dans la courbe de saturation.

2. Justif ?

On cherche à obtenir une courbe de $\phi \sim v$ en fonction du courant nominal. Pour obtenir une telle courbe, on augmente petit à petit la tension et on mesure le courant de magnétisation. Pour mesurer le courant de magnétisation, il faut mettre le secondaire à vide.

Quelles sont les grandeurs à surveiller durant cet essai ?

Comme précédemment, nous sommes dans le cas d'un circuit ouvert, à vide. Il ne faut donc pas surveiller de grandeurs ici.

Donner la courbe de saturation du transformateur ainsi que l'allure temporelle de i .

Inclure graphe Badr-Ali

Notons que la pente de cette courbe vaudra toujours, au minimum, μ_0 .

2.4 Enclenchement

Quel phénomène apparaît lors d'un enclenchement de la tension sur un transformateur ?

On sait que la tension peut être donnée par $v = \frac{d\phi}{dt}$. Dès lors, on a

$$\phi = \int v dt \quad (2.5)$$

Deux situations peuvent se produire :

- Si on enclenche au moment où la tension est à son maximum, le flux est directement en régime.
- Si on enclenche au moment où la tension est à son minimum, il y a un risque de surintensité.

On peut justifier ceci mathématiquement (cf. cours). Une autre façon de voir est de regarder l'aire sous la courbe de v , représentant le flux. On remarque que l'aire sous la courbe de v si on enclenche à un minimum est deux fois plus grande que dans l'autre cas : le flux est dès lors deux fois plus grand et le risque de saturation est bien présent.

Donner le schéma de câblage et décrire les manœuvres permettant de réaliser l'essai.

Schéma de câblage

Le souci se situe au niveau de l'enclenchement et donc au niveau du transitoire. Pour réaliser cet essai, il faudra connecter directement le transformateur au secteur et l'allumer rapidement. Cette fois-ci encore, on cherche à mesurer le courant magnétisant : il faut placer le secondaire en court-circuit.

Donner une courbe représentative d'un enclenchement

Inclure graphe Badr-Ali

Si l'on enclenche au mauvais moment, on peut entendre un bruit : le flux trop important a déplacé les bobines. Heureusement c'est sans danger, ce n'est qu'un effet transitoire.