

## Analyse du dysfonctionnement d'un transformateur de puissance 50 MVA.

Mpeye O.C.<sup>1\*</sup>, Bisungu N.B.<sup>1</sup>, Kyungu S.S.<sup>1</sup>, Ngoy M.Y.<sup>1</sup>

### Paper History

Received:

May 19, 2017

Revised:

September 5, 2017

Accepted:

November 15, 2017

Published:

July 27, 2018

### Keywords:

Resistance, Reactance, Voltage, Current, Power, Losses, No-load operation, Operating under load, Short-circuiting, Malfunction

### ABSTRACT

#### Analysis of the malfunction of a 50 MVA power transformer

In order to cope with the accelerated changes in a competitive market through the use of electric power, new challenges in terms of services offered are put in place by companies supplying electricity which seek ways to increase their productivity. Generation, transmission and distribution of electricity induce energy losses dissipated as heat.

At different levels, power transformers are used; one of its functions is to adapt voltage of a network to that of the users by reducing the current or by raising tension in order to ensure transport at reduced losses. The transformer being an indispensable element for the interconnection of the various electrical networks must be well studied and maintained in order to maintain the continuity of service at the substations.

Several studies have been conducted to understand how to test or evaluate the condition of a transformer. It is in this same line of thought that this work consists of carrying out tests in load and empty to determine losses which should not exceed certain values either; The void losses may vary in the range of 0.2 to 0.4% and the losses in load should be less than 1%. We have used a transformer of the National Electricity Company (SNEL) and have taken measurements to determine the losses, by calculation, unloading and load which were respectively 1.125% and 1.4%. We think, therefore on the basis of these values, a dysfunction and it is therefore necessary to see under which condition it can be used.

<sup>1</sup>Institut Supérieur des Techniques Appliquées, Lubumbashi, R.D. Congo

\* To whom correspondence should be addressed : [chrismpeye@gmail.com](mailto:chrismpeye@gmail.com)

### INTRODUCTION

Électricité, source d'énergie moderne contribue à l'évolution économique, sociale d'une ville, d'un pays, car d'une manière ou d'une autre elle s'introduit dans la vie quotidienne de l'homme.

Comme dans toutes les grandes villes de la République Démocratique du Congo (RDC), le besoin énergétique ne cesse d'augmenter suite à l'expansion démographique.

Le besoin en énergie n'est très souvent pas comblé suite à des difficultés d'ordre technique et financier que vit l'entreprise fournisseuse de cette dernière. La qualité médiocre de l'énergie ou son indisponibilité se fait très souvent sentir.

Les difficultés d'ordre technique sont de plusieurs formes. Ainsi l'un des cas est le dysfonctionnement du transformateur rencontré à la Société Nationale d'Électricité (SNEL)/Lubumbashi, précisément au niveau du répartiteur sud. Ce transformateur est en charge de la distribution de l'énergie aux abonnés industriels et domestiques.

Une étude, en choisissant ce cas réel, est menée en vue de proposer une piste de solution pouvant permettre l'usage du transformateur dans des conditions de fonctionnement normal.

### MÉTHODOLOGIE

Elle consiste d'abord à analyser l'état du transformateur en effectuant tous les essais, les calculs de mesure, en fonction des caractéristiques électriques de ce dernier [TENCON, 2013].

Ensuite, les résultats des calculs sont comparés, avec les normes pour un transformateur de puissance identique. Enfin, sur base des comparaisons, il s'agit d'en étudier les possibilités d'utilisation dans son état ou améliorer son état pour optimiser son fonctionnement.

### Usage d'un transformateur

Les transformateurs employés dans les réseaux électriques servent à diminuer les pertes d'énergie et les chutes de tensions. Le rendement de ce type d'équipement électrique est proche de 99% et sa maintenance n'est pas difficile. Comme un grand nombre de machines, la plaque signalétique renseigne sur les grandeurs nominales de la machine : la puissance apparente en voltampère (VA), la tension en volt (V) et le courant en ampère (A) et la fréquence en Hertz (Hz) [CHATELAIN, 1989].

En fonction de ces grandeurs, on peut déterminer d'autres paramètres qui ne sont pas marqués dans la plaque signalétique, mais qui sont aussi très importants car ils permettent d'évaluer l'état du transformateur. Parmi ces paramètres à déterminer, il y a le rendement nominal et les conditions nominales de température du milieu de refroidissement [BLANC, 1994].

Pour un rendement élevé du transformateur, on admet souvent que la puissance primaire est égale à la puissance secondaire. [KONSTENKO M. et PIOTROVSKI L., 1969 ; CHEVASSU, 2012].

C'est-à-dire,

$$I_{1,N} = \frac{S}{\sqrt{3}U_{1,N}} \quad (1)$$

$$I_{2N} = \frac{S_n}{\sqrt{3}U_{2N}} \quad (2)$$

Où :

- $I_{1N}$  et  $I_{2N}$  sont respectivement les intensités des courants nominaux au primaire et secondaire en A.
- $S_n$  : est la puissance nominale du transformateur en Mégawatt (MW);
- $U_{1N}$  et  $U_{2N}$  sont respectivement les tensions nominales au primaire et secondaire en Kilovolt (kV).

Mais, cette situation est très difficile à réaliser car les pertes existent toujours.

### Classification des pertes

Les pertes dans un transformateur sont subdivisées en 3 (trois), les pertes générales dans le fer et dans le cuivre, ainsi que les pertes supplémentaires. [CHEVASSU 2012]

Les pertes dans le fer sont responsables des chutes inductives et provoquent l'échauffement dans les organes de la machine dans lesquels le champ magnétique est variable.

Ils sont la résultante des pertes par hystérésis et des pertes par courant de Foucault, soit :

$$P_f = p_h + p_f \quad (3)$$

Avec :

$$P_f \cong p \left| \frac{1}{50} \right| \left( \frac{f}{50} \right)^\beta B^2 G_f \quad (4)$$

- $p_h$ : Pertes par hystérésis ;
- $p_f$ : Pertes par courant de Foucault ;
- $p_{1/50}$ : Perte spécifique pour  $B=1T$  et  $f=50Hz$ ;
- $f$ : Fréquence des cycles d'aimantation de l'acier en Hz;
- $\beta$ : Constante qui, en moyenne, vaut 1,5 pour les aciers faiblement alliés et compris entre 1,2 et 1,3 pour les aciers fortement alliés.
- $B$ : Induction mesurée en TESLA (T);
- $G_f$ : La masse en Kilogramme (kg).

Les pertes dans le cuivre sont des pertes causées par les enroulements du transformateur, elles sont données par la relation suivante :

$$P_{cu} = 3RI^2 \quad (5)$$

Où :

- $P_{cu}$ : Perte en cuivre en Mégawatt (MW).
- $R$ : La résistance à la température de fonctionnement en ohm ( $\Omega$ );
- $I$ : L'intensité du courant en A.

Ce type des pertes sont fonction de la charge. Pour une charge nominale, les pertes en cuivre valent, sur base de la relation 5 :

$$P_{cu} = 3RI_n^2 \quad (6)$$

### Pertes supplémentaires

En plus de ces deux types de pertes, il existe, dans un transformateur, d'autres types des pertes, dites pertes supplémentaires [CHEVASSU, 2012 ; CHATELAIN, 1989]:

- Pertes par courants de Foucault dues aux champs de dispersion dans les enroulements et dans les parties métalliques pleines de la machine ;
- Pertes superficielles dans le fer ;

- Pertes de puissance dans le diélectrique.

Les différentes pertes ont pour l'une des conséquences l'échauffement de la machine, et dans le cas d'un dysfonctionnement de la machine, l'échauffement peut s'avérer irrégulier [SANCHEZ, 2011]

Pour une charge constante, l'échauffement  $\theta$  prend une allure exponentielle, notée par la formule 7 :

$$\theta = T(1 - e^{-t/\tau}) \quad (7)$$

Où :

- $T$ : la température ;
- $\theta$ : l'échauffement ;
- $\tau$ : la constante de temps.

La chaleur dégagée dans une machine se partage entre la capacité thermique de la machine et le système de refroidissement.

### Observations

La plaque signalétique du transformateur 220/120kV 50MVA, du répartiteur sud de Lubumbashi, indique les caractéristiques reprises dans le **tableau 1** :

**Tableau 1| Valeur de la plaque signalétique du transformateur du répartiteur Sud/Lubumbashi**

Description	Notation	Grandeur	Unité
Puissance nominale	$S_N$	50	Méga voltampère (MVA)
Tension primaire	$U_{1N}$	220	kV
Tension secondaire	$U_{2N}$	120	kV

Les prélèvements effectués, repris dans le **tableau 2**, permettent de déterminer les grandeurs des résistances et réactances intérieures, ainsi que du circuit magnétique.

**Tableau 2| Valeurs des mesures de l'atelier**

Description	Notation	Grandeur en ohm
Réactance magnétique	$X_m$	6734
Résistance magnétique	$R_m$	35881
Résistance de l'enroulement primaire	$R_1$	0,75
Réactance de l'enroulement primaire	$X_1$	6,8
Résistance de l'enroulement secondaire	$R_2$	0,347
Réactance de l'enroulement secondaire	$X_2$	1,1

### RÉSULTATS

Partant de ces valeurs, on peut déterminer par calculs, les différentes pertes en fonctionnement à vide, en court-circuit et en charge ; et voir enfin, si les valeurs sont conformes au fonctionnement normal, sinon proposer des pistes de solution, en vue d'une utilisation optimale.

**Modèle du transformateur à vide - figure 1 [BERSEBEFF, 2010]**

$$V_2' = V_m + I_0(R_1 + jX_1) \quad (8)$$

Où :

- $R_1$  et  $R_2$ : Résistance des enroulements primaire et secondaire ;
- $X_1$  et  $X_2$ : Réactance des enroulements primaire et secondaire ;
- $V_{10}$   $V_{20}$ : Tension simple des enroulements primaire et secondaire.

Avec l'enroulement secondaire ouvert, nous avons :

Notons que :

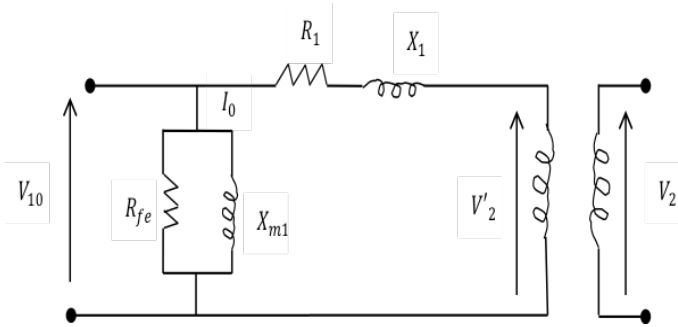


Figure 1 | Modèle du Transformateur à vide

$$V = R_{fe} I_{fe} \quad (9)$$

et

$$I_0^2 = I_{fe}^2 + I_m^2 \quad (10)$$

Les pertes à vides sont obtenues par la relation suivante :

$$P_0 = R I_0^2 + P_{fe} \quad (11)$$

Avec les pertes en fer qui se calculent par la relation 12 :

$$P_{fe} = R_{fe} I_{fe}^2 \quad (12)$$

En prenant l'hypothèse que  $X_m \gg X_1$  et  $R_{fe} \gg R_1$ , avec comme tension du réseau  $V_m = V_{réseau}$

$$\rightarrow P_{fe} = \frac{V_m^2}{R_{fe}} \quad (13)$$

Les données sont telles que la tension, d'alimentation, du réseau en entrée est :

$$V_{1réseau} = 220kV = 220000 V$$

En sortie, sur base des caractéristiques du moteur, nous devrions avoir :

$$V_{2réseau} = 120kV = 120000 V$$

Nous avons un transformateur avec comme rapport d'enroulement :

$$k = \frac{V_1}{V_2} = \frac{220}{120} = 1,8333$$

Où :

- $k$  : le rapport de transformation ;
- $V_1$  : la tension au primaire en V ;
- $V_2$  : la tension au secondaire en V.

Nous avons une tension simple qui est de :

$$V_{réseau} = \frac{220000}{\sqrt{3}} = 127017,06 V$$

Sur base des données de mesures de l'atelier repris au [tableau 2](#), nous avons ce qui suit :

Pour une résistance en fer de  $35881\Omega$  et une tension de phase de  $127017,06 V$ , on a :

$$P_{fe} = \frac{127017,06^2}{35881} = 449634,45 W$$

Connaissant les résultats des pertes fer, on déduit le courant

dans la branche  $I_{fe}$ , soit :

$$I_{fe} = \sqrt{\frac{P_{fe}}{R_{fe}}} = \sqrt{\frac{449634,45}{6734}} = 8,17 A \quad (14)$$

Et comme  $V_m = V_{réseau} = 127017,06 V$ ,

On calcule aisément le courant dans le circuit magnétique avec la réactance de  $X_m = 6734$  :

$$I_m = \frac{V_m}{X_m} = \frac{127017,06}{6734} = 18,862 A \quad (15)$$

Le courant total dans la branche, qui se divise en deux courants, soit  $I_m$  et  $I_{fe}$  est :

$$I_0 = \sqrt{I_m^2 + I_{fe}^2} = \sqrt{18,862^2 + 8,17^2} = 20,55 A \quad (16)$$

L'ensemble des pertes à vide est :

$$P_0 = R_1 I_0^2 + P_{fe} = 0,75 * 20,55^2 + 449634,45 = 449649,86 W \quad (17)$$

Les pertes à vide représentent un certain pourcentage par rapport à la puissance du transformateur. Pour un facteur de puissance  $\cos \varphi = 0,8$  (NFC 15-100), nous avons donc :

Pour une puissance nominale de 50 MVA, avec les données de la plaque signalétique :

$$P_0(\%) = \frac{P_0}{P_n} * 100 = \frac{P_0}{\cos \varphi * S_n} * 100 = \frac{449649,86}{50000000 * 0,8} = 1,124\% \quad (18)$$

$$Q_0 = \frac{V_0^2}{X_m} \quad (19)$$

$$\rightarrow Q_0 = \frac{127017,06^2}{6734} = 2395802,43 \text{ v ars}$$

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{V_0 I_0} = \frac{449649,86}{20,55 * 127017,06} = 0,1723$$

$$\rightarrow \varphi_0 = 80,078^\circ$$

On peut déduire la chute de tension interne du transformateur : Sur base du  $\cos \varphi_0$ , le courant  $I_0'$  vaudra :

$$I_0' = I_0 \cos \varphi_0 + j I_0 \sin \varphi_0 = 20,55 * 0,1723 - j 20,55 * 0,985 = 3,5408 - j 20,2418 \quad (20)$$

$$I_0' = 3,5408 - j 20,2418$$

Or, la tension  $V_{10}$  vaut :

$$V_{10} = V_m + I_0' (R_1 + j X_1) \quad (21)$$

$$V_{10} = 127,01706 + (3,5408 - j 20,2418)(0,75 + j 0,347)$$

$$V_{10} = 127,01706 + (2,6556 + j 1,2287 - j 15,1814 + 7,0239)$$

$$V_{10} = (136,6966 - j 13,9527) kV$$

La chute de tension interne du transformateur est :

$$\Delta V = V_{10} - V_m = 136,6966 - 127,01706 = 9,6795 \text{ kV} \quad (22)$$

La chute fait en pourcentage :

$$\Delta V(\%) = \frac{\Delta V}{V} = 7,08\%$$

Modèle du transformateur en charge (court-circuit) - **Figure 2** [CHATELAIN, 1989]

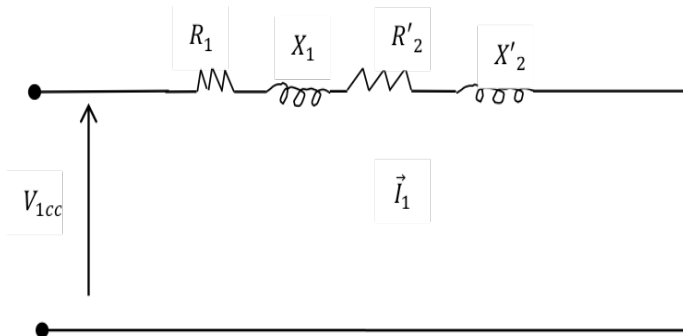


Figure 2 | Modèle transformateur en court-circuit

Lors de cet essai, nous avons trouvé :

$$V_{1cc} = (R_1 + jX_1)I_1 + (R_2 + jX_2)I_2' \quad (23)$$

Généralement, on ajuste la valeur de la tension de court-circuit primaire  $V_{1cc}$ , pour obtenir ou faire circuler le courant de court-circuit équivalent au courant normal du transformateur.

C'est-à-dire:  $I_{cc} \cong I_n$  et lorsque  $V_{cc} = V_n$ , le courant de court-circuit:  $V_{cc} = 7I_n$  [CHATELAIN, 1989].

L'hypothèse est que nous utilisons la tension nominale, pour avoir la tension de court-circuit qui circulerait dans le transformateur. Ensuite :  $R_{fe}$  et  $X_m$  largement supérieurs à  $R_1, R_2$  et  $X_1, X_2$ .

Ce qui implique que  $I_m = 0$  (Négligeable). La **figure 3** illustre le modèle d'un transformateur en court-circuit, alimenté à la tension nominale. Ceci, en vue de déterminer le courant de court-circuit en fonction du courant nominal.

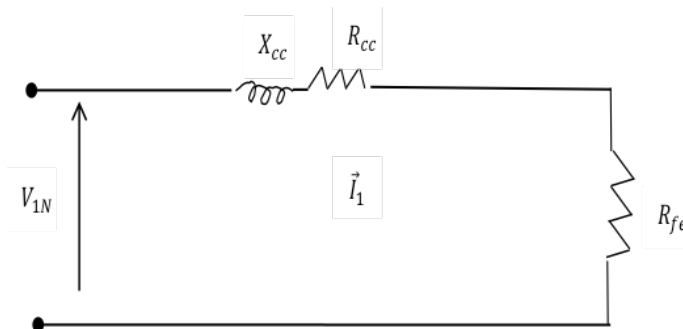


Figure 3 | Transformateur en court-circuit [CORTIAL, 2017]

La puissance de court-circuit est donnée par :

$$P_{cc} = P_{fe} + R_1 I_1^2 + R_2 I_2'^2 \quad (24)$$

$$P_{cc} = P_{fe} + R_1 I_1^2 + R I_2'^2 \quad (25)$$

Avec :  $R_{cc1} = k_2 R_2$  et  $k = (220/120) = 1,83$

$$\rightarrow R_2' = 1,83^2 * 0,347 = 1,16 \text{ ohm}$$

$$\rightarrow X_2' = 1,83^2 * 6,8 = 3,680 \text{ ohm}$$

D'après les caractéristiques du transformateur, nous pouvons déterminer le courant de court-circuit :

$$I_{1N} = \frac{S_N}{\sqrt{3}V_{1N}} = \frac{50,10}{\sqrt{3} * 220} = 132,9 \text{ A} \quad (26)$$

$$I_{2N} = \frac{S_N}{\sqrt{3}V_{2N}} = \frac{50,10}{\sqrt{3} * 120} = 243,66 \text{ A} \quad (27)$$

Sur base de la théorie, on peut déduire le courant de court-circuit équivalent à 7 (sept) fois les courants nominaux, soit :

$$I_{cc1} = 7 * I_{1N} = 7 * 132,9 \text{ A} = 930,3 \text{ A} \quad (28)$$

Pour les transformateurs industriels de puissance supérieure à une centaine  $kVA$ , le courant à vide est suffisamment faible en valeur relative pour que la composante  $I_0$  du courant primaire en charge puisse être négligée vis-à-vis de la composante  $I_2'$  destinée à compenser la solénoation du courant secondaire [CHATELAIN, 1989].

Le schéma de KAPP consiste à négliger la composante  $I_0$ , dans l'étude du fonctionnement en charge [CHATELAIN, 1989].

Or, nous savons qu' en circuit ouvert :

$$\vec{I}_0 = \vec{I}_{fe} + \vec{I}_m = \vec{I}_1 + \vec{I}_2' = 0 \quad (29)$$

$$\rightarrow \vec{I}_1 = -\vec{I}_2' = \vec{I}_{cc}$$

Où :

$$V_{cc} = R_{cc} I_{cc} + jX_{cc} I_{cc} \quad (30)$$

Sachant que :

$$V_{cc} = V_{1N} = 127017,06 \text{ v}$$

$$\begin{cases} R_{cc} = R_1 + R_2 \\ X_{cc} = X_1 + X_2 \end{cases} = \begin{cases} R_{cc} = 0,75 + 1,16 = 0,85 \text{ ohms} \\ X_{cc} = 6,8 + 3,68 = 10,48 \text{ ohms} \end{cases}$$

On calcule ensuite,  $I_{cc}$  sur base de la tension nominale  $V_{1N}$ .

On a :

$$I_{cc1} = \frac{V_{1N}}{\sqrt{R_{cc}^2 + X_{cc}^2}} = \frac{127017,06}{\sqrt{0,85^2 + 10,48^2}} = 12080,29 \text{ A} \quad (31)$$

Ceci pour  $V_{cc} = V_{1N}$

Sur base toujours du principe théorique selon lequel, le courant et la tension court-circuit seraient multiplié par 7 fois le courant et la tension nominale.

Soit :

$$I_{cc} = 7 * I_{cc1} \quad (32)$$

$$\rightarrow I_{cc1} = \frac{I_{cc}}{7} = \frac{12080,28}{7} = 1725,75 \text{ A}$$

Nous constatons que la valeur du courant de court-circuit est de loin supérieure à 7 fois la valeur du courant nominal, soit de la relation 28 nous avons 930,3 A.

Pour ce qui est de l'essai en court-circuit, nous achevons par la détermination de la puissance.

Nous appliquons le courant de court-circuit équivalent au courant nominal, soit :

$$I_{1cc} = I_{1N} = 132,9 \text{ A} \text{ et } I_{2cc} = I_{2N} = 243,66 \text{ A}$$

De la relation 30, soit :

$$V_{cc} = R_{cc} I_{cc} + jX_{cc} I_{cc}$$

$$V_{cc} = I_{cc}(R_{cc} + jX_{cc}) = I_{cc}(\sqrt{R_{cc}^2 + X_{cc}^2})$$

$$= 132,9 * (\sqrt{191^2 + 10,48^2}) = 1415,38V$$

$$Q_{cc} = \sqrt{S_{cc}^2 - P_{cc}^2} = \sqrt{(V_{cc} * I_{cc})^2 - P_{cc}^2} \quad (33)$$

Avec :

$$P_{cc} = R_{cc} I_{cc}^2 = 1,91 * 132,9^2 = 33735,2watt$$

$$S_{cc} = I_{cc} V_{cc} = 1415,38 * 132,9 = 188104va$$

$$\rightarrow Q_{cc} = \sqrt{33735,2^2 - 188104^2} = 185054,18 var$$

$$Q_{cc1} = I_{cc}^2 X_{cc}$$

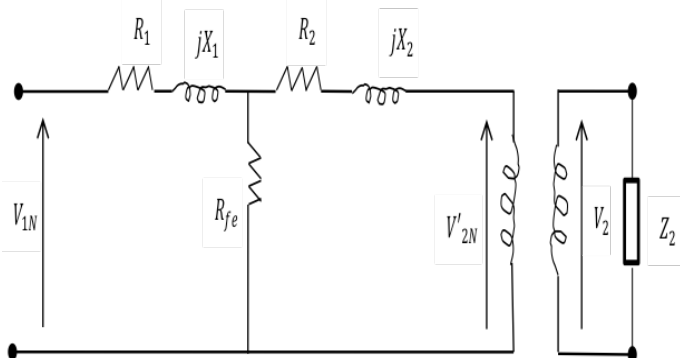
$$X_{cc} = \frac{Q_{cc1}}{I_{cc}^2} = \frac{185054,18}{132,9^2} = 10,47 \quad (34)$$

Les pertes en court-circuit représentent un certain pourcentage par rapport à la puissance du transformateur. Pour un facteur de puissance  $\cos\varphi=0,8$ , nous avons :

$$P_{cc} (\%) = \frac{P_{cc}}{P_N} * 100 = \frac{P_{cc}}{\cos\varphi * S_N} * 100$$

$$= \frac{33735}{0,8 * 50000000} * 100 = 0,08\%$$

Essai d'un transformateur en fonctionnement avec charge nominale, illustré par la **figure 4**.



**Figure 4** | Modèle du Transformateur en charge nominale [CHATELAIN, 1989]

En fonction des données du transformateur :  $R_m, X_m, R_1, R_2$  et  $X_2$ . Nous pouvons déterminer le courant nominal, par la formule suivante :

$$I_{1N} = \frac{S_N}{\sqrt{3}V_{1N}}$$

et

$$I_{2N} = \frac{S_N}{\sqrt{3}V_{2N}}$$

Pour des données suivantes :

$$S_N=50MVS, V_{1N}=220KV \text{ et } V_{2N}=120KV$$

On a :

$$I_{1N} = \frac{50000000}{\sqrt{3} * 220} = 132,9A$$

Et

$$I_{2N} = \frac{50000000}{\sqrt{3} * 120} = 243,66A$$

L'hypothèse est qu'on utilise le modèle simplifié, c'est-à-dire  $R_{fe}, X_m$  largement supérieur à  $R_1, X_1, R_2$  et  $X_2$ . Mais,  $I_m \cong 0 \rightarrow$  les pertes magnétiques sont négligeables.

Les pertes en fer de circuit magnétique non négligeables avec :

$$k = \frac{220kV}{120kV} = 1,83$$

Le calcul des pertes dans les différentes résistances du circuit :

$$P_{charge} = p_{fe} + (R_1 + R_2)I_2^2$$

$$= 461305,7 + (0,75 + 1,1) * 243,66^2 = 0,559 MW$$

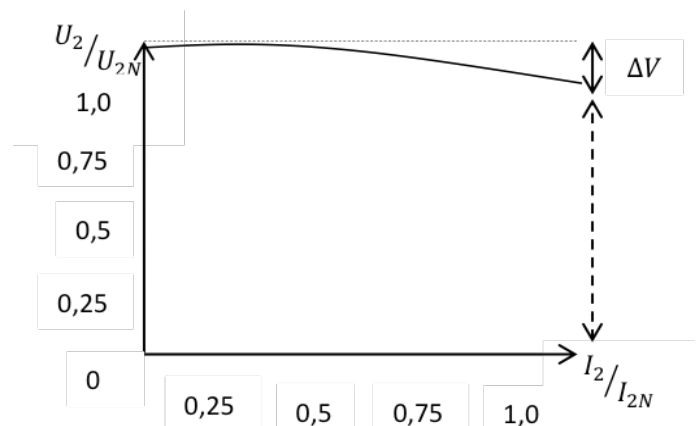
$$P_{charge} (\%) = \frac{P_{charge}}{P_N} * 100 = \frac{P_{charge}}{\cos\varphi * S_N} * 100$$

$$= \frac{0,559}{0,8 * 50000000} * 100 = 1,4\%$$

Il faut noter que plus on augmente la charge, jusqu'à atteindre la valeur du courant de court-circuit, plus tension subit un écrasement, comme illustré par la **figure 5**.

## DISCUSSION

Les résultats démontrent que les pertes à vides et en charges sont élevées car les normes prévoient des valeurs suivantes à  $\cos\varphi=0,8$ .



**Figure 5** | Allure variation du courant en fonction de la tension.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{perte à vide : } P_0 = [0,2\% \text{ à } 0,4\%] \\ \text{perte à charge : } P_{charge} \leq 1\% \end{array} \right.$$

Les pertes à vide pour une charge admissible varie de à,2% à 0,4%.

Mais, les calculs nous donnent les valeurs suivantes pour un facteur de puissance d'échauffement  $\cos\varphi=0,8$ .

Deux pistes de solution sont proposées et regroupées en procédure, pour une meilleure utilisation du transformateur dans de telles conditions :

### Première procédure :

- Fixer les paramètres pertes suivant les normes et
- essayer de calculer la tension qu'il faut appliquer au transformateur pour un bon fonctionnement.

Pour cela, faire varier en ordre décroissant les valeurs de tension appliquée au primaire afin d'avoir les pertes dans les normes ; c'est-à-dire réajuster les valeurs des pertes.

Par la règle de 3 (trois) simples :

$$1,125\% \rightarrow 0,45 MW$$

$$1\% \rightarrow \frac{0,45}{1,125} MW$$

$$0,2\% \rightarrow \frac{0,45}{1,125} * 0,2 = 0,08 MW$$

$$I_{1N} = \frac{50000000}{\sqrt{3} * 220} = 132,9 A$$

Ce qui fait que :

$$P = P_{fe} + R_1 I_0^2$$

Or

$$P_{fe} = \frac{V_{fe}^2}{R_{fe}} \rightarrow V_{fe}^2 = P_{fe} * R_{fe} = 0,08 * 35881 = 2870,48$$

$$V_{fe} = \sqrt{2870,48} = 53,57 kV$$

$$\Delta V = 9,813115 kV \rightarrow V_{10} = 53,37 + 9,813115 = 63,4V$$

La tension composée vaut :

$$U_1 = \sqrt{3} * 63,4 = 109,81 kV$$

**Seconde procédure :**

- Fixer les paramètres pertes suivant les normes et
- essayer de calculer le courant de court-circuit admissible au secondaire en essai en court-circuit.

Pour cela, faire varier en ordre décroissant la tension d'alimentation au primaire en s'assurant d'éviter des surcharges en courant dans les bobinages dans le but d'avoir des pertes dans les normes ; c'est-à-dire réajuster les valeurs des pertes.

[SANCHEZ, 2011]

Si 1,4% → 0,5595 MW

$$1\% \rightarrow \frac{0,5595}{1,4} MW = 0,39964 MW$$

$$P_{charge} = P_{fe} + (R_1 + R_2) I_2^2$$

$$0,39964 = 0,449644 + (0,75 + 1,1) I_2^2$$

$$I_2^2 * 1,85 = -0,050004 kV$$

La valeur du courant, donne un résultat imaginaire. Et ceci, donne une solution thermiquement non réalisable.

Les valeurs des pertes à vides sont très énormes (largement au-delà des valeurs normatives) [SIEMENS AG ENERGYSECTOR, 2014].

La valeur de perte influencée par les très grandes valeurs des pertes en fer qui sont des pertes indépendantes de la charge.

Les pertes fer dépendent du flux circulant dans le circuit magnétique et de la nature de ce circuit, soient les pertes par courant de Foucault et les pertes par hystérésis.

Et puisque on ne sait pas modifier le circuit magnétique, ni la nature des conducteurs, Il serait préférable de voir la possibilité de faire fonctionner le transformateur dans un réseau de 120 kV du coté primaire pour sortir une tension de distribution moyenne tension à déterminer ici ; si seulement si cet aspect des choses est faisable.

$$I_{1N} = \frac{50000000}{\sqrt{3} * 220} = 132,9 A$$

Veiller sur le régleur en charge pour réguler la tension au secondaire de ce transformateur, car la chute de tension interne est supérieure à 7%, au-delà de la valeur recommandée par les normes (inférieure ou égale à 5% (NF C 15-100)) et le faire fonctionner à une charge inférieure à 67%  $I_{2N}$ . Sinon, il est définitivement à déclasser.

**Pour une tension composée  $U_{1N} = 120 kV$**

Avec une réactance  $X_m = 0,54$  et un rapport de transformation  $k = 0,54$ .

$$k = \frac{U_{2N}}{U_{1N}} \rightarrow U_{2N} = k * U_{1N} = 120 * 0,54 = 66,6 kV$$

Donc, une tension secondaire  $U_{2N} \cong 67 kV$

Le transformateur peut être adapté dans un réseau 120kV/70kV ; en réajustant le régleur en charge pour ramener la tension secondaire à 70 kV.

## CONCLUSION

La sécurité de production, transport et distribution de l'énergie électrique est un enjeu considérable. Ceci provient du fait que les recettes des consommations s'effectuent essentiellement sur la base de la puissance active. Or, le transfert de la puissance active ne peut pas s'effectuer sans un soutien de la tension, principalement au moyen du réglage de la puissance réactive.

En effet, la puissance réactive joue un rôle important dans le maintien de la sécurité du réseau. Il faudra donc valoriser cette énergie aussi bien pour le régime normal que pour le régime perturbé.

L'échauffement d'un transformateur dans son fonctionnement devrait être maîtrisé, c'est-à-dire pas moins ni plus.

L'objectif principal consistait à analyser le dysfonctionnement d'un transformateur en se basant sur les anomalies que présente le transformateur 220/120 kV, 50 MVA du répartiteur sud de Lubumbashi.

Une démarche s'en est suivie pour étudier :

- La possibilité de réparer le transformateur, en révisant le circuit magnétique dans un laboratoire électrique, suite à l'échauffement anormal dans le fonctionnement à vide en vue de réduire les pertes fer de l'ordre de 1,125 à 0,4%.
- La faisabilité d'utiliser le transformateur à l'état actuel dans le réseau a des tensions réduites au primaire à 120 kV pour avoir au secondaire 70 kV, donc 120/70 kV.

## RÉSUMÉ

**Pour faire face aux évolutions accélérées d'un marché concurrentiel grâce à l'utilisation de l'énergie électrique, des nouveaux enjeux, en termes de services offerts, sont mis en place par les entreprises fournisseuses de l'énergie électrique qui ne cessent de chercher les moyens d'augmenter leur productivité. La production, le transport et la distribution de l'électricité induisent des pertes d'énergie dissipée sous forme de chaleur.**

**A différents niveaux, on utilise les transformateurs de puissance dont l'une des fonctions est l'adaptation de la tension d'un réseau à celle des utilisateurs, en réduisant le courant, et donc les pertes joules générées dans les lignes, où d'élever la tension en vue d'assurer le transport à pertes réduites, et bien entendu avec l'abaissement de la tension aux points d'utilisation. Le transformateur étant un élément indispensable à l'interconnexion des différents réseaux électriques, doit être bien analysé et entretenu afin de maintenir la continuité de service des postes à pertes réduites.**

Plusieurs travaux ont été menés dans le sens de comprendre comment tester ou apprécier l'état d'un transformateur. C'est dans ce même ordre d'idée que s'inscrit ce travail qui consiste à faire des tests en charge et à vide afin de déterminer les pertes qui ne devraient pas dépasser certaines valeurs, soit ; les pertes à vides peuvent varier dans la fourchette de 0,2 à 0,4% et les pertes en charge qui devraient être inférieures à 1%. Nous avons utilisé un transformateur de la Société National d'électricité (SNEL) et avons prélevé des mesures pour déterminer les pertes, par calcul, à vide et en charge qui sont respectivement de 1,125% et 1,4%. Sur base de ces valeurs, il y a un dysfonctionnement et il faut donc voir dans quelle mesure on peut l'utiliser.

#### Mots clés

Résistance, Réactance, Tension, Courant, Puissance, Pertes, Fonctionnement à vide, Fonctionnement en charge, Fonctionnement en court-circuit, Dysfonctionnement

#### REFERENCES

- BERSEBEFF B. [2010]**. Réglage de la tension dans les réseaux de distribution du futur. Thèse de doctorat, GENELEC, université de Grenoble.
- BLANC R. [1994]**. *Poste à haute et très haute tension-rôle et structure*. Réf. D4572V1, technique de l'ingénieur.
- CHATELAIN J. [1989]**. *Traité d'électricité, Machine électrique*, presse polytechnique romande, deuxième édition, Lausanne.
- CHEVASSU C. [2012]**. *Machines électriques, cours et problèmes*, école Nationale Supérieure Maritime, PARIS Deuxième édition.
- CORTIAL [2017]**. *Les pertes dans un transformateur*. <http://web.cortial.net>. Consulté le 17/Avril/2017.
- KONSTENKO M. et PIOTROVSKI L. [1969]**. *Machines électriques*, MOSCOU, technique soviétique, troisième édition.
- SANCHEZ J. [2011]**. *Aide au diagnostic de défauts des transformateurs de puissance*, thèse de doctorat, Université de Grenoble.
- SIEMENS AG [2014]**. *Nouvelles directives de l'union européenne relatives aux transformateurs*.
- TENCON [2013]**. Spring conference. IEEE.



This work is in open access, licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons license, unless indicated otherwise in the credit line; if the material is not included under the Creative Commons license, users will need to obtain permission from the license holder to reproduce the material. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>