

Ex 1. Étude rapide : Transformateur BT

Soit un transformateur monophasé¹ dont les caractéristiques sont listées ici :

- Puissance nominale apparente $S_n = 1 \text{ kVA}$
- Tension simple primaire $V_{1,n} = 230 \text{ V}$
- Tension simple secondaire $V_{2,n} = 48 \text{ V}$
- Nombre de spires au primaire : $N_1 = 150$
- Nombre de spires au secondaire : $N_2 = 33$



Figure 1 : Transformateur 15 VA-1500 VA

À partir des caractéristiques du transformateur listées ci-dessus :

1. Que vaut le rapport de transformation m ?
2. Que vaut la tension secondaire à vide $V_{2,0}$?
3. Que vaut l'intensité nominale du courant au primaire $I_{1,n}$?
4. Que vaut l'intensité nominale du courant au secondaire $I_{2,n}$?

En fonctionnement (en charge), on mesure les grandeurs électriques suivantes :

- Puissance active consommée au primaire $P_1 = 600 \text{ W}$
- Intensité du courant consommé au secondaire $I_2 = 9.5 \text{ A}$ (imposé par la charge)
- Facteur de puissance au secondaire $f_{p2} = 0.85$ (imposé par la charge)

À partir des précédents relevés :

5. Que vaut la puissance active P_2 consommée par la charge ?
6. Que vaut la puissance apparente S_2 consommée par la charge ?
7. Que vaut le rendement en charge du transformateur ?

1 <https://www.hammfg.com/electronics/transformers/power/1182>

Ex 2. Étude approfondie : Transformateur HTA-BT

Pour cet exercice plus poussé, nous utiliserons comme sujet d'étude un transformateur HTA-BT classiquement utilisé dans le réseau de distribution français.

Il s'agit ici d'un transformateur sec Haute Performance de la société Legrand (figure 2). Ce transformateur typiquement présent dans les postes de conversion HTA-BT rencontrés en zone urbaine, mais ses caractéristiques sont très proches des postes de conversion en haut de poteau (zone rurale). Sur leur site en 2025, le transformateur est présenté à 42 990 € HT² sans l'enveloppe (figure 3), qui est quant à elle annoncée à 7675 € HT³.



Figure 2 : Transformateur 100 kVA Legrand.



Figure 3 : Enveloppe IP3A IK07 Legrand.

Nous allons, en utilisant la fiche technique de ce transformateur, réaliser une étude approfondie afin de déterminer un maximum de ses paramètres.

Caractéristiques nominales

1. Que signifie Dyn11 ? Tracez le diagramme de Fresnel correspondant.
2. Calculez l'intensité nominale du courant au primaire $I_{1,n}$.
3. Calculez l'intensité nominale du courant au secondaire $I_{2,n}$.

2 <https://www.legrand.fr/pro/catalogue/transformateur-htabt-aaok-100kva-880kg-primaire-20kv-aluminium-1350x750x1320mm>
3 <https://www.legrand.fr/pro/catalogue/enveloppe-ip31-ik07-pour-transformateurs-secs-type-h1>

Représentation du transformateur

Le schéma de la figure 4 montre le couplage du transformateur ainsi que les notations utilisées. Les grandeurs électriques (courants et tensions) sont supposées équilibrées, ainsi :

- I_1 désigne l'intensité du courant d'une phase au primaire ;
- J_1 l'intensité du courant dans un enroulement du primaire ;
- U_1 la tension composée aux bornes d'un enroulement du primaire ;
- I_2 l'intensité du courant dans une phase (et dans un enroulement) du secondaire ;
- V_2 la tension simple aux bornes d'un enroulement du secondaire.

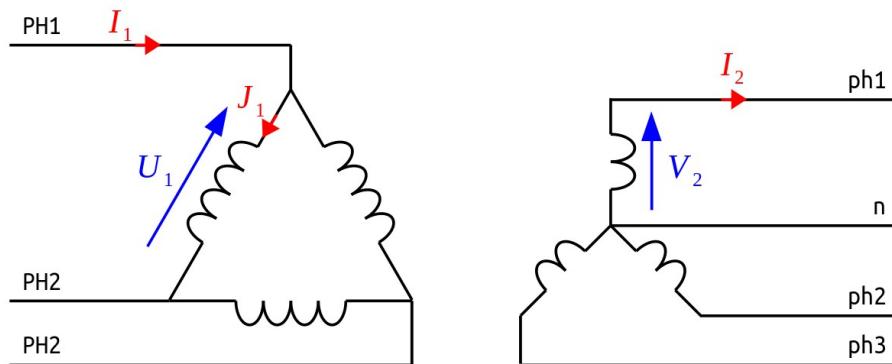


Figure 4 : Couplage et notations utilisées.

La figure 5 représente le modèle représentant une phase du transformateur, en reprenant les mêmes notations que celles utilisées dans la figure 4. Le modèle employé est celui détaillé en cours, à savoir le modèle de fuites totalisées ramenées au secondaire.

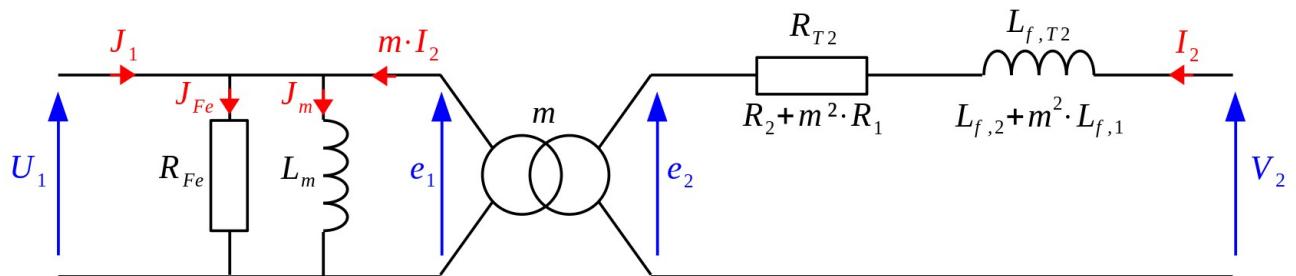


Figure 5 : Modèle utilisé pour une phase du transformateur.

Caractéristiques à vide

Note : le terme « déchargé » signifie que le circuit du secondaire est déchargé, donc ouvert.

4. En reprenant le modèle de la figure 5, tracez le schéma équivalent d'une phase du transformateur à vide, en éliminant les éléments négligeables.
5. Donnez la valeur du courant déchargé I_0 (courant du primaire quand le secondaire est à vide).
6. Retrouvez les valeurs de puissance apparente à vide $S_{1,0}$, de puissance réactive à vide $Q_{1,0}$ et de déphasage à vide $\varphi_{1,0}$.
7. Déterminez la valeur de la résistance R_{Fe} symbolisant les pertes fer dans une phase transformateur (pensez à utiliser $P_{1,0} / 3$!).
8. Déterminez la valeur d'inductance magnétisante L_m d'une phase (pensez à utiliser $Q_{1,0} / 3$!).

Caractéristiques en court-circuit

Les pertes de charge P_K englobent la puissance dissipée dans le circuit magnétique (pertes fer P_{Fe}) et dans les enroulements (pertes Joule P_J). Or avec le secondaire en court-circuit, les pertes fer sont négligeables devant les pertes Joule puisque la tension $U_{1,CC}$ imposée au primaire ne fait que quelques Volt.

Rappel : dans un essai en court-circuit, on règle U_1 à $U_{1,CC}$ telle que $I_{2,CC} = I_{2,n}$.

Note : par manque d'information, nous négligeons aussi l'effet des fuites magnétiques totalisées .

9. En reprenant le modèle de la figure 5, tracez le schéma équivalent d'une phase du transformateur en court-circuit, en éliminant les éléments négligeables.
10. Donnez l'expression de la puissance P_K dissipée par effet Joule dans la résistance totalisée ramenée au secondaire R_{T2} , en fonction du courant de court-circuit $I_{2,CC}$.
11. Déduire la valeur de résistance totalisé R_{T2} pour une phase (pensez à utiliser $P_K / 3$!).
12. Déduire la chute de tension ΔV_2 observée aux bornes de cette résistance à courant nominal.
13. Déterminez la valeur de la tension à vide au secondaire $V_{2,0}$ à partir de $V_{2,n}$ et ΔV_2 .
14. Généralement, on exprime la chute de tension en pourcentage : $\Delta V_2 = 100 \times (V_{2,0} - V_{2,n}) / V_{2,0}$.
15. Le rapport de transformation m est défini par le rapport des tensions à vide : $m = V_{2,0} / U_{1,0}$. Donnez sa valeur.
16. Calculez le rendement du transformateur dans ses conditions nominales d'utilisation (le facteur de puissance dépendant de la charge, on le prendra à 1 par commodité).

Référence du transformateur : HB4AIAGPA
Description: Green T.HE-EU2 AAA kVA 100 kV 20/0,41

Ligne Offre commerciale : 1

DONNÉES GÉNÉRALES DU TRANSFORMATEUR ET DES CLASSES NORMATIVES

Famille de pertes		EU2 AAoAk_PEI
Type de refroidissement		AN
Nombre de phases		3
Valeur nominale S_n	[kVA]	100
Fréquence nominale fr	[Hz]	50
THD	[%]	<5%
Conformité		IEC 60076-11 / EU 548
Classe environnementale - Climatique - Immunité incendie. / Résistance sismic		E3-C2-F1
Classe de résistance sismique		< 0,2 g (tremblements de terre légers)

DONNÉES ENVIRONNEMENTALES

Altitude jusqu'à m	[m]	<1000
Type d'installation		Indoor
Température environnementale maximale. / moyenne mensuelle ,	[°C]	40-30-20

DONNÉES DES ENROULEMENTS

Valeur nominale	[kVA]	100
Tension nominale (Ur sans charge)	[kV]	20
Ajustement		±2x2,5%
Niveaux d'isolation	[kV]	24 / 50 / 125 - L2
Valeur nominale	[kVA]	100
Tension nominale (Ur sans charge)	[V]	410
Niveaux d'isolation	[kV]	<1,1 / 3 / -

Matériel		AI / AI
Temp. du système isolant	[°C]	155°C (F) /155°C (F)
Limites de débordement Moyenne	[K]	100 K / 100 K
Type		Incorporé / imprégné
Connexion		Triangle / Étoile
Symbol de connexion		Dyn11

DONNÉES TECHNIQUES

P0 pertes à vide	[W]	252 (tolérance 0%)
Courant déchargé IO	[%]	1.00 (tolérance +30%)
Pertes de charge Pk	[W]	1800 (tolérance 0%)
Temperature P_k	[%]	120
Tension de court-circuit Uk	[%]	6.00 (tolérance +/-10%)
Indice d'efficacité de pointe PEI	[%]	-
Puissance acoustique max LwA / pression acoustique LpA	[dB(A)]	51 / 38
Max. des décharges partielles	[pC]	< 5

DONNEES DIMENSIONNELLES

IP	LxWxH.	[mm]	1350x750x1320
IP Degré de protection de l'enveloppe xx	LxWxH.	[mm]	-x-x-
Masse du transformateur		[kg]	880
Poids de l'emballage		[kg]	-
Distance au centre des enroulements	[mm]		520 x 520
Menuiserie / couleur RAL			9005
Peinture de l'enveloppe			9005

Quartier général

Via Triumplina, 183
25136 Brescia (BS) - Italy
Téléphone +39 030 2017.100
Fax +39 030 2009.726
www.legrand.com

Télécopies

Administration +39 0302003712
Ventes intérieures +39 0302009726
Ventes à l'exportation +39 0302007159
Département des achats. +39 0302005650

Siège social

Bticino SpA
Viale Luigi Borri, 231
21100 Varese - Italy

Capitale sociale euro 98.800.000 i.v.R.I. Milano e
C.F. 10991860155P.IVA IT10991860155 S.p.A. a
socio unico Gruppo Legrand