

Manipulation TFO1

Caractéristiques des transformateurs

1. Introduction

Le transformateur triphasé joue un rôle fondamental dans le transport et la distribution de l'énergie électrique. Les alternateurs des centrales sont triphasés et la tension qu'ils produisent est relativement basse (environ 20 kV). Si l'on veut transporter l'énergie électrique à un faible coût en réduisant les pertes dans le transport, il faut absolument élever la tension. Pour ce faire, on utilise des transformateurs triphasés éleveurs pour que la tension de transport de l'énergie électrique soit plus élevée (soit 110, 220, 400 kV). De même, les utilisateurs de l'énergie électrique désirent recevoir une tension qui puisse être utilisée par leurs appareils électriques. Comme la tension de transport de l'énergie électrique est trop élevée, il faut donc l'abaisser. On utilise alors des transformateurs triphasés abaisseurs de tension.

La manipulation a pour but de **déterminer l'ensemble des paramètres d'un transformateur** par le biais d'essais normalisés, **d'étudier les phénomènes liés à l'enclenchement de la tension sur un transformateur à vide et la saturation** de celui-ci.

2. Matériel mis à disposition

- un transformateur triphasé
- une alimentation triphasée alternative 110 V
- un pont de lampes ou un pont de résistances

3. L'interrogation portera sur :

Matière	Pages
Méthodes de mesure de puissance triphasée utilisant un, deux ou trois wattmètres (schéma de câblage, application).	1.24 – 1.28
Caractéristique de première aimantation du fer dans le plan B/H et liens entre les grandeurs électriques (V,I) et les grandeurs magnétiques (B,H) dans un transformateur	3.7 – 3.12
Problème de l'enclenchement du transformateur et explication physique du phénomène	3.13 – 3.14
Schéma équivalent du transformateur (et hypothèses) et signification physique des différents éléments	3.25 – 3.30

4. Manipulation

Généralités (20 minutes)

1. Donnez le schéma équivalent du transformateur. Expliquez ce que représente chacun des éléments de ce schéma. Quels sont les éléments présentant la plus grande impédance ?
2. Quels sont les deux essais qu'il faut réaliser pour déterminer tous ces paramètres ? Quelles hypothèses de calcul faut-il faire dans chaque cas ?
3. Donnez l'ordre de grandeur de chacun des éléments et déduisez-en l'ordre de grandeur des courants (par rapport au courant nominal) pour chacun des essais si la tension nominale est appliquée au stator.

Détermination des paramètres de magnétisation (40 minutes)

4. **Prédéterminations**

- Relevez les éléments de la plaque signalétique du transformateur (pour le primaire et le secondaire).
- Proposez un schéma de câblage pour mesurer les paramètres de la branche de magnétisation du transformateur.
- Réalisez votre câblage en choisissant de manière opportune les shunts à utiliser pour les mesures de courant et les câbles à utiliser (grâce à l'ordre de grandeur du courant que vous avez prédéterminé au point 2). Donnez une approximation du déphasage attendu entre courant et tension (ceci vous permettra de vérifier que vos mesures sont correctement prises).

5. **Essai**

Avant d'acquérir les mesures, veillez à choisir une méthode de mesure de puissance adaptée (en sachant que le transformateur n'est pas tout à fait équilibré). Vérifiez également que les déphasages entre tension et courant sont logiques. Pour ce faire, vous avez deux outils à votre disposition : le diagramme des phaseurs (vous pouvez zoomer sur les courants pour qu'ils soient plus lisibles) et les allures temporelles des courants et tensions dans chaque phase. Imprimez ces graphes une fois que vous êtes sûrs que les mesures sont correctement prises et acquérez vos mesures. N'oubliez pas de couper la tension. Remarque : le VI Labview ne peut pas encore calculer les paramètres du transformateur, il a besoin des 2 essais. Ceci vous permettra de vérifier vos calculs par après.

6. **Conclusion**

Calculez les paramètres de magnétisation de votre transformateur. Vous pouvez utiliser la moyenne des courants et la moyenne des tensions pour calculer les paramètres du modèle équivalent monophasé. Vous avez affaire à des éléments en parallèle : calculez de manière intelligente !

Détermination des paramètres de dispersion (40 minutes)

7. **Prédéterminations**

- Sélectionnez « essai en court-circuit »
- Signalez le problème que l'on risque de rencontrer pour la mesure des paramètres de dispersion du transformateur. Proposez un schéma de câblage pour mesurer ces paramètres qui en tienne compte.
- Réalisez le câblage en utilisant des câbles et des shunts adéquats (cet essai normalisé se réalise au courant nominal du transformateur).
- Résumez votre essai en précisant la position initiale des résistances.

8. **Essai**

Réalisez votre essai. De nouveau, vérifiez vos mesures grâce aux phaseurs et aux graphiques temporels avant d'acquérir vos mesures.

9. **Conclusion**

Calculez les paramètres de dispersion de votre transformateur. Vérifiez vos calculs grâce aux valeurs données par le VI Labview. De petites différences peuvent apparaître suite à la méthode de mesure de puissance choisie et au fait que le VI ne fait pas d'hypothèses de calcul simplificatrices. Vous ferez l'hypothèse que les paramètres de dispersion se répartissent équitablement entre primaire et secondaire : $r_1 = \mu^2 r_2$ et $x_1 = \mu^2 x_2$.

Caractéristique à vide et saturation (30 minutes)

10. **Prédéterminations**

- Précédemment, vous avez relevé le courant consommé à vide par un transformateur alimenté sous tension nominale. Nous allons maintenant étudier l'effet de la saturation sur l'allure temporelle du courant consommé par un transformateur ainsi que l'effet de la saturation sur la caractéristique à vide. Quelle grandeur faut-il augmenter au-dessus de sa valeur nominale pour faire saturer le transformateur ? Justifiez.
- Comment pourriez-vous faire en pratique ? Proposez un schéma de câblage.
- Réalisez votre câblage. Une seule mesure de courant est nécessaire. Choisissez le shunt adéquat en tenant compte de ce que vous connaissez déjà de votre transformateur et du fait que vous allez le faire saturer.
- Récapitulez votre essai pour relever la courbe de première aimantation jusqu'à 10V au-dessus de la tension nominale phase neutre. Jusqu'à quelle tension devez-vous donc monter ?

11. **Essai**

Faites votre essai. Commencez par prendre des points régulièrement pour le relevé de la courbe. Regardez l'allure du courant évoluer au fur et à mesure de votre essai. Lorsque vous êtes à la tension maximale, imprimez le graphique de l'allure du courant et celui donnant les harmoniques dans le signal.

12. **Conclusion**

Expliquez l'allure du courant grâce à la caractéristique de première aimantation. Donnez un moyen pour détecter la saturation d'un transformateur.

Etude du courant d'enclenchement (30 minutes)

13. **Prédéterminations et réflexions**

- a. Donnez l'allure du courant d'enclenchement d'un transformateur. Expliquez-la. Pourquoi le courant d'enclenchement n'est-il pas toujours le même ? De quoi cela dépend-il ?
- b. Proposez et réalisez le câblage nécessaire pour faire cet essai d'enclenchement. Etant donné que le courant peut être très grand et que l'on souhaite le mesurer, utilisez un shunt de 150A.

14. **Essai**

Réalisez votre essai. Vous pouvez le recommencer plusieurs fois pour constater les différences dans l'allure du courant. Imprimez un graphique représentant bien le phénomène.

Conclusions : la protection des transformateurs dans les réseaux (20 minutes)

15. Tous les appareils électriques présents dans le réseau sont protégés afin de couper la tension dès qu'un court-circuit est détecté. Dans le cas des transformateurs, ces protections sont généralement de type différentiel. En fonctionnement normal, la différence entre les courants entrant et sortant (en tenant compte du rapport de transformation) est très faible et correspond au courant magnétisant. Si le courant différentiel est en dessous d'un certain seuil (par exemple 5%), la protection conclut que le fonctionnement est sain, s'il est au dessus, elle conclut qu'il y a un défaut et déclenche le transformateur.

Cependant, lors de l'enclenchement d'un transformateur, le courant magnétisant peut devenir transitoirement très grand. La protection pourrait ainsi l'interpréter comme un courant de défaut. Hors ce phénomène n'est pas du tout dangereux pour le transformateur.

Que pourriez-vous ajouter comme condition dans l'algorithme de la protection pour qu'elle puisse faire la différence entre un courant de défaut et un courant d'enclenchement ?

Remarque : votre transformateur peut effectivement avoir un défaut lorsque vous l'enclenchez, assurez-vous que la solution que vous préconisez permette de déclencher le transformateur immédiatement dans ce cas.

16. La saturation peut également poser des problèmes puisque le courant magnétisant peut augmenter sensiblement, la protection risque d'interpréter cela comme un défaut, ce qui n'est pas le cas.

Que pourriez-vous ajouter dans l'algorithme de la protection pour éviter des déclenchements intempestifs lorsque de la saturation est détectée ?