



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière d'Electrotechnique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Electrotechnique
Réseau électrique

Réf. :

Présenté et soutenu par :

OMRANI AOUATEF

Le: Samedi 6 Juillet 2019

Protection et maintenance des transformateurs dans l'unité industrielle

Jury

Mr.	Cheriet Ahmed	Pr	Université de Biskra	Président
Mr.	Megherbi Ahmed Chaouki	Dr	Université de Biskra	Encadreur
Mme.	Laala Widad	Dr	Université de Biskra	Examineur

Année universitaire : 2018/2019

الشعبية الديمقراطية الجزائرية الجمهورية
République Algérienne Démocratique et Populaire
العلمي والبحث التعليم العالي وزارة
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra

Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : ELECTROTECHNIQUE
Option: RESEAU ELECTRIQUE

Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme :

MASTER

Thème

***Protection et maintenance des transformateurs
dans l'unité industrielle***

Présenté par :

Omrani Aouatef

Avis favorable de l'encadreur :

Dr. Megherbi Ahmed Chaouki

Avis favorable du Président du Jury

Pr. Cheriet Ahmed

Cachet et signature



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière: Electrotechnique
Option: Réseaux électrique

Thème :

Protection et maintenance des transformateurs dans l'unité industrielle

Proposé et Dirigé par : Dr. Megherbi Ahmed Chaouki

RESUMES (Français et Arabe)

Résumé: Les transformateurs de puissance sont des organes vitaux des réseaux de transport et de distribution de l'énergie électrique. Ils sont utilisés pour adapter le niveau de tension aux besoins de l'utilisation. Dans l'industrie les transformateurs sont utilisés dans les postes de distribution où la tension est réduite pour être adaptée au niveau de la tension d'utilisation des entreprises.

Dans cette mémoire, nous avons présenté une étude théorique suivie d'une autre étude dans le milieu industriel, à ENICAB de Biskra sur deux types de transformateurs (transformateur d'huile 20 MVA 60/10KV, transformateur à sec 1 MVA 10/0.4KV), Cette étude porte sur la façon de les entretenir, de les refroidir, de les surveiller et de les protéger, de près par différents dispositifs de protection (Relais à minimum ou maximum de tension, Relais à maximum de courant, Protection différentielle, Protection par Buchholz). Une stratégie de maintenance préventive est établie par l'entreprise afin d'assurer le bon service et la longue durée de vie des transformateurs,

Mot clés : Transformateur de puissance, Protection, Relais, Maintenance préventive.

ملخص: تعد محولات الطاقة جزءًا حيويًا من شبكات نقل وتوزيع الكهرباء. يتم استخدامها لتكييف مستوى الجهد لاحتياجات الاستخدام. فهي تستخدم في المؤسسات الصناعية ومحطات توزيع الطاقة الكهربائية لتكييف الجهد للاستخدام على مستوى المؤسسة. في هذه المذكرة، قدمنا دراسة نظرية وتليها دراسة ميدانية في المؤسسة الصناعية ENICAB بسكرة على نوعين من المحولات (محول زيت 20 MVA / 10KV، محول جاف 10 / 0.4KV). حيث تتركز هاته الدراسة حول كيفية صيانتها وتبريدها ومراقبتها وحمايتها، عن كثب بواسطة أجهزة حماية مختلفة (مرحل بجهد كحد أدنى أو أقصى، مرحل التيار الأقصى، الحماية التفاضلية، الحماية بواسطة بيخولز). مع دراسة استراتيجية الصيانة الوقائية من قبل الشركة لضمان تقديم تشغيل جيد للمحولات لمدة طويلة بدون اعطال.

كلمات مفتاحيه : محول الطاقة، الحماية، المرهل، الصيانة الوقائية.

Dédicace

Chaleureusement, nous dédions ce modeste travail

A la lumière de notre vie, mes chers parents, en témoignage de leur amour et de leur sacrifice sans limites ; nous leurs souhaite une

bonne santé, que Dieu me les garde

Reconnaissant

A mes chères sœurs :

Fouzia, Sihem, Sabrina, Amina, Souhaila

A mon frère : Hakim

A tous mes amis surtout me étoile Afaf ★

A tous ceux qui m'aiment et qui me sont chers



Aouatef Omrani

Merci 

REMERCIEMENTS

En premier lieu, nous remercions **DIEU** tout puissant, qui nous a donné le courage, la force et la volonté pour réaliser ce modeste travail.

Je remercie docteur **MEGHERBI AHMED CHAOUKI** qui ont suivi de très près ce travail, pour aider, et tous les conseils qu'il me l'a donné pendant toute la durée de ce travail.

Je adresson me plus vifs remerciements aux membres du jury **Cheriet Ahmed** et **Laala Widad** pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant d'être rapporteurs de mon mémoire.

Je remercie aussi toutes les personnes qui nous ont aidés de près ou de loin au sein de la **Société ENICAB BISKRA** lors de notre stage pratique.

Je voudrais exprimer ma reconnaissance envers les amis et collègues qui m'ont apportés leur support moral et intellectuel tout au long de ma démarche.

Enfin, je tiens à témoigner toute mes gratitudes à mes parents  pour leur confiance et leur support inestimable.

Chapitre II : Protection des transformateurs électriques dans l'unité industrielle

Tab. II.1. La puissance installée	25
Tab. II.2. Plaque signalétique transformateur à huile 60kv/10kv	27
Tab. II.3. Plaque signalétique transformateur à sec 10/0.4kv	37
Tab. II.4. La Comparaison entre Transformateur d'huile et Transformateur à sec	39

Chapitre I : Généralités sur les transformateurs électriques dans l'industrie

Fig. I.1. Transformateur monophasé	2
Fig. I.2. Transformateur triphasé	2
Fig. I.3. Symbole de transformateur de puissance	3
Fig. I.4. Schéma d'un transformateur monophasé	3
Fig. I.5. Schéma d'un transformateur triphasé de type colonne	3
Fig. I.6. Schéma de principe de fonctionnement d'un transformateur de puissance	4
Fig. I.7. Couplage de primaire	5
Fig. I.8. Couplage de secondaire	5
Fig. I.9. Représentation symboliques	6
Fig. I.10. Détermination de l'indice horaire (Y-y0)	7
Fig. I.11. Détermination de l'indice horaire (Y-d11)	8
Fig. I.12. Plaque signalétique d'un transformateur triphasé	9
Fig. I.13. Vue intérieure d'un transformateur, type colonne	10
Fig. I.14. Circuit magnétique	11
Fig. I.15. Circuit magnétique triphasé type cuirassé	12
Fig. I.16. Circuit magnétique triphasé à Cinq colonnes	13
Fig. I.17. Circuit magnétique triphasé à trois colonnes	13
Fig. I.18. Enroulement	14
Fig. I.19. La cuve d'un transformateur de puissance	15
Fig. I.20. Traversé porcelaine	16
Fig. I.21. Traverse condensateur	16
Fig. I.22. Emplacement d'un transformateur dans le réseau électrique	18
Fig. I.23. Transformateur immergé dans l'huile	18

Fig. I.24. Transformateur à sec	19
Fig. I.25. Schéma d'un autotransformateur	19
Fig. I.26. Schéma d'un relais Buchholz	22

Chapitre II : Protection des transformateurs électriques dans l'unité industrielle

Fig. II.1. Vue générale de l'entreprise ENICAB	23
Fig. II.2. La Consommation d'énergie électrique de l'année 2017 de l'entreprise ENICAB	24
Fig. II.3. Transformateur à huile 60/10KV	26
Fig. II.4. Description du transformateur à l'huile	27
Fig. II.5. Schéma de la alimentation et distribution 60 KV	28
Fig. II.6. Relais à maximum de courant RSf 5	30
Fig. II.7. Relais à minimum ou maximum de tension RUF 5	31
Fig. II.8. Relais à retard indépendant à max de courant RSZ 3f2	32
Fig. II.9. Relais différentielle	33
Fig. II.10. Relais BUCHHOLZ	34
Fig. II.11. Protection de masse cuve	35
Fig. II.12. Manomètre	36
Fig. II.13. Transformateur à sec 10/0.4KV	36
Fig. II.14. Schéma de la distribution 10 KV	38

Chapitre III : Maintenance des transformateurs électriques dans l'unité industrielle

Fig. III.1. Les différentes politiques de maintenance	41
Fig. III.2. Amorçage franche entre spires	44
Fig. III.3. Effort électrodynamique franche	45
Fig. III.4. Point chaud sur connexion boulonnée	46
Fig. III.5. Échauffement excessive d'un enroulement	47
Fig. III.6. Schéma d'une boucle de courant de défaut avec le circuit magnétique	47
Fig. III.7. Problème de transport	48
Fig. III.8. Joint de traversée écrasé	48

Table de Matière

Table de matière

Dédicace	I
Remerciement	II
Liste des tableaux	III
Liste des figures	VI
Introduction Générale	1

Chapitre I : Généralités sur les transformateurs électriques dans l'industrie

I.1. Introduction	2
I.2. Définition de transformateur de puissance	2
I.3. Principe de fonctionnement	4
I.4. Couplage des enroulements	5
I.4.1. Mode de couplage	5
I.4.2. Choix du couplage	6
I.4.3. Indice horaire	7
I.4.3.1. Définition	7
I.4.3.2. Détermination de l'indice horaire à partir du schéma	7
I.4.4. Rapport de transformation	8
I.4.4.1. Définition	8
I.5. Lecture de la plaque signalétique d'un transformateur triphasé	9
I.6. Technologies de construction de transformateur de puissance	10
I.6.1. Partie active	11
I.6.1.1. Circuit magnétique	11
I.6.1.1.1. Type cuirassé	12
I.6.1.1.2. Type colonnes	12
I.6.1.2. Enroulements	13
I.6.2. Isolation	14

I.6.2.1. Isolation cellulosique	14
I.6.2.2. Isolation liquide	14
I.6.3. Cuve	15
I.6.4. Traversées	16
I.6.5. Equipement	16
I.6.5.1. Changeurs de prise	16
I.6.5.2. Refroidissement	17
I.6.5.3. Conservateur	17
I.6.5.4. Coffret des auxiliaires	17
I.6.5.5. Coffret de commande du changeur de prise en charge	17
I.7. Utilisations de transformateur de puissance	17
I.8. Types des transformateurs des puissances	18
I.8.1. Transformateur immerges	18
I.8.2. Transformateurs secs	19
I.8.3. Autotransformateur	19
I.9. Protection des transformateurs	20
I.9.1. Protections électriques	20
I.9.1.1. Protection par relais à maximum d'intensité (I_{max})	20
I.9.1.2. Protection « masse cuve »	20
I.9.1.3. Protection différentielle	20
I.9.1.3.1. Protections contre les surtensions	20
I.9.2. Protections thermiques	21
I.9.3. Autres protections	21
I.9.3.1. Relais Buchholz	21
I.9.3.2. Le relais RS 1000	22
I.9.3.3. Soupape de surpression	22
I.9.3.4. Protections incendie	22
I.10. Conclusion	22

Chapitre II : Protection des transformateurs électriques dans l'unité industrielle

II.1.	Introduction	23
II.2.	Définition de l'industrie de câble ENICAB Biskra	23
II.3.	Activité d'entreprise	24
II.4.	Transformation et distribution électrique dans l'entreprise ENICAB	25
II.5.	Transformateur à huile 60/10KV	26
II.6.	Construction de transformateur à huile 60/10KV	27
II.7.	Protection des transformateurs à huile 60/10KV	28
II.8.	Les différents types des Protections sur les transformateurs à huile 60/10KV	29
II.8.1.	Protection externe	29
II.8.1.1.	Relais à maximum de courant RSf 5	29
II.8.1.2.	Relais à minimum ou maximum de tension RUf 5	30
II.8.1.3.	Relais à retard indépendant à max de courant RSZ 3f2	32
II.8.1.4.	Protection différentielle	33
II.8.2.	Protection interne	34
II.8.2.1.	Protection par Buchholz	34
II.8.2.2.	Protection de masse cuve	35
II.8.2.3.	La protection thermique	35
II.9.	transformateur à sec 10/0.4KV	36
II.10.	Protection des transformateurs à sec 10/0.4KV	37
II.11.	Comparaison des transformateurs	38
II.12.	Conclusion	39

Chapitre III : Maintenance des transformateurs électriques dans l'unité industrielle

III.1.	Introduction	40
III.2.	Définition de maintenance	40
III.3.	Politique de maintenance	40
III.4.	Maintenance appliquée au transformateur	41
III.4.1.	Actions entreprises pour la maintenance des transformateurs	41
III.4.1.1.	Principales opérations de maintenance corrective	41

III.4.1.2. Principales opérations de maintenance préventive	42
III.5. Diagnostic de défaut	42
III.6. Démarches de diagnostic sur un transformateur	42
III.7. Les principaux défauts sur un transformateur	44
III.7.1. Défauts dus aux contraintes diélectriques	44
III.7.2. Défauts dus aux surintensités	44
III.7.3. Défauts électriques	45
III.7.4. Défauts thermiques	46
III.7.5. Défauts électromagnétiques	47
III.7.6. Défauts mécaniques	48
III.8. Maintenance préventive dans cas de l'ENICAB BISKRA	49
III.8.1. Maintenance préventive de transformateur à huile 60/10KV	49
III.8.2. Maintenance préventive de transformateur à sec 10/0.4KV	50
III.9. Conclusion	51
Conclusion Générale	52
Bibliographique	53
Annexe	54

INTRODUCTION
GENERALE

Introduction Générale

Le transformateur est un appareil statique à induction électromagnétique destiné à transformer un système de courants variables en un ou plusieurs systèmes de courants variables, d'intensité et de tension généralement différents, mais de même fréquence.

Les transformateurs de puissance sont des organes vitaux des réseaux de transport et de distribution de l'énergie électrique. Ils sont utilisés pour adapter le niveau de tension aux besoins de l'utilisation. Les transformateurs sont utilisés dans les niveaux suivants :

- A la sortie des centrales ou la tension est élevée pour la transmission;
- Dans les postes d'interconnexion ou de répartition;
- Dans les sous-stations de distribution ou la tension est réduite pour être adaptée à la tension de la distribution;
- Dans les postes de distribution ou la tension est réduite pour être adaptée au niveau de la tension d'utilisation des entreprises et des résidences.

Les protections permettent de détecter les défauts électriques trop importants et de déconnecter le transformateur du réseau afin d'en assurer la sécurité. De par leur rôle stratégique dans le réseau, les transformateurs sont l'objet d'une surveillance accrue. Afin d'en assurer une bonne maintenance sans nuire à leur disponibilité de nombreuses techniques de diagnostics. Elle permet également la mise en œuvre d'une maintenance préventive conditionnelle basée sur l'état de la dégradation de l'isolation.

L'objectif de ce travail est l'étude de la protection et la maintenance des transformateurs dans les unités industrielles, pour réaliser ce travail j'ai effectué un stage industriel dans l'entreprise ENICAB où l'étude est réalisée sur deux type de transformateur triphasé (transformateur d'huile 20 MVA 60/10KV, transformateur à sec 1 MVA 10/0.4KV).

L'étude présentée dans ce mémoire s'organise comme suit :

- ❖ **Dans le premier chapitre** on trouve des généralités sur les transformateurs de puissance tels que le principe de fonctionnement et les différents éléments qui constituent cette machine.
- ❖ **Le deuxième chapitre** traite des différents types des protections électriques sur les transformateurs d'huile 60/10KV et transformateurs à sec 10/0.4KV.
- ❖ **Le dernier chapitre**, nous abordons les généralités de la maintenance, en citons ses différentes formes et stratégies de maintenances préventives.

Enfin, on termine par une conclusion générale présentant le travail accompli.

CHAPITRE I
Généralités sur les
transformateurs
électriques dans
l'industrie

I.1. Introduction

Les centrales électriques étant souvent éloignées du consommateur, le rôle du transformateur, est d'acheminer l'énergie électrique de son point de production jusqu'à son point de consommation. Les défauts qui peuvent affectés les transformateurs sont de différentes catégories (internes, externes).

Le but de Ce premier chapitre est étude théorique des transformateurs de puissance selon les points suivants : Constitution et principes de fonctionnement, leurs différents types et leurs principaux éléments, protections et maintenance des transformateurs, seront présentés.

I.2. Définition de transformateur

Le transformateur est une machine électrique statique, appelé aussi convertisseur statique à induction, il comporte deux ou plusieurs enroulements fixes, destiné à transformer la tension et le courant alternatifs, à une tension et courant alternatifs de même fréquence mais d'amplitudes différentes selon les besoins d'utilisation [2].



Fig. I.1. Transformateur monophasé [2].



Fig. I.2. Transformateur triphasé [2].

➤ **Symbole de transformateur**

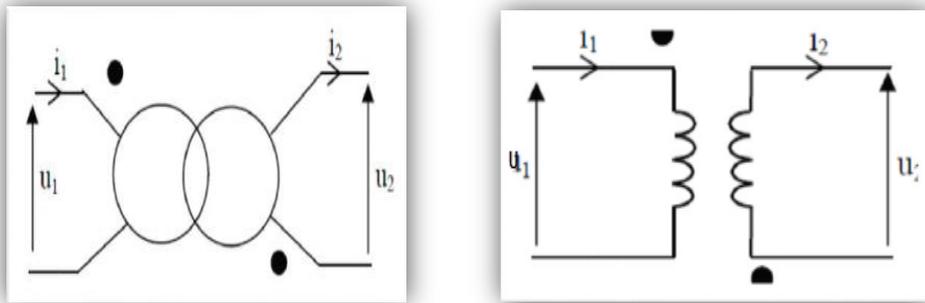


Fig. I.3. Symbole de transformateur de puissance [2]

Les deux points représentés dans chaque symbole permettent de repérer le sens conventionnel de la tension et du courant [2].

➤ **Schema**

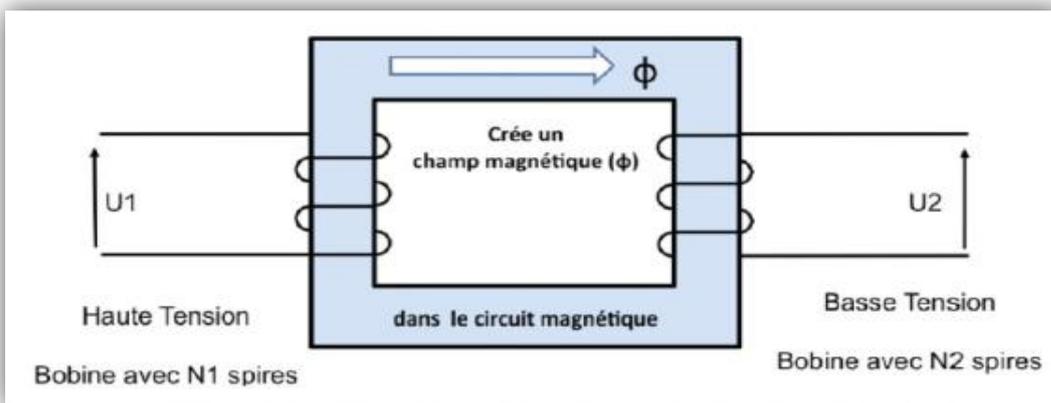


Fig. I.4. Schéma d'un transformateur monophasé [2]

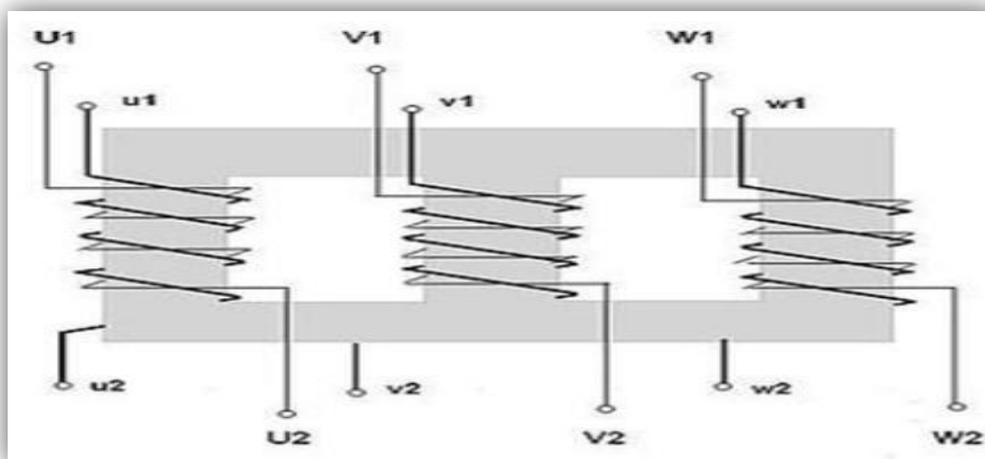


Fig. I.5. Schéma d'un transformateur triphasé de type colonne [2]

I.3. Principe de fonctionnement

L'un des deux bobinages joue le rôle de primaire, il est alimenté par une tension variable et donne naissance à un flux magnétique variable dans le circuit magnétique. Le circuit magnétique conduit avec le moins de réluctance possible les lignes de champ magnétique créées par le primaire dans les spires de l'enroulement secondaire. D'après la loi de Faraday, ce flux magnétique variable induit une force électromotrice dans le deuxième bobinage appelé secondaire du transformateur. Le transformateur ne peut pas fonctionner s'il est alimenté par une tension continue, le flux doit être variable pour induire une f.é.m. au secondaire, il faut donc que la tension primaire soit variable. Le transformateur est réversible, chaque bobinage peut jouer le rôle de primaire ou de secondaire. Le transformateur peut être abaisseur ou élévateur de tension [3].

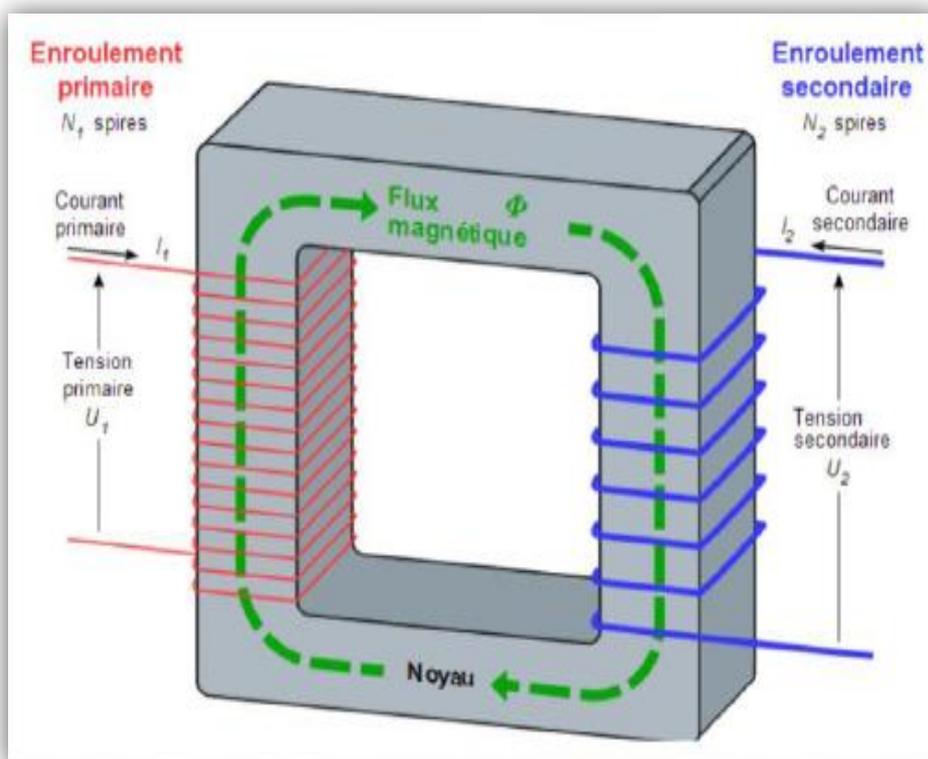


Fig. I.6. Schéma de principe de fonctionnement d'un transformateur de puissance [2]

I.4. Couplage des enroulements [4]

I.4.1. Mode de couplage

- Au primaire les enroulements peuvent être connectés soit en étoile(Y) soit en triangle (D)

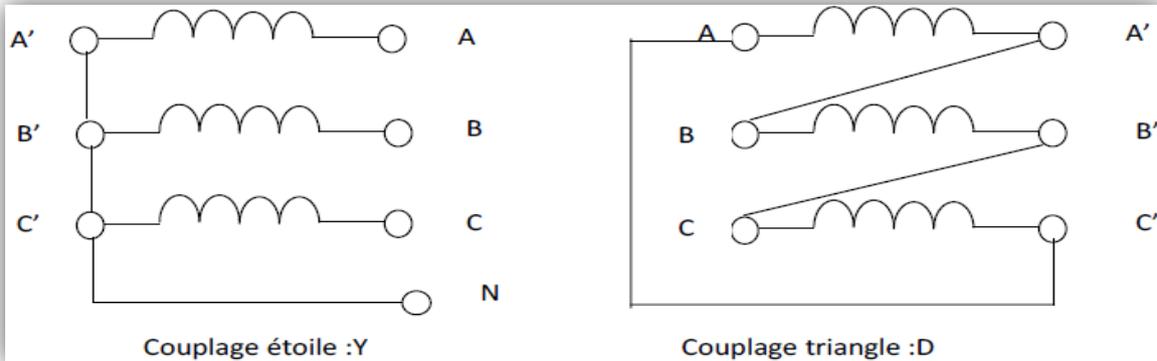


Fig. I.7. Couplage de primaire [4]

- Au secondaire les enroulements peuvent être couplés de 3 manières différentes: étoile(y), triangle (d) et zigzag (z)

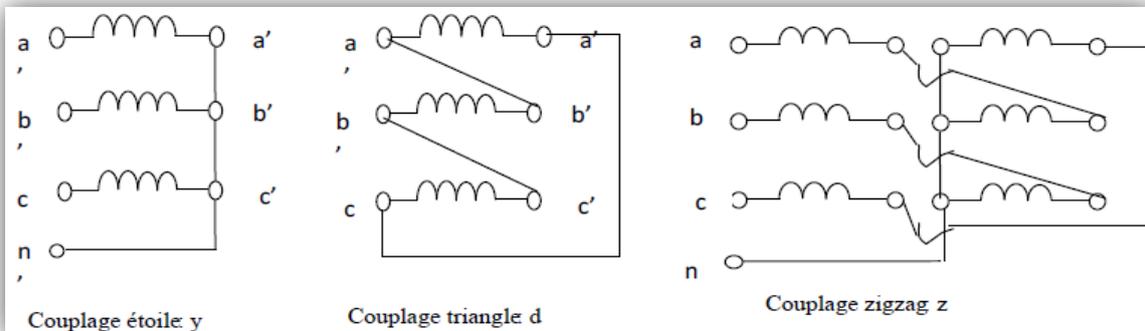


Fig. I.8. Couplage de secondaire [4]

- On obtient ainsi 6 couplages possibles entre primaire et secondaire :
 - ✓ Y-y : étoile –étoile
 - ✓ Y-d : étoile-triangle
 - ✓ Y-z : étoile-zigzag
 - ✓ D-y : triangle- étoile
 - ✓ D-d: triangle –triangle
 - ✓ D-z: triangle-zigzag

- On donne ci-dessous les représentations symboliques des couplages normalisés

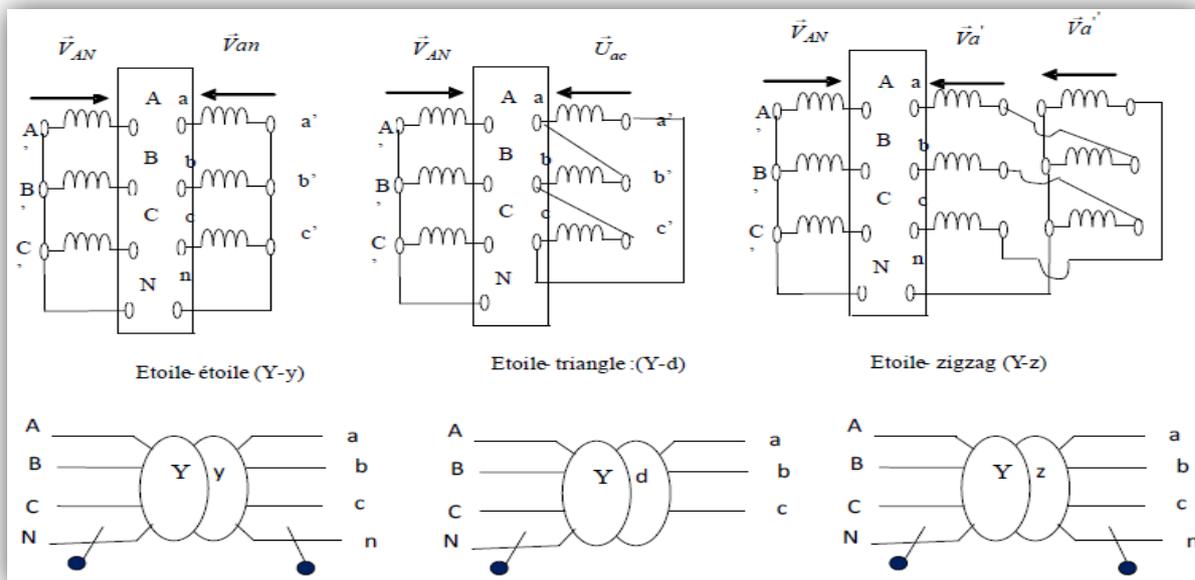


Fig. I.9. Représentation symboliques [4]

- Chacune des schémas de la Figure (I.9) est une représentation conventionnelle qui suppose que les deux enroulements d'un même noyau sont rabattus de part et d'autre de la plaque à bornes. Compte tenu de la remarque précédente on pourrait dire :
 - ✓ Dans le couplage Y-d : \vec{V}_A et \vec{U}_{ac} sont en phase
 - ✓ Dans le couplage Y-z : \vec{V}_A et $\vec{V}_{a'}$ et $\vec{V}_{a''}$ sont en phase

I.4.2. Choix du couplage [4]

Le choix du couplage repose sur plusieurs critères :

- ✚ La charge nécessite la présence du neutre (par exemple réseau BT du stage). Le secondaire doit être connecté soit en étoile soit en zigzag
- ✚ Le fonctionnement est déséquilibré (courant de déséquilibre dans le neutre I_n est \vec{V}_A supérieur à 0.1 le courant nominal), le secondaire doit être couplé en zigzag
- ✚ Coté haute tension on a intérêt à choisir le couplage étoile (moins de spire à utiliser)
- ✚ Pour les forts courants, on préfère le couplage triangle

I.4.3. Indice horaire [4]

I.4.3.1. Définition

L'indice horaire (Ih) est un nombre entier compris entre 0 et 11 qui traduisent le déphasage θ entre deux tensions primaire et secondaire homologues.

$$Ih = \frac{\theta}{30^\circ}$$

$$\theta = (\vec{V}_A; \vec{V}_a) = (\vec{V}_B; \vec{V}_b) = (\vec{V}_C; \vec{V}_c)$$

❖ Remarque

On sait qu'un système de tensions primaires triphasé équilibré et direct donne naissance à un système secondaire triphasé équilibré et direct. Il est donc clair, que θ est aussi le déphasage entre les tensions composées homologues.

$$\theta = (\vec{U}_{AB}; \vec{U}_{ab}) = (\vec{U}_{BC}; \vec{U}_{bc}) = (\vec{U}_{CA}; \vec{U}_{ca})$$

On peut déterminer θ :

- Soit à partir du schéma des connections
- Soit pratiquement par des essais

I.4.3.2. Détermination de l'indice horaire à partir du schéma

On dispose du schéma des connections internes d'un transformateur et il est question de déterminer son indice horaire

✚ Exemple 1 : Y-y

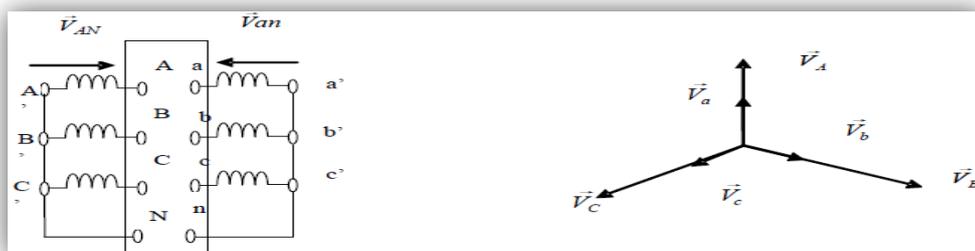


Fig. I.10. Détermination de l'indice horaire (Y-y0) [4]

D'après le schéma on peut voir que \vec{V}_A et \vec{V}_a sont En phase, car, portés par le même noyau. Ils sont orientés dans le même sens $\Rightarrow \theta = 0^\circ \Rightarrow I_h = 0^\circ$

❖ Remarque

- ✓ Une permutation directe des liaisons aux bornes primaires ou aux secondaires (enroulement 2 sera lié à a, enroulement 3 à b et enroulement 1 à c) fait passer l'indice horaire à 4 (augmente l'indice de +4)
- ✓ 2 permutations directes ou un inverse fait passer l'indice à 8 (augmente l'indice de +8)

🚦 Exemple 2 : Y-d

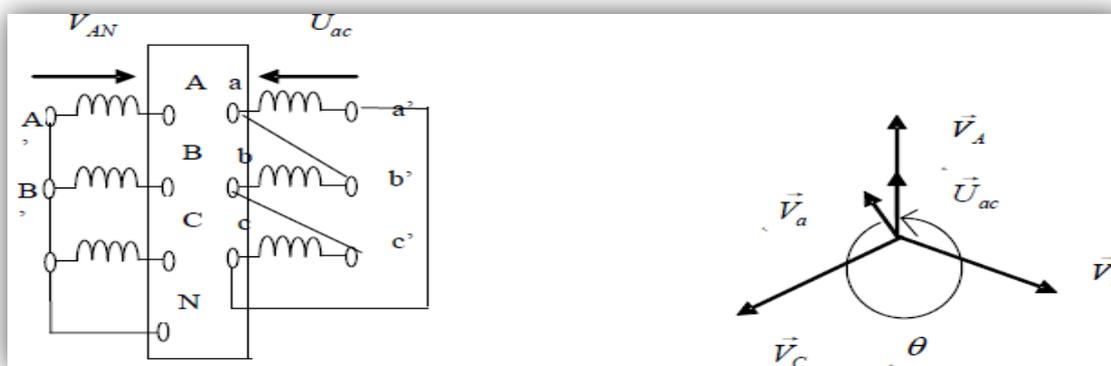


Fig. I.11. Détermination de l'indice horaire (Y-d11) [4]

D'après le schéma, on peut voir que :

\vec{V}_A et \vec{U}_{ac} sont En phase ; \vec{V}_B et \vec{U}_{ba} sont En phase et \vec{V}_C et \vec{U}_{cb} sont En phase ;
 $\Rightarrow \theta = 330^\circ \Rightarrow I_h = 11$

I.4.4. Rapport de transformation [4]

I.4.4.1. Définition

Par définition, le rapport de transformation à vide m est donné par :

$$m = \frac{U_{ab}}{U_{AB}} = \frac{V_{a0}}{V_{A0}}$$

Le rapport de transformation triphasé dépend de N1 et N2 les nombres de spires au primaire et au secondaire et du couplage

✚ Exemple 1: Y-y

En se référant à la Figure (I.10) et sachant que la tension aux bornes d'un enroulement est proportionnelle au nombre de spires (d'après la relation de Boucherot). On aura donc :

$$m = \frac{V_{a0}}{V_A} = \frac{N_2}{N_1}$$

✚ Exemple 2 : Y-d

En se référant à la Figure (I.11) on démontre que :

$$m = \frac{U_{ab}}{U_{AB}} = \frac{V_{ab0}}{N_1 \sqrt{3}}$$

I.5. Lecture de la plaque signalétique d'un transformateur triphasé [5]

Chaque adaptateur doit contenir un tableau de données afin qu'il soit facile à manipuler.

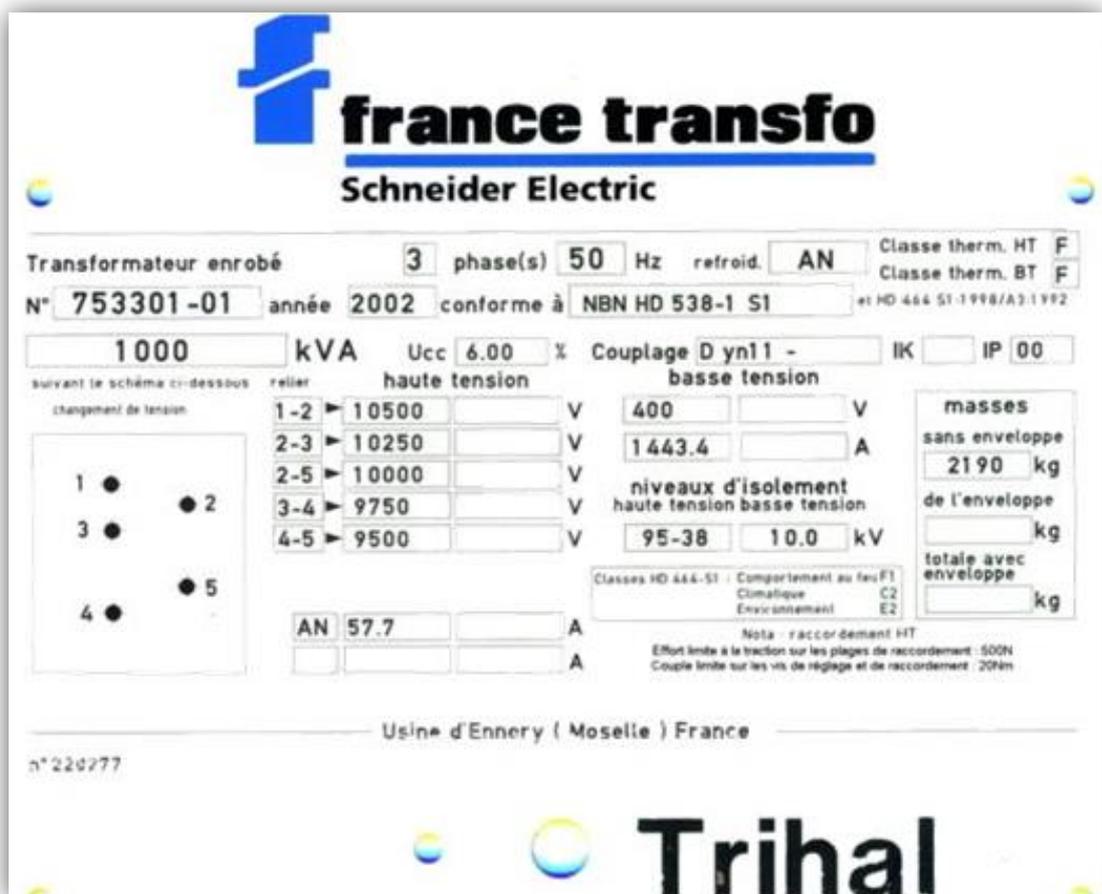


Fig. I.12. Plaque signalétique d'un transformateur triphasé [5]

Les données sur le tableau de bord sont les suivantes :

- ✓ 3 Phase(s) : Nombre de phase du transformateur
- ✓ 50 Hz : Fréquence nominale d'utilisation du transformateur
- ✓ Refroid. AN : Type de refroidissement du transformateur
 - ONAN : circulation huile naturelle (ON) + circulation air naturelle (AN)
 - ONAF : circulation huile naturelle (ON) + circulation air forcée (AF)
- ✓ Classe therm : classe thermique d'isolation : définit la limite maximale que peuvent supporter l'isolant des enroulements
- ✓ N° 753301-01 : Numéro de série
- ✓ Année 2002 : Année de construction
- ✓ 1000 kVA : Puissance apparente nominale
- ✓ Ucc : 6 % : Tension de court-circuit
- ✓ Couplage Dyn11 : couplage des enroulements du transformateur
- ✓ IK : indice de protection contre les chocs
- ✓ IP 00 : indice de protection contre l'eau et la poussière
- ✓ Haute tension : Valeur des tensions nominales primaires possible
- ✓ Basse tension : Valeur de la tension nominale et du courant nominal secondaire
- ✓ Niveau d'isolement : tension maximale entre enroulement et masse et entre enroulement

I.6. Technologies de construction de transformateur de puissance [2]

La Figure (I.13) suivant montre la constitution d'un transformateur de puissance triphasé

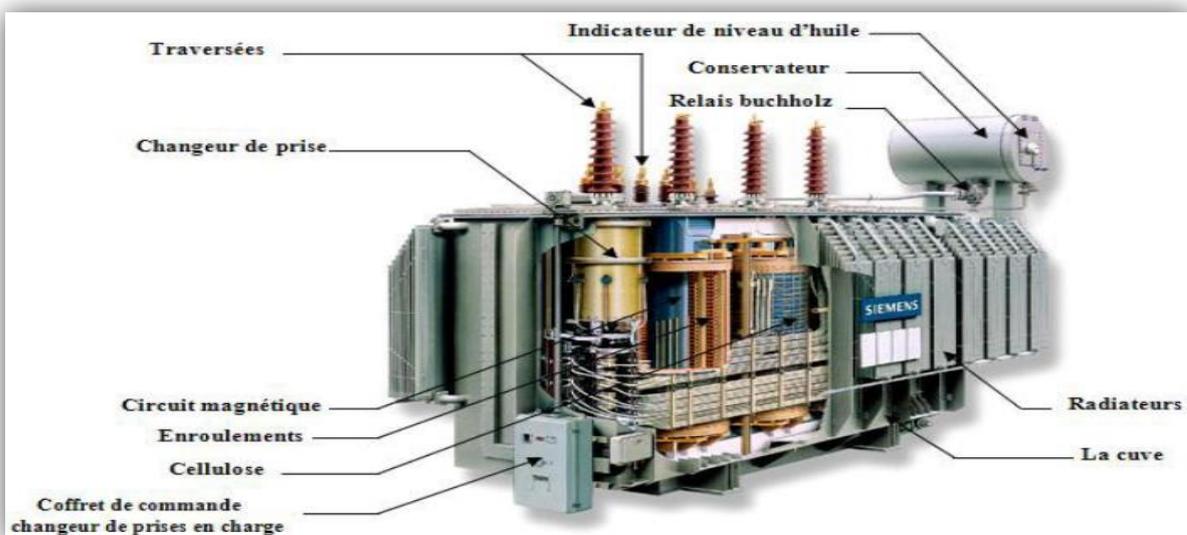


Fig. I.13. Vue intérieure d'un transformateur, type colonne [2]

I.6.1. Partie active

La partie active d'un transformateur est définie comme le circuit magnétique et les enroulements.

I.6.1.1. Circuit magnétique

Le rôle du circuit magnétique est de canaliser le flux magnétique produit par l'excitation de l'enroulement primaire vers l'enroulement secondaire.

Le noyau se compose d'un empilage de tôles ferromagnétique de haute perméabilité et à grains orientés, isolées électriquement entre elles. Il doit être conçu de façon à réduire les pertes par courant de Foucault et par hystérésis qui se produisent lors de la variation périodique du flux magnétique. Afin de minimiser les pertes on procède à :

- ✓ l'emploi d'acier magnétique doux ayant une petite surface du cycle d'hystérésis et de faible perte par hystérésis,
- ✓ l'emploi de tôles dont l'épaisseur est choisie tel que les courants de Foucault soient pratiquement sans effet.

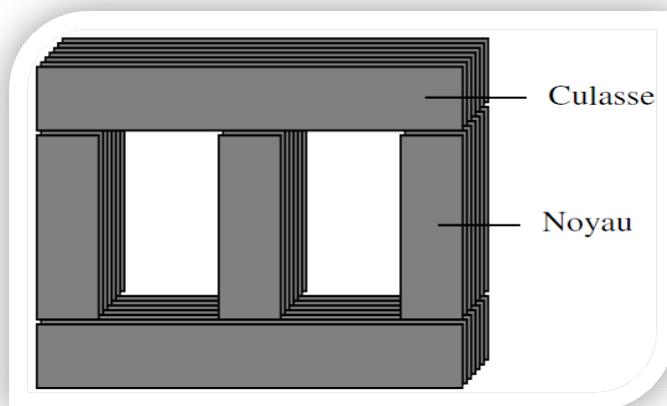


Fig. I.14. Circuit magnétique [2]

Suivant la forme du circuit magnétique on distingue deux dispositions principales qui sont :

I.6.1.1.1. Type cuirassé

Pour ce type de transformateur, le circuit magnétique entoure complètement l'enroulement des deux côtés. Ces transformateurs sont utilisés principalement au sein des réseaux de transport et de distribution, où les surtensions transitoires sont fréquentes.

Pour cela des écrans sont utilisés afin de réduire les contraintes liées aux champs électriques dans les bobinages [2].

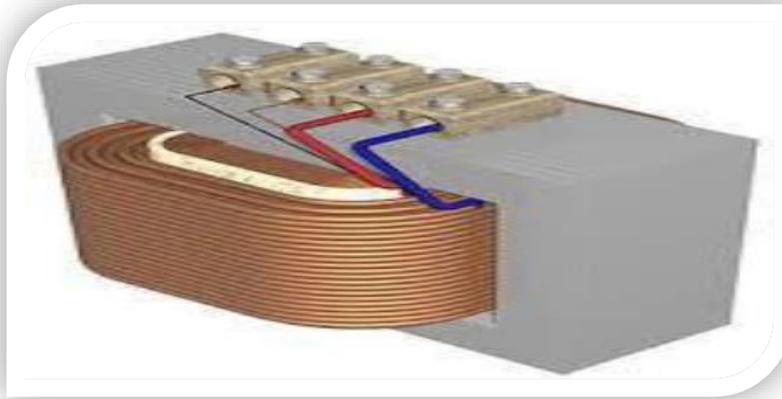


Fig. I.15. Circuit magnétique triphasé type cuirassé [2]

I.6.1.1.2. Type colonnes

Le transformateur à colonnes est constitué de deux enroulements concentriques par phase. Ces enroulements sont montés sur un noyau ferromagnétique qui se referme à ses extrémités via des culasses afin d'assurer une bonne canalisation du flux magnétique.

Dans cette technologie, les enroulements qui entourent le circuit magnétique de manière à maximiser le couplage tout en minimisant le volume des conducteurs. Cette disposition plus simple que la précédente est utilisée pour les transformateurs de haute tension et les grandes puissances. Les enroulements peuvent être disposés sur un circuit magnétique à trois colonnes (noyaux). Ce type de circuit magnétique est dit à flux forcé.

Si le déséquilibre est important, on utilise les transformateurs à quatre ou cinq colonnes. Dont trois sont bobinées et les autres servent au retour des flux [2].



Fig. I.16. Circuit magnétique triphasé à Cinq colonnes [2].



Fig. I.17. Circuit magnétique triphasé à trois colonnes [2].

I.6.1.2. Enroulements

Les enroulements du transformateur sont l'ensemble des spires fabriqués généralement en cuivre émaillé, isolées entre elles par du papier [2].

Pour une phase d'un transformateur donnée il y a un enroulement par niveau de tension considéré : un pour la basse tension et un pour la haute tension, avec parfois un supplémentaire pour la moyenne tension. Ces différents enroulements sont imbriqués les uns dans les autres avec l'enroulement de basse tension à l'intérieur et les enroulements de niveau de tension supérieurs de façon croissante vers l'extérieur [2].

Les enroulements permettent le transfert de la puissance du primaire vers le secondaire (tertiaire) tout en modifiant la tension (circulation du courant) [2].



Fig. I.18. Enroulement [2].

I.6.2. Isolation [2]

Dans la partie active d'un transformateur de puissance on trouve deux types d'isolation.

I.6.2.1. Isolation cellulosique

Les matériaux isolants solides appliqués tels que le papier, compressé, le cylindre isolant et le carton sont faits à partir des matériaux cellulosiques qui constituent le meilleur compromis technico-économique de l'isolation du système imprégné dans les transformateurs de puissance.

I.6.2.2. Isolation liquide

L'huile du transformateur est souvent une huile minérale qui est faite d'un mélange d'alcane, de naphènes, et des hydrocarbures aromatiques, raffinés à partir du pétrole brut.

Les processus de raffinage pourraient inclure le traitement par l'acide, l'extraction par solvants, l'hydrotraitement, ou la combinaison de ces méthodes. Le raffinage lorsqu'il est parfaitement achevé, peut rapporter les caractéristiques de l'huile minérale aux spécifications exigées. Le rôle fondamental de l'huile est d'assurer l'isolation diélectrique et le refroidissement du transformateur. Les huiles modernes procurent plus de stabilité à la dégradation, et elles sont dépourvues du soufre en corrosif.

Au plus, elles devraient avoir les caractéristiques suivantes :

- point d'inflammabilité élevée,
- point de congélation bas,
- rigidité diélectrique élevée,
- basse viscosité,
- bonne résistance à l'électrification statique.

I.6.3. Cuve

La constitution de la cuve de transformateurs est liée aux calculs thermiques, généralement elle est fabriquée en acier.

La cuve sert à la protection de la partie active du transformateur, elle est ajourée pour permettre la circulation naturelle de l'air autour du transformateur elle assure plusieurs rôles tels que :

- réservoir d'huile,
- assurer la résistance en court-circuit,
- maintenir à l'intérieur de la cuve la majorité du flux de fuite produit par le courant dans les enroulements.



Fig. I.19. La cuve d'un transformateur de puissance [2].

I.6.4. Traversées

Les traversées isolantes ont pour but d'assurer la liaison électrique entre les extrémités des enroulements primaire et secondaire, d'une part, et les lignes d'arrivée et de départ, d'autre part, à travers le couvercle ; d'où le nom de traversées. Leurs fonctions sont principalement l'isolement du champ électrique et une fixation étanche et robuste sur le couvercle. Il existe plusieurs types de traversée. Pour les tensions jusqu'à quelques dizaines de kV le corps des traversées est généralement constitué d'un bloc unique de porcelaine, qui est un matériau isolant [2].



Fig. I.20. Traversé porcelaine [2].



Fig. I.21. Traverse condensateur [2].

I.6.5. Equipement [2]

I.6.5.1. Changeurs de prise

Le changeur de prise est un ensemble de quelques spires qui sont condensés en série avec les spires de l'enroulement haute tension. Elles permettent de modifier le rapport de transformation en charge et hors charge d'un transformateur de puissance sur une plage de réglage, on distingue deux types de changeur de prise en charge et hors charge (à vide).

I.6.5.2. Refroidissement

Dans les transformateurs de puissance le refroidissement s'effectue via cette huile circulant en circuit fermé de la partie active, siège des pertes vers une source froide à laquelle il abandonne des calories celle-ci peut être :

- directement la surface de la cuve pour les petites puissances,
- des aéroréfrigérants,
- des radiateurs,
- des hydro réfrigérants.

I.6.5.3. Conservateur

Le conservateur (réservoir d'expansion) est utilisé pour les transformateurs dits « respirant » son rôle est de permettre la dilatation de l'huile en fonction de la température.

La surface du diélectrique peut être en contact avec l'air ambiant (conservateur classique) ou être séparée par une paroi étanche souple (conservateur à diaphragme).

I.6.5.4. Coffret des auxiliaires

Le coffret des auxiliaires contient :

- appareillage de commande et de protection des ventilateurs des pompes,
- borniers de raccordement des contacts des appareils de mesure et de protection,
- résistance de chauffage.

I.6.5.5. Coffret de commande du changeur de prise en charge

Ces équipements permettent de commander les changeurs de prise en charge qui se trouve à l'intérieur de la cuve du transformateur.

I.7. Utilisations de transformateur de puissance [2]

Les transformateurs de puissance sont des appareils très employés dans les réseaux électriques et les applications industriels.

- la sortie des centrales électriques,
- transport d'énergie électrique,

- distribution d'énergie électrique,
- les applications industrielles (transformateur de four et sous-station ferroviaires).

Un transformateur peut assurer deux fonctions :

- élever ou abaisser une tension alternative monophasée ou triphasée,
- assurer l'isolation entre deux réseaux électriques (isolation galvanique entre deux réseaux électriques).

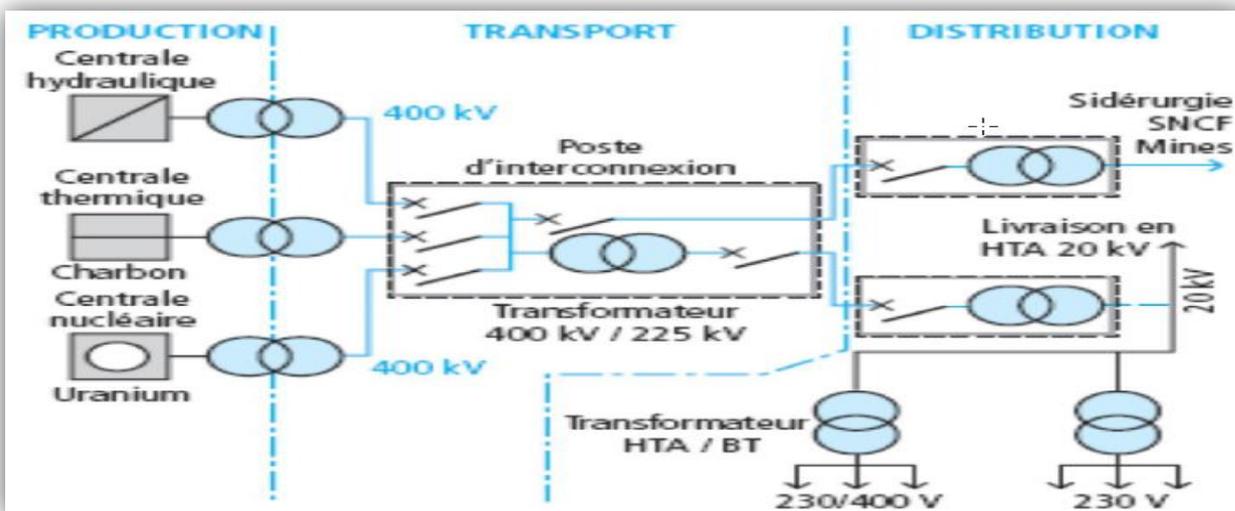


Fig. I.22. Emplacement d'un transformateur dans le réseau électrique [2]

I.8. Types des transformateurs de puissances [2]

I.8.1. Transformateur immergé

Le transformateur est disposé dans un bain d'huile qui assure l'isolement et le refroidissement. Ce transformateur est moins onéreux et a des pertes moindres que le transformateur sec.



Fig. I.23. Transformateur immergé dans l'huile [2]

I.8.2. Transformateurs secs [2]

Les enroulements BT et les enroulements HT sont concentriques et enrobés dans une résine époxy. Le transformateur sec peut être disposé dans une enveloppe de protection qui permet de l'isoler du monde extérieur et d'assurer l'évacuation de la chaleur au travers de ses parois.

Le transformateur sec présente les meilleures garanties de sécurité contre la pollution (pas de fuite de liquide, pas de vapeurs nocives en cas d'incendie).



Fig. I.24. Transformateur sec [2]

I.8.3. Autotransformateur [2]

Cet appareil présente l'avantage d'un dimensionnement plus faible que celui d'un transformateur, à puissance traversant égale. Il se distingue du transformateur par le fait qu'il existe un point commun aux enroulements primaire et secondaire. Etant donné qu'il n'y a plus d'isolation galvanique entre les enroulements primaire et secondaire, tout défaut se manifestant sur un réseau se propage immédiatement sur le second.

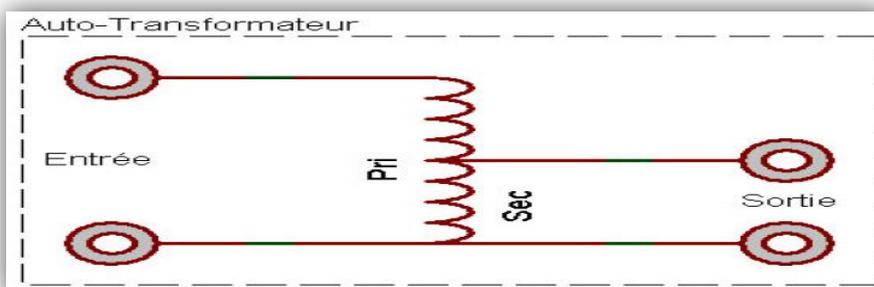


Fig. I.25. Schéma d'un autotransformateur [2]

I.9. Protection des transformateurs [6]

La protection des transformateurs a une triple mission :

1. protéger le transformateur contre les perturbations extérieures, court-circuit, surtensions, surcharges ;
2. préserver les réseaux connectés et l'environnement des effets des défauts se produisant dans le transformateur ;
3. surveiller le fonctionnement du transformateur, avertir d'une évolution dangereuse et limiter les dégâts en cas d'avarie.

I.9.1. Protections électriques [6]

I.9.1.1. Protection par relais à maximum d'intensité (I_{max})

Des relais reliés à des transformateurs de courant (équivalents d'un ampèremètre en haute tension) déclenchent le transformateur suite à une surintensité temporaire, fixée selon un seuil.

I.9.1.2. Protection « masse cuve »

Très souvent la cuve est isolée du sol par des plaques isolantes au niveau de ses galets, et est mise en un unique point à la terre. Si un courant de défaut passe du circuit électrique (enroulement, connexion) à la masse à l'intérieur du transformateur, celui-ci sera drainé inévitablement par cette connexion unique de mise à la masse de la cuve. Sur celle-ci se trouve alors un transformateur de courant, appelé couramment « TI masse-cuve » qui au-delà d'une certaine valeur de courant, de défaut donc, déclenche alors le transformateur.

I.9.1.3. Protection différentielle

Elle compare les courants entrant et sortant du transformateur, et décèle ainsi les courts-circuits internes et les amorçages à la masse.

I.9.1.3.1. Protections contre les surtensions

Pour se protéger des surtensions sont souvent mises en place : soit des éclateurs sur les traversées, soit des parafoudres à l'extérieur, voire dans certains cas à l'intérieur, du transformateur.

I.9.2. Protections thermiques

Sur le transformateur sont montés plusieurs thermomètres et des images thermiques donnant une image de la température du cuivre. Depuis quelques années des fibres optiques sont aussi installées dans les enroulements permettant une mesure plus fine et plus rapide de cette température.

I.9.3. Autres protections

I.9.3.1. Relais Buchholz

Le relais Buchholz (Fig. I.26) est installé sur tous les transformateurs de puissance immergés dans l'huile entre le haut de la cuve et le conservateur. Tout accident interne important se traduit par :

- Un dégagement de gaz, qui fait descendre un flotteur et active une alarme (1er stade).
- Un mouvement d'huile importante en partie supérieure de la cuve, où se place le relais, qui fait basculer un flotteur et provoque le déclenchement du transformateur (2ème stade).

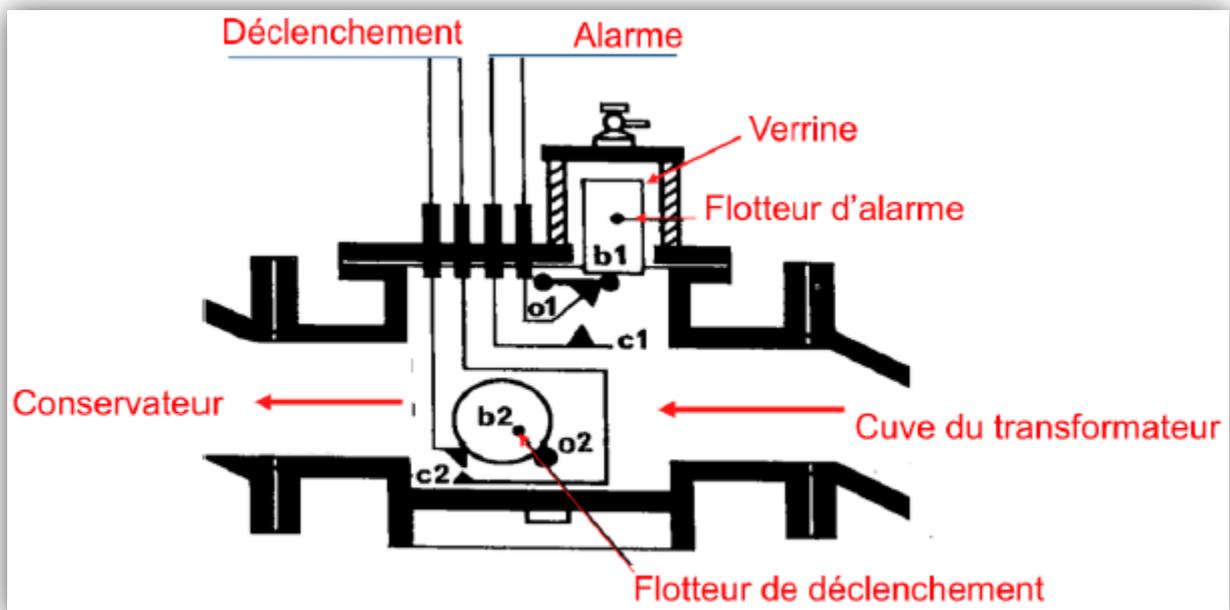


Fig. I.26. Schéma d'un relais Buchholz [6]

I.9.3.2. Le relais RS 1000

Le compartiment hermétique du régleur en charge, le commutateur, possède toujours aussi sa propre protection qui déclenche le transformateur sur mouvement d'huile : le relais« RS 1000».

I.9.3.3. Soupape de surpression

Une soupape de surpression est une ouverture fermée par une plaque sous pression d'un ressort. En cas de surpression interne soudaine, due à un arc de forte puissance typiquement, l'huile peut mécaniquement s'évacuer par la soupape, évitant la déformation de la cuve.

I.9.3.4. Protections incendie

Des protections incendie constituées de billes thermo fusibles liées à un contact peuvent être placées sur la cuve, pour en cas de feu déclencher une alarme et/ou un système d'extinction d'incendie.

I.11 Conclusion

Les transformateurs de puissance sont des appareils complexes, qui doivent tenir de nombreuses et fortes contraintes, de natures diverses, durant leur cycle de vie.

Dans ce chapitre nous avons présenté quelques généralités sur les transformateurs électriques, nous avons aussi donné un aperçu sur les principaux éléments qui les constituent, leur rôle et leur importance dans cette machine statique.

A la fin de ce chapitre, les différents modes de protection du transformateur ont été introduits pour mieux cerner son fonctionnement.

CHAPITRE II
Protection des
transformateurs
électriques dans
l'unité industrielle

II.1. Introduction

Dans ce chapitre on va présenter une étude sur la protection des transformateurs électriques dans l'unité industrielle cas de l'ENICAB BISKRA.

II.2. Définition de l'industrie de câble ENICAB Biskra

L'industrie du câble est située à l'ouest de la ville de Biskra dans la zone industrielle et occupe 42 hectares, dont 16 hectares sous forme d'ateliers de production, de bâtiments administratifs et de magasins, un partenariat entre l'État 30% et Condor 70%.

Contribution de l'industrie de câble avec un capital de 1,01 milliard de DA Wan, le volume de son activité reste important sur ses clients, dont certains se répartissent comme suit:

- Distributeurs officiels en partie
- La deuxième partie des filiales de SONLGAZ
- La troisième partie est spécifique à d'autres clients (l'installation et les fabricants de Sauna Tarak et ses filiales)

Contribution de l'industrie de câble est certifiée ISO 9001 en 2015 par l'Association française d'assurance qualité [7].



Fig. II.1. Vue générale de l'entreprise ENICAB [7]

II.3. Activité d'entreprise

La principale mission de la société est de développer, fabriquer et commercialiser des câbles d'énergie basse tension tels que: câbles locaux, câbles industriels, câbles isolés pour la distribution d'électricité, moyenne et haute tension [7].

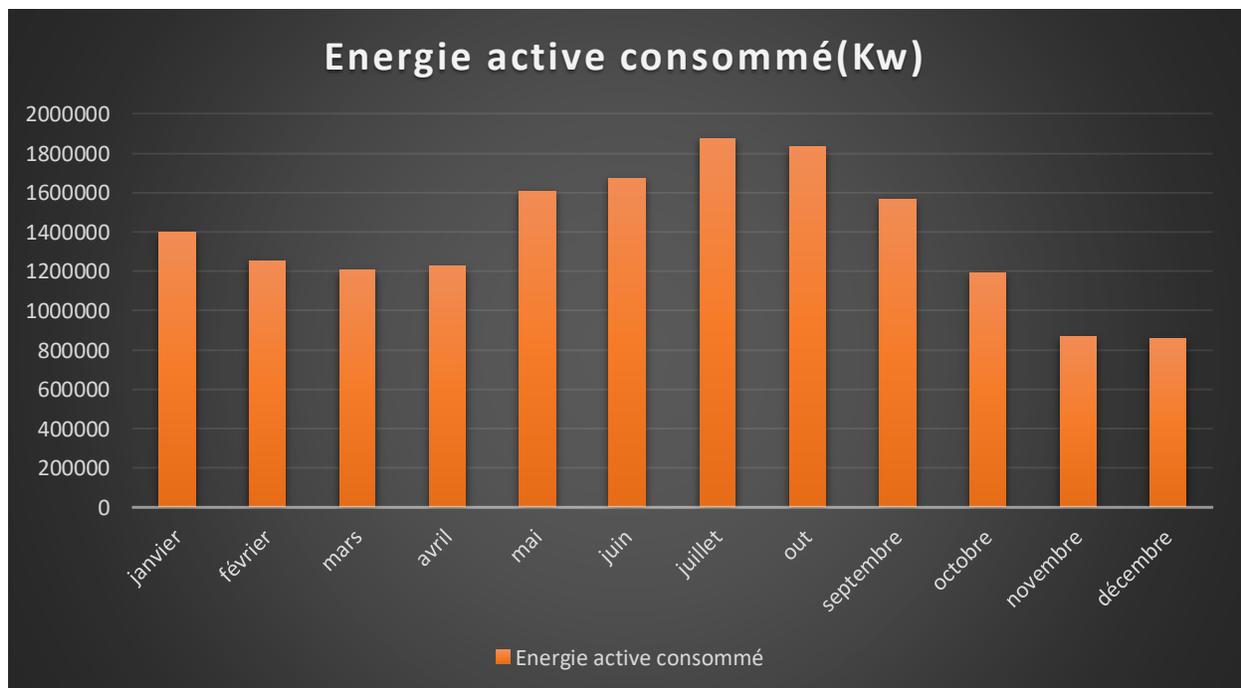


Fig. II.2. La Consommation d'énergie électrique de l'année 2017 de l'entreprise ENICAB

II.4. Transformation et distribution électrique dans l'entreprise ENICAB (Annexe A)

Il Ya Trois étages de tensions dans l'entreprise ENICAB : HT=60KV, MT=10 KV, BT=0.4 KV

Etages HT : Poste simplifié à deux travées 60KV.

- Deux transformateurs 60/10KV, 20 MVA
- Deux transformateurs auxiliaires 10/0.4 KV ,100 KVA

Etages MT : douze sous stations de transformation et distribution 10/0.4 KV comprenant

- 22 transfos à 1600 KVA
- 02 transfos à 2500 KVA
- 12 transfos à 1000 KVA
- Longueur réseau câbles 10 KV : 9565 m

SD/SL	TRF 1	TRF 2	TRF 3	TRF 4	TRF 5	TRF 6
SD I	1058	1642	1250	1638	****	****
SD II	755	2400	1944	2331	2531	1643
SD III	2305	2368	2114	2317	1952	1975
SD IV	1422	1731	1360	2248	****	****
SD V	1300	1300	****	****	****	****
SD VI	1000	1000	****	****	****	****
SL XI	1020	1350	****	****	****	****
SL XII	2145<	>	****	****	****	****
SL XIII	1591	1521	****	****	****	****
SL XIV	1694	1390	****	****	****	****
SL XV	950	950	****	****	****	****
SL XVI	750	1050	****	****	****	****
GE	700	****	****	****	****	****

Tab. II.1. La puissance installée

II.5. Transformateur à huile 60/10KV

Transformateur abaisseur de station électrique, triphasé 20 MVA 60/10 kV comme il est illustré dans la (Fig. II.3), situé dans le bâtiment de commande de l'usine (BC/CU), sa fonction est de convertir une tension donnée de 60 KV en une autre tension (plus bas) 10KV avec stabilité de puissance.

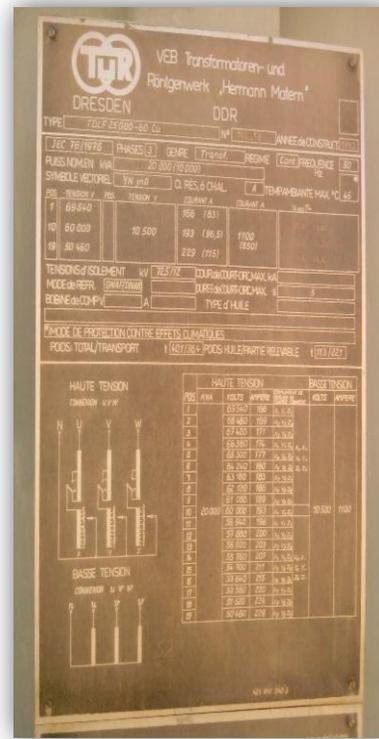


Fig. II.3. Transformateur à huile 60/10KV

- ✚ Principales informations de la plaque signalétique d'un transformateur de station électrique alimentant une usine industrielle :

Puissance	20 MVA
Tension HT	60 KV \pm 16%
Tension MT	10 KV
Réglage	En charge 19 positions
Couplage	YN yn0
Tension de court-circuit	10.3 %
Courant nominal	1100 A
Fréquence	50 Hz
Température max c°	45 °
Type d'huile	BORAK 22
Mode de refroidissement	ONAF

Tab. II.2. Plaque signalétique transformateur à huile 60kv/10kv

II.6. Construction de transformateur à huile 60/10KV

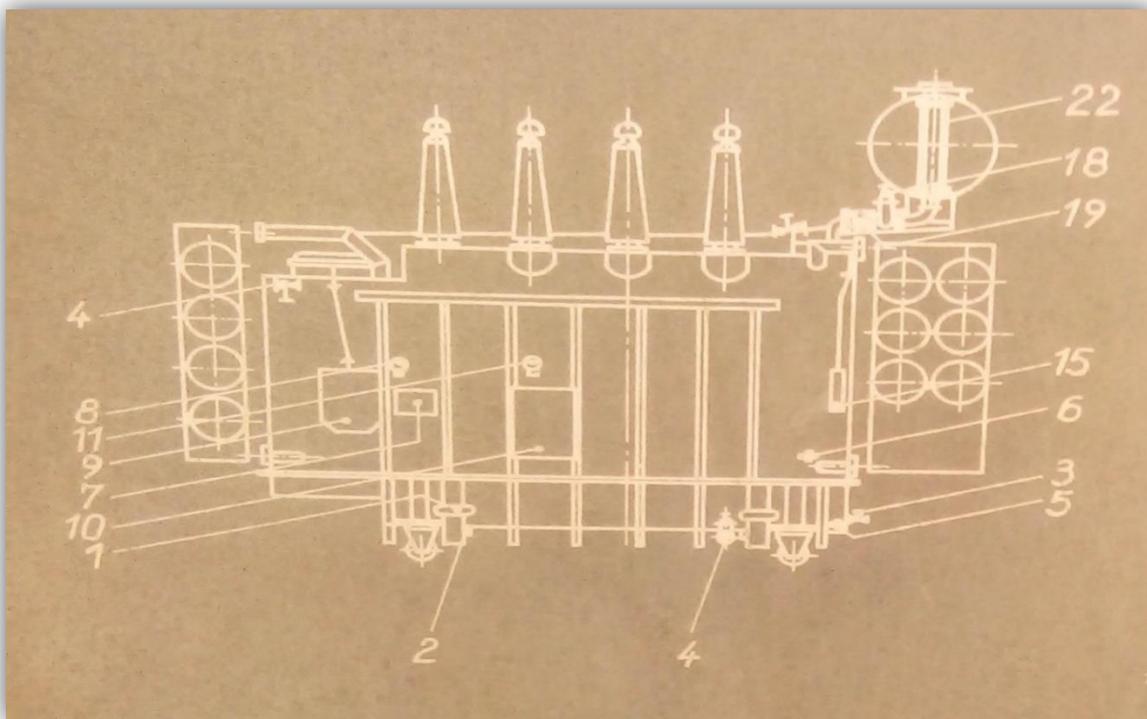


Fig. II.4. Description du transformateur à l'huile

1-Appui de vérin, 2-prise de mise à la terre, 3-vanne de vidange, 4-vanne de rincage, 5-robinet de prise d'échantillon d'huile, en-bas, 6- robinet de prise d'échantillon d'huile, en-haut, 7-boîte à bornes, 8-téléthermomètre à ressort, 9-commande par moteur, 10-armoires de commande pour ventilateur, 11- téléthermomètre à ressort pour ventilateurs, 15-déshydrateur d'air, 18-vanne pour la conduite de raccordement du conservateur d'huile, 19-relais buchholz, 22-indicateur du niveau d'huile.

II.7. Protection des transformateurs à huile 60/10KV

Tous les deux transformateurs de la (Fig. II.5) ont un dispositif de protection séparé travaillant sans influence de l'un sur l'autre.

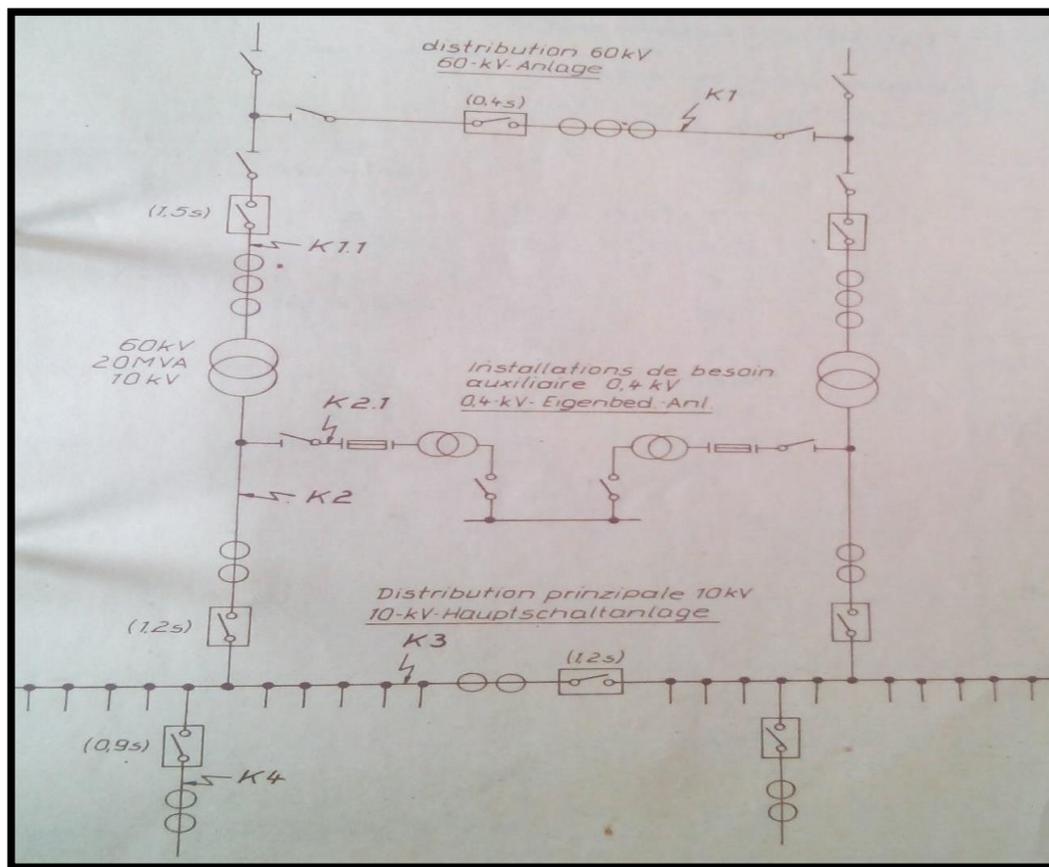


Fig. II.5. Schéma de la alimentation et distribution 60 KV

Le dispositif de protection principale du transformateur est une protection différentielle de courant. La protection sera limitée par les transformateurs de courant au côté 60 KV et au côté 10 KV du transformateur. un ordre de déclenchement de ce dispositif de protection agit simultanément sur

le disjoncteur de l'installation de 60 KV ,sur le disjoncteur principale de l'installation de 10 KV et sur le disjoncteur principale de l'installation de 0.4 KV(blocage des tensions de retour).

Des relais temporaire de surintensité sont également prévus avec la protection différentielle, sur coté HT et pour le coté BT ces relais entraînent un déclenchement retardé des disjoncteur en cas de surintensité, créés par des défauts.

Une protection contre les surcharges est également joint au dispositif de protection. Cette protection empêche le réglage des transformateur en cas de surcharge . cet état sera indiqué sur le panneau de signalisation du tableau de commande.

Des relais de signalisation de contact à la terre sont placés du coté HT et BT des transformateurs. Lors d'un contact à la terre, ces relais empeche le réglage des transformateurs (réglage de tension). Simultanément ,sur le panneau de signalisation du tableau de commande, l'apparition d'un contact à la terre sera indiquée.

Par cette protection , aucun déclenchement des disjoncteurs sera réalisé. Des opérations de couplage correspondantes sont à entreprendre par le personnel de service en dépendance des condition de travail [7].

II.8. Les différents types des Protections sur les transformateurs à huile 60/10KV

II.8.1. Protection externe

II.8.1.1. Relais à maximum de courant RSf 5

✚ Applications :

Pour le déclenchement instantané d'interrupteur dans le cas de surintensités dues aux surcharges ou court-circuit. Destiné, avant tout, aux installations demandant un pourcentage de retour élevé une faible consommation et une résistance élevée aux courts-circuits. Le fonctionnement du relais est indiqué par un dispositif de signalisation sous forme de volet annonceur. Pour obtenir un déclenchement retardé. Le RSf 5 peut être utilisé en combinaison avec un relais temporisé [7].

✚ Mode de fonctionnement

Lorsque l'intensité du courant parcourant l'enroulement du relais prend une valeur égale ou supérieure à la valeur de réglage, l'armature pivotante passe en position d'action actionnant le contact et le dispositif de signalisation le courant retombé à une valeur inférieure à la valeur de retour, l'armature pivotante et le contact rentrent en position de départ. Le dispositif de signalisation doit être relevé à main [7].



Fig. II.6. Relais à maximum de courant RSf 5

II.8.1.2. Relais à minimum ou maximum de tension RUF 5

✚ Applications

Pour le déclenchement instantané d'interrupteur dans le cas de chute ou manque de la tension secteur et dans le cas de surintensités. Destiné, avant tout, aux installations demandant un pourcentage de retour élevé. Le fonctionnement du relais est indiqué par un dispositif de signalisation sous forme de volet annonceur [7].

✚ Mode de fonctionnement : (relais à minimum de tension)

Lorsque le relais est alimenté en tension secteur, l'armature pivotante provoque la fermeture du contact de travail ou l'ouverture du contact de repos, après relèvement du volet annonceur, le relais est prêt ou service. Au moment où la tension prend une valeur égale ou inférieure à la retombée de l'armature pivotante et ainsi l'actionnement du contact et la chute du volet. Lorsque la tension reprend une valeur égale ou supérieure à la valeur donnée par le réglage et le pourcentage de retour, l'armature est de nouveau attirée et le contact actionné. Le volet annonceur doit être relevé à main [7].

✚ Mode de fonctionnement : (relais à maximum de tension)

Dans le cas de surtensions, l'armature pivotante manœvrera le contact et produira la chute du volet annonceur.



Fig. II.7. Relais à minimum ou maximum de tension RUF 5

II.8.1.3. Relais à retard indépendant à max de courant RSZ 3f2

✚ Applications

Ces relais s'utilisent pour le déclenchement retardé d'interrupteur dans le cas surcharge ou de court-circuit. Les relais se distinguent par une faible consommation et un pourcentage de retour relativement élevé, accompagnés d'une précision de fonctionnement remarquable et d'une résistance élevée aux courts-circuits. C'est pourquoi, ils conviennent particulièrement à la protection de génératrices et alternateur, de transformateur, de lignes. Ils permettent le réglage d'échelons de temps très petits [7].

✚ Mode de fonctionnement

En cas de surintensité les systèmes d'excitation à maximum de courant du conducteur affecté ferment le circuit du système de temporisation. Le système de temporisation ferme instantanément le contact auxiliaire et ou bout du temps réglé, le contact principal, déclenchant l'interrupteur. Dans le cas ou pendant le temps réglé le courant prend une valeur égale [7].



Fig. II.8. Relais à retard indépendant à max de courant RSZ 3f2

II.8.1.4. Protection différentielle

La protection différentielle est obtenue par la comparaison de la somme des courants primaires à la somme des courants secondaires. L'écart de ces courants ne doit pas dépasser une valeur i_0 pendant un temps supérieur à t_0 , au-delà il y a déclenchement.

La protection différentielle transformatrice est une protection principale aussi importante que les protections internes transformatrices. Cette protection à une sélectivité absolue, il lui est demandé, en plus, d'être très stable vis-à-vis des défauts extérieurs.

Le principe de fonctionnement de la protection est basé sur la comparaison des courants entrants et des courants sortants du transformateur [8].

Cette protection s'utilise:

- ✓ Pour détecter des courants de défaut inférieurs au courant nominal,
- ✓ Pour déclencher instantanément puisque la sélectivité est basée sur la détection et non sur la temporisation.



Fig. II.9. Relais différentielle

II.8.2. Protection interne

II.8.2.1. Protection par Buchholz

Les arcs qui prennent naissance à l'intérieur de la cuve d'un transformateur décomposent certaine quantité d'huile et provoquent un dégagement gazeux. Les gaz produits montent vers la partie supérieure de la cuve de transformateur et de là vers le conservateur à travers un relais mécanique appelé relais BUCHHOLZ (Fig. II.10). Ce relais est sensible à tout mouvement de gaz ou d'huile. Si ce mouvement est faible, il ferme un contact de signalisation (alarme BUCHHOLZ). Par ailleurs, un ordre de déclenchement est émis au moyen d'un autre contact qui se ferme en cas de mouvement important. Les gaz restent enfermés à la partie supérieure du relais, d'où ils peuvent être prélevés, et leur examen permet dans une certaine mesure de faire des hypothèses sur la nature de défauts [8]:

- Si les gaz ne sont pas inflammables on peut dire que c'est l'air qui provient soit d'une poche d'air ou de fuite d'huile.
- Si les gaz s'enflamment, il y a eu destruction des matières isolantes donc le transformateur doit être mis hors service.

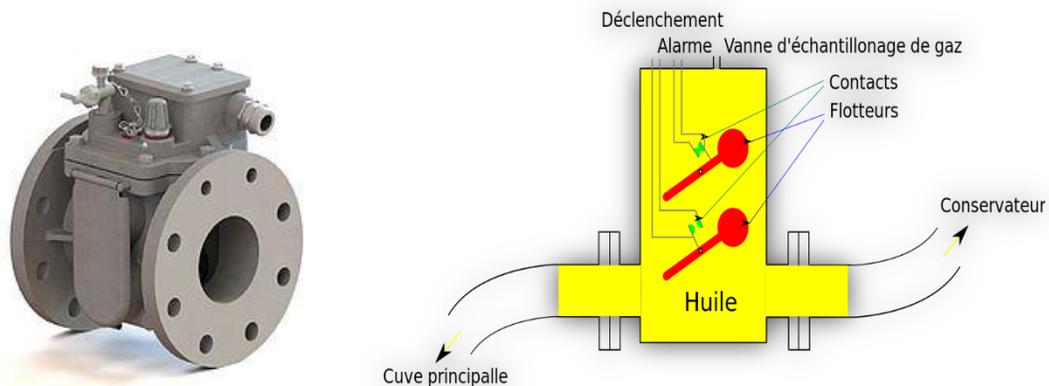


Fig. II.10. Relais BUCHHOLZ [8]

II.8.2.2. Protection de masse cuve

Une protection rapide, détectant les défauts internes au transformateur, est constituée par le relais de détection de défaut à la masse de cuve (Fig. II.11) Pour se faire, la cuve du transformateur, ses accessoires, ainsi que ses circuits auxiliaires doivent être isolés du sol par des joints isolants. La mise à la terre de la cuve principale du transformateur est réalisée par une seule connexion courte qui passe à l'intérieur d'un TC tore qui permet d'effectuer la mesure du courant s'écoulant à la terre.

Tout défaut entre la partie active et la cuve du transformateur est ainsi détecté par un relais de courant alimenté par ce TC. Ce relais envoie un ordre de déclenchement instantané aux disjoncteurs primaires et secondaires du transformateur [8].

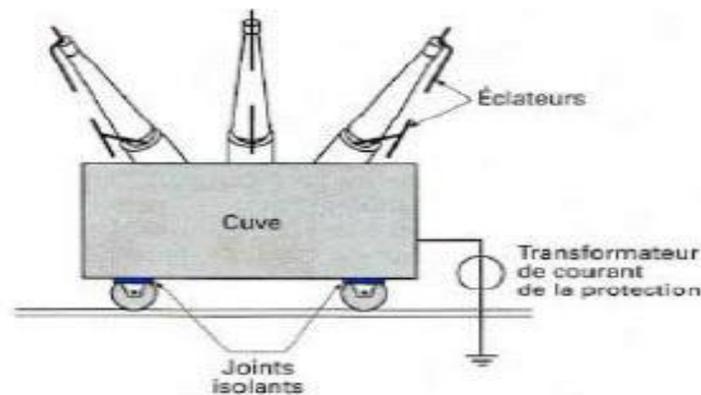


Fig. II.11. Protection de masse cuve

II.8.2.3. La protection thermique

Elle est utilisée pour protéger les transformateurs de puissance contre les surcharges. Pour détecter l'existence d'une surcharge, elle fait une estimation de l'échauffement des bobines primaire et secondaire à protéger à partir de la mesure du courant [8].

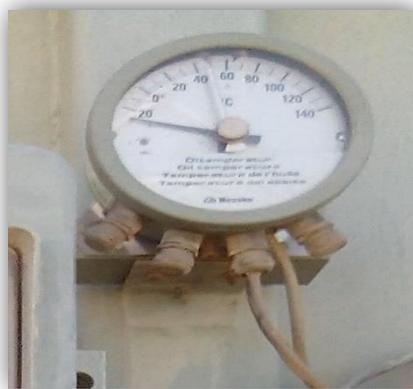


Fig. II.12. Manomètre

II.9. transformateur à sec 10/0.4KV

Transformateur abaisseur de sous-station électrique d'une usine industrielle ENICAB, triphasé 1 MVA 10/0.4kV, dans le centre de consommation d'énergie électrique.



Fig. II.13. Transformateur à sec 10/0.4KV

- ✚ Un exemple (**Tab. II.3.**) des principales informations de la plaque signalétique d'un transformateur de sous-station électrique alimentant une usine industrielle :

Puissance	1 MVA
Tension MT	10 KV
Tension BT	0.4 KV
Couplage	Dy5
Tension de court-circuit	10.3 %
Courant nominal	1100 A
Fréquence	50 Hz
Température max c°	45 °
Indice de protection	IP 00

Tab. II.3. Plaque signalétique transformateur à sec 10/0.4KV

II.10. Protection des transformateurs à sec 10/0.4KV

Les transformateurs à sec dans les caisses de transfo sont équipés en série d'un appareil de protection totale du moteur et de contacts de porte, puisque la tension de commande est formée dans le champ d'alimentation BT, donc après le transfo, on doit installer ultérieurement encore un relais temporisé pour éviter que lors d'une conjonction, il n'y ait pas tout de suite un signal « hors » depuis pour l'interrupteur HT [7].

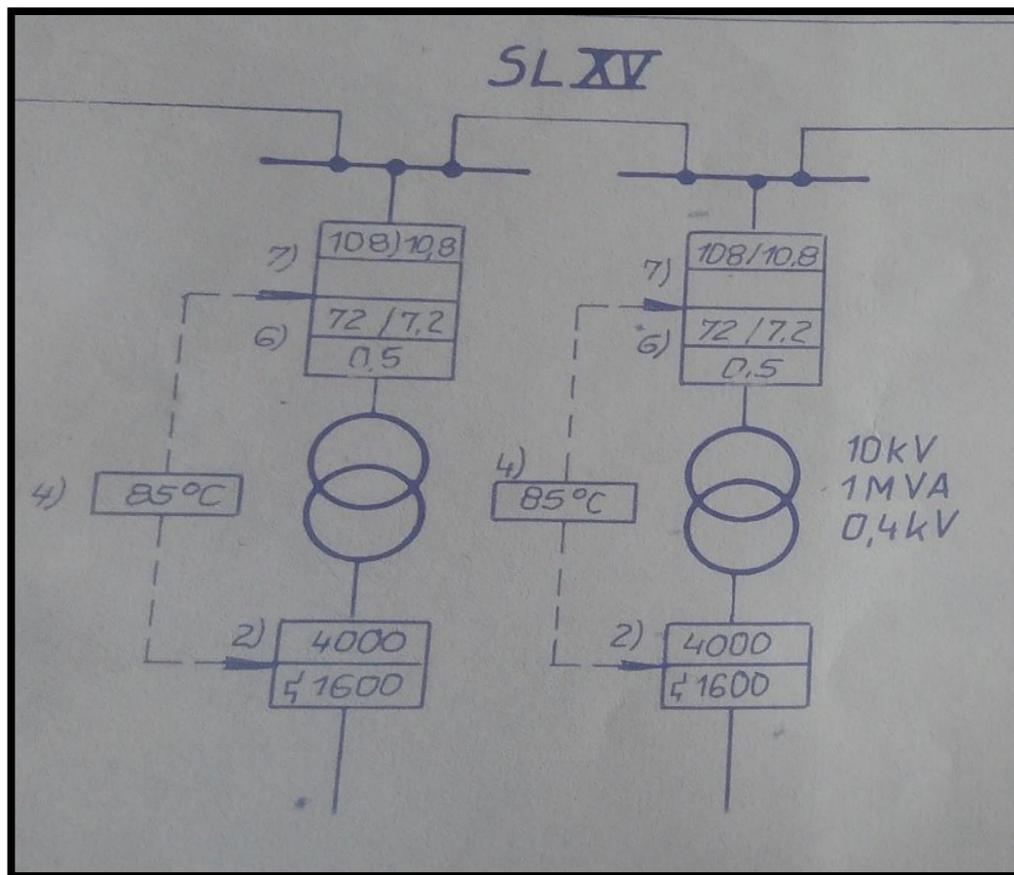


Fig. II.14. Schéma de la distribution 10 KV

II.11. Comparaison des transformateurs

Il Ya deux types de transformateurs (d'huile et sec) de l'entreprise ENICAB BISKRA. Le tableau (Tab. II.4) suivant montre la comparaison entre les deux types de transformateurs de puissance triphasé.

Transformateur d'huile	Transformateur à sec
Milieu extérieure.	Milieu intérieure.
Provoquer une surpression déformation de la cuve.	Mieux pour la sécurité contre l'incendie
Provenir d'un joint défectueux ou de la rupture d'une canalisation.	Eviter la pollution (pas de fuite de liquide, pas de vapeurs nocives en cas d'incendie).
Peuvent polluer la nappe phréatique.	Installés dans une enveloppe de protection.
Dégage des produits toxique et génère du opaque gênant l'intervention des secours.	Ils doivent être protégés contre les contacts directs.
Plusieurs protections.	Seulement la protection thermique.

Tab. II.4. La Comparaison entre transformateur d'huile et transformateur à sec

II.12. Conclusion

Le présent chapitre, nous a permis étude pratique sur les différents types de protections des postes transformation de l'ENICAB BISKRA principalement le transformateur d'huile 60/10KV et le transformateur sec 10/0.4KV.

CHAPITRE III
Maintenance des
transformateurs
électriques dans
l'unité industrielle

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons dans un premier temps, des concepts de la maintenance appliquée à l'étude des transformateurs de puissance, en citant les différents défauts qui peuvent survenir durant son service, ainsi que l'introduction sur le diagnostic de défaut et les démarches de diagnostic sur un transformateur.

En deuxième partie de ce chapitre, on va présenter une base théorique sur la maintenance préventive dans deux types de transformateurs (d'huile et sec) de l'entreprise ENICAB BISKRA.

III.2. Définition de maintenance

C'est l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise [6].

III.3. Politique de maintenance

La politique de maintenance peut être répertoriée en deux grandes catégories : la maintenance corrective et maintenance préventive.

La maintenance corrective est la maintenance qui intervient suite défaillance du système alors que la maintenance préventive est réalisée lorsque le système est encore en fonctionnement [2].

Dans la (Fig. III.1), nous présentons les différentes politiques suivant le type de maintenance étudiée. Alors que la mise en place d'opérations correctives ne dépend que de l'occurrence d'une panne, les maintenances préventives peuvent être programmées en fonction de différents paramètres [8].

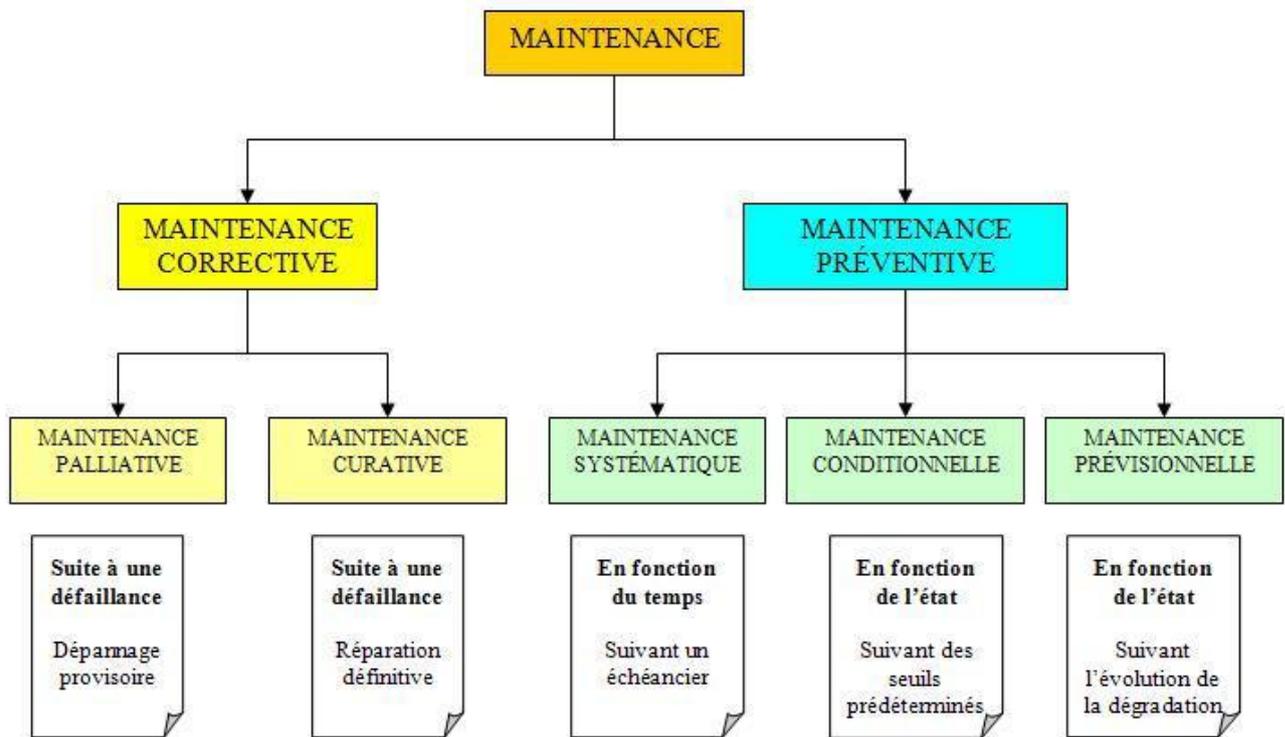


Fig. III.1. Les différentes politiques de maintenance [8]

III.4. Maintenance appliquée au transformateur

III.4.1. Actions entreprises pour la maintenance des transformateurs [6]

Selon l'exploitation plus ou moins intensive du transformateur et sa criticité, L'espace des actions de maintenance préventive variera dans le temps. Les actions réalisées, ainsi que leurs fréquences, seront le résultat d'une politique de maintenance définie par l'exploitant. Il est possible que tout, ou partie, de ces actions soient sous-traitées à des entreprises spécialisées.

La tendance dans les politiques de maintenance des parcs de transformateurs évolue plutôt d'une maintenance systématique sur tous les appareils, à intervalles réguliers, vers une maintenance conditionnelle afin d'optimiser les coûts. Dans ce cas, il est nécessaire d'établir l'état d'un appareil, principalement par le suivi des analyses d'huile ou des conditions d'exploitation, avant d'engager des opérations, un entretien ou une réparation de celui-ci.

III.4.1.1. Principales opérations de maintenance corrective [6]

- Le diagnostic après incident pour cibler l'état précis du transformateur,
- Le remplacement d'accessoires,
- La réparation du matériel,

- Le traitement voire le remplacement d'huile selon les défauts engendrés,
- L'achat d'un nouveau transformateur.

III.4.1.2. Principales opérations de maintenance préventive [6]

- Le contrôle quotidien du transformateur,
- Le prélèvement d'huile, son analyse et son suivi dans le temps,
- Le changement de joints, ou des traversées,
- L'adaptation d'une nouvelle réfrigération,
- Le resserrage de la partie active.

La connaissance des opérations passées de maintenance, ou réparation, effectuées sur un appareil peut faciliter le diagnostic en expliquant ou excluant certaines faiblesses.

III.5. Diagnostic de défaut [2]

Le diagnostic est une tâche hautement cognitive l'objectif visé par le diagnostic, consiste à déterminer les causes d'un dysfonctionnement à partir d'observation et de symptômes constatés, les principaux enjeux du diagnostic de défaut consiste à :

- Identifier et cibler les défauts et les dégâts éventuels.
- Identifier les causes de ces défauts, lorsque cela est possible.
- Estimer les risques inhérents à ces défauts.

III.6. Démarches de diagnostic sur un transformateur [2]

La démarche de diagnostic sur un transformateur se déroule selon l'acheminement des étapes suivantes:

1. **Observation** : on obtient des données diverses sur un cas considéré.
2. **Diagnostic** : c'est la reconnaissance/détection d'un état de défaut suivant un processus dédié, par comparaison avec des fonctionnements en état normal ou anormal.
3. **Localisation de défauts** : en repartant de l'étape 1, et demandant plus d'informations par des questions et/ou des essais, on réitère le processus jusqu'à ce que le défaut soit identifié, ou l'absence de défaut confirmée.

4. **Remise en état** : du système avec des propositions pour aller dans ce sens.

Un exemple d'un cas réel, cette démarche se traduit par :

1. Observation :

- Un exploitant appelle avec un problème ou une question sur un transformateur. Il est la première source d'information sur le transformateur et son environnement.
- L'interlocuteur de l'exploitant organise les informations fournies utiles pour le diagnostic. Ce seront les premières entrées du processus itératif qui suit.

2. Diagnostic

- Un expert fait la synthèse des informations disponibles et émet des hypothèses sur le(s) défaut(s) le(s) plus probable(s).

3. Localisation de défauts

- L'expert, s'il a des doutes, préconise des mesures complémentaires pour mieux localiser le défaut, ou infirmer sa présence, sans décuver le transformateur dans la mesure du possible. Les étapes 2 et 3 sont répétées jusqu'à atteindre une confiance suffisante dans le diagnostic établi.

4. Remise en état

- Une fois le diagnostic posé, l'expert propose les actions nécessaires pour rétablir le fonctionnement normal du transformateur.

La méthodologie de diagnostic mise en œuvre ici a prouvé son efficacité, mais repose entièrement sur l'expert. Or l'expertise en Algérie, est difficile et longue à acquérir, cela est dû à plusieurs facteurs, à savoir : le nombre d'experts techniques est faible ou inexistant, une seule entreprise de conception et de fabrication de transformateurs est disponible et les modules d'enseignement des matières de maintenance et de fiabilité au sein des universités manquent de pratiques et d'application.

Dans ce contexte, un outil systématique d'aide au diagnostic, formalisant l'interprétation des informations et résultats de mesure, et en particulier les liens logiques récurrents qui peuvent l'être à l'avantage notable de faciliter le travail de l'expert.

III.7. Les principaux défauts sur un transformateur [6]

III.7.1. Défauts dus aux contraintes diélectriques

Si les caractéristiques des isolants se dégradent trop, due à une humidité interne excessive par exemple, ou ses contraintes sont au-delà de leurs limites, alors il peut se développer plusieurs défauts, tels :

✓ **Un amorçage des pièces sous tension:**

- **entre elles**, comme entre enroulements ou entre spires Figure (III.2)

- **avec la masse**, comme l'amorçage d'une traversée ou d'un enroulement à la cuve ou au circuit magnétique.

✓ **Des décharges partielles:** Ce sont des micros décharges locaux au sein d'un isolant solide, qui tend à se propager dans le temps.



Fig. III.2. Amorçage franche entre spires [6]

Tous ces défauts créent du carbone, qui est conducteur, impactant ainsi la tenue diélectrique localement. Ce phénomène étant irréversible, il est impossible de retrouver un fonctionnement normal suite à un amorçage diélectrique.

III.7.2. Défauts dus aux surintensités [6]

Les conséquences de ces surintensités sont de trois ordres :

- ✓ **Efforts électrodynamiques** dus aux forces de Laplace dans les bobinages entraînant des contraintes mécaniques élevées. Ces efforts peuvent être particulièrement significatifs lors des efforts de court-circuit, jusqu'à quelques centaines de tonnes. Le livre (ABB Short-circuit Duty of Power Transformer, 2007) est particulièrement complet sur le sujet. Un exemple franc de déformation mécanique d'enroulement est visible sur la (Fig. III.3). Pour s'en affranchir en partie, les enroulements en usine sont serrés jusqu'à plusieurs centaines de tonnes, pour les empêcher d'avoir un degré de liberté malgré les efforts développés.
- ✓ **Échauffements élevés des enroulements**, dégradant les isolants solides en particulier.
- ✓ **Chute de tension au secondaire**, perturbant la stabilité du réseau.



Fig. III.3. Effort électrodynamique franche [6]

III.7.3. Défauts électriques [6]

Les effets de ces contraintes électriques sont principalement des points chauds dus à des échauffements locaux anormaux sur les éléments suivants :

- **Connexions dans certains changeurs de prises en charge**, en particulier les contacts mobiles de l'inverseur s'ils sont peu manipulés, alors qu'ils voient passer en permanence le courant de charge du transformateur.
- **Connexions des changeurs de prise hors tension**. Les contacts mobiles sur les positions en service qui ne sont jamais bougés peuvent se dégrader avec le temps.

- **Connexion entre le cuivre des enroulements et une connexion interne**, comme pour les prises de réglage ou les connexions qui passent dans les traversées. Ces différentes connexions sont brasées, serties ou boulonnées, et suivant la qualité du contact et les conditions d'exploitation, certains de ces raccords peuvent chauffer anormalement. Un point chaud très avancé sur un contact boulonné est visible sur la (Fig. III.4). La formation de points chauds, constitués de particules de carbone solides dues à la décomposition de l'huile, peut dans certains cas provoquer la dégradation d'isolants. Dans les stades les plus avancés, la formation de carbone sous forme solide peut diminuer des distances diélectriques internes, allant jusqu'à un amorçage interne dans le pire des cas.



Fig. III.4. Point chaud sur connexion boulonnée [6]

III.7.4. Défauts thermiques [6]

Dans tous les cas, ces contraintes thermiques provoquent le vieillissement :

- **des papiers isolants**, et la dégradation de leurs propriétés diélectriques par voie de conséquence. Ceux-ci sont d'autant plus critiques qu'ils ne sont pas, sauf reconstruction, remplaçables au long de la vie d'un transformateur. Par exemple dans le cas extrême de la (Fig. III.5) toute la bobine est noircie de l'intérieur à cause d'un fonctionnement à des températures excessives.
- **de l'huile isolante**. La température, l'humidité et l'oxygène accélèrent le vieillissement de l'huile, qui perd donc ses qualités d'origine, ce qui peut mener à un défaut.

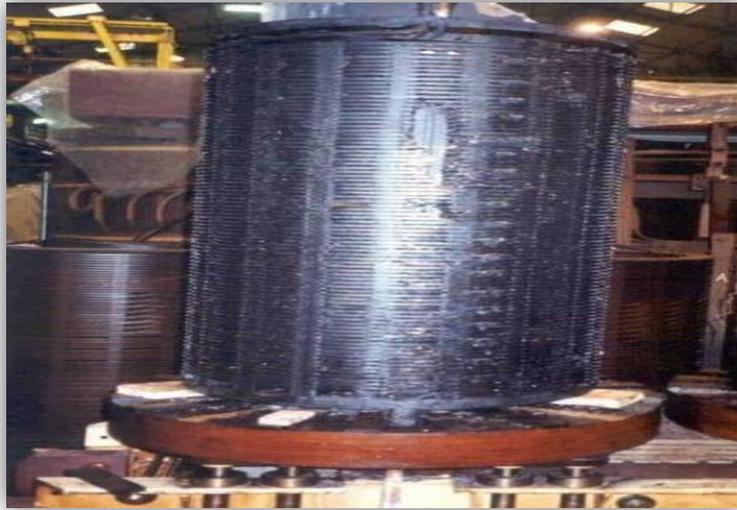


Fig. III.5. Échauffement excessive d'un enroulement [6]

III.7.5. Défauts électromagnétiques

En cas de mises à la masse en plusieurs points du circuit magnétique (Fig. III.6) ou des éléments métalliques de serrage de la partie active, on peut avoir comme défauts typiquement des points chauds dus à :

- ✓ des courants de Foucault induits, anormalement importants;
- ✓ des dégradations d'isolants internes dus à ces courants de Foucault anormaux.

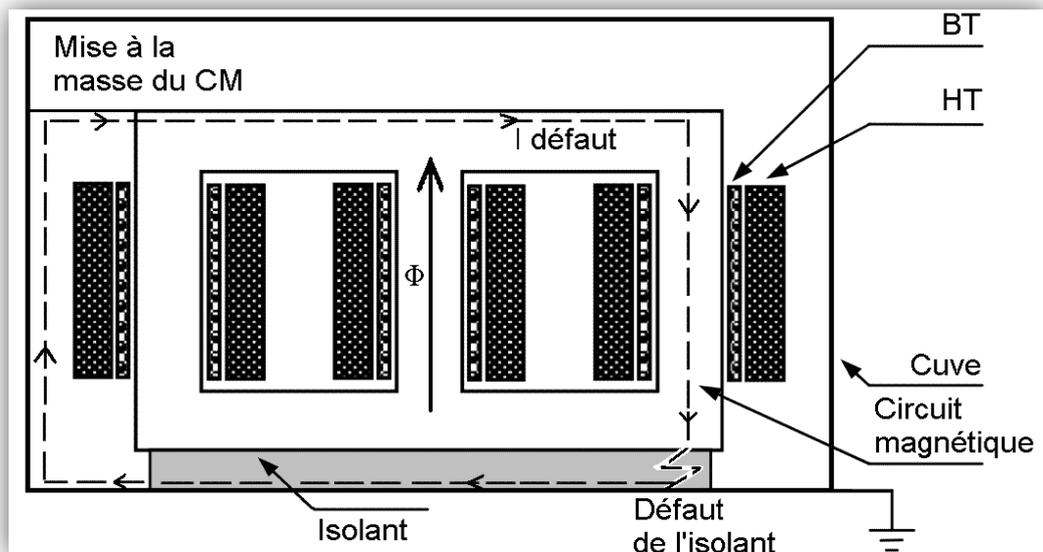


Fig. III.6. Schéma d'une boucle de courant de défaut avec le circuit magnétique [6]

III.7.6. Défauts mécaniques

Les principaux défauts liés aux contraintes mécaniques sont :

- **Des points chauds sur des régleurs de prises** si ceux-ci sont mécaniquement mal alignés.
- **La diminution de distances diélectriques**, dues au déplacement interne massif d'un circuit magnétique de plusieurs centimètres, suite à un choc mécanique comme lors de la chute d'un transformateur (Fig. III.7).
- **Des dégradations d'isolants internes** dues à des vibrations anormales, elles-mêmes dues à un manque de serrage interne à la construction, ou suite à des chocs importants.
- **Les fuites de joints** mécaniquement trop serrés et/ou chauffés (Fig. III.8) lors de leur installation puis leur exploitation.



Fig. III.7. Problème de transport [6].



Fig. III.8. Joint de traversée écrasé [6].

III.8. Maintenance préventive dans cas de l'ENICAB BISKRA [7]

III.8.1. Maintenance préventive de transformateur à huile 60/10KV

Equipement : transfo travée 61

Type des opérations : entretien préventif

➤ Désignation des opérations

1. Cellule d'alimentation 10 KV

- ✓ Contrôle visuel de la cellule : fixation de toutes les barres de contact et jonction de terre, le serrage de toutes bornes secondaires et le niveau d'huile du disjoncteur.
- ✓ Effectuer le nettoyage avec un chiffon propre et sec sur toutes les pièces de la cellule qui sont accessibles sans aucun démontage : isolateurs supports, traversées et barreaux des pole du disjoncteur.
- ✓ Graisser tous les contacts et pièces mobiles de la cellule.
- ✓ Essai mécanique de fonctionnement : déplacer le chariot sectionneur entre les positions de service et de coupure en observant le fonctionnement des fins de courses
- ✓ L'appoint d'huile isolante doit être réalisé après claquage d'huile.
- ✓ Lors du nettoyage du disjoncteur hors de la cellule, détendre d'abord les ressorts en effectuant un enclenchement/déclenchement manuel.
- ✓ Essai de fonctionnement sans tension.

2. Transformateur : T61 60/10kv

- ✓ Contrôle le niveau d'huile du transformateur à l'indicateur de niveau tout en tenant compte de la température.
- ✓ Contrôle l'étanchéité d'huile (relais Buchholz, vannes d'arrête,..)
- ✓ L'appoint d'huile doit être réalisé par une huile neuve d'une tension de claquage supérieure à 50 kv
- ✓ Etablir des essais des protections suivant :
 - Avertissement et déclenchement alarme Buchholz transformateur
 - Avertissement et déclenchement alarme Buchholz changeur de prise
 - Déclenchement thermique du transformateur
 - Contrôle le blocage du transfo, le graissage des paliers.
 - Contrôle le bruit du fonctionnement des ventilateurs
 - Nettoyage et graissage des paliers des moteurs des ventilateurs.

- Nettoyage d'abord les fuites d'huile constatée sur le transformateur (vannes d'arrêt, relais Buchholz) avec de l'essence.
- Procéder au serrage des boulons, vannes d'arrêt.
- Laver le transformateur avec de l'eau savonneuse particulièrement sur des vannes d'arrêt, relais Buchholz.
- Nettoyage des isolateurs avec un chiffon propre et sec
- Vérification de la couleur caractéristique du SILICAGEL, si 75% environ du remplissage ont changé de couleur le gel de silice doit être remplacé

3. Régleur :

- ✓ Nettoyage des membranes, en utilisant de gasoil pour le nettoyage et de l'huile comme lubrifiant.
- ✓ Elimination des fuites d'huile du régleur.

III.8.2. Maintenance préventive de transformateur à sec 10/0.4kv

Equipement : transfo à sec 10/0.4kv

Type des opérations : entretien préventif

➤ Désignation des opérations

1. Transformateur à sec : 10/0.4kv

- ✓ Procéder au dépoussiérage du transformateur (dépôts de corps étrangers sur les enroulements et les canaux de refroidissement.)
- ✓ Nettoyage des isolateurs avec un chiffon propre et sec
- ✓ Vérifier le serrage parfait de tous les raccords à vis aux cotés MT et BT surtout en cas de fonctionnement à fortes vibrations.
- ✓ Contrôle le blocage du transfo, le graissage des paliers.

2. Disjoncteur 0.4 kv

- ✓ Procéder au dépoussiérage du disjoncteur 0.4 kv
- ✓ Nettoyage et graissage des paliers et joints rotatifs au gas-oil par une mince couche de vaseline
- ✓ Contrôle et adaptation des roues dans les rails
- ✓ Vérifier l'état des contacts, nettoyer leur surface d'appui
- ✓ Contrôle le bon fonctionnement de la commande avant la remise en service

III.9. Conclusion

Le présent chapitre, nous a permis d'exprimer quelques notions de la maintenance industrielle telle que les types de maintenance, étudié des différentes techniques de diagnostic qui nous permettent détecter les défauts qui existent dans les transformateurs de puissance, Les principaux défauts sur un transformateur,

Et enfin une étude sur la maintenance préventive réalisée sur des transformateurs d'huile 60/10Kv et transformateurs à sec 10/0.4Kv dans le cas de l'entreprise ENICAB BISKRA.

CONCLUSION
GENERALE

Conclusion Générale

Nous avons réalisé cette étude sur la protection et maintenance de deux types de transformateur de puissance : transformateur à huile et transformateur sec dans entreprise ENICAB.

Les dispositifs de protection surveillent en permanence l'état électrique des éléments d'un réseau et provoquent leur mise hors tension (par exemple l'ouverture d'un disjoncteur), lorsque ces éléments sont le siège d'une perturbation indésirable: court-circuit, défaut d'isolement, surtension,...etc.

La protection réalisée au niveau de poste de transformateur à huile 60/10KV a été :

- ✓ Protection contre les surcharges **RSZ 3f2**.
- ✓ Protection contre les courts-circuits **RSf 5**.
- ✓ Protection contre les défauts à la terre.
- ✓ Protection contre les surtensions **RUF 5**.
- ✓ Protection différentielle **RQS 4**.

La maintenance au niveau de l'entreprise c'est la maintenance préventive organisée comme suit :

➤ Pour le Transformateur à huile : 60/10KV, elle est basée sur :

- ✓ Le contrôle de niveau d'huile du transformateur à l'indicateur de niveau tout en tenant compte de la température.
- ✓ Le contrôle de l'étanchéité d'huile (relais Bochholz, vannes d'arrêt,..)
- ✓ L'appoint d'huile qui doit être réalisé par une huile neuve d'une tension de claquage supérieure à 50 KV.

➤ Pour le Transformateur à sec : 10/0.4KV consiste à :

- ✓ Procéder au dépoussiérage du transformateur.
- ✓ Nettoyer les isolateurs avec un chiffon propre et sec.
- ✓ Vérifier le serrage parfait de tous les raccords à vis aux cotés MT et BT.
- ✓ Contrôler le blocage du transformateur.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Beboukha Abd Errazzak et Ghilani Moussa, « Modélisation et simulation de la protection différentielle d'un transformateur de puissance », Mémoire de Fin d'Etude En vue de l'obtention du diplôme de master académique, Université d'EL-Oued, Soutenu 23-24 Juin 2014.

[2] Abdelkebir Amir et Saadi Nassim, « Application de la Logique Floue pour le diagnostic des Transformateurs de Puissance par Analyse des Gaz dissous », mémoire de magister université de BOUMERDES, Juin 2017.

[3] Imad Eddine Harzelli, « Contribution à la modélisation par la méthode des volumes finis d'un transformateur de courant », Mémoire de magister, département d'électrotechnique, Université de Biskra, Octobre 2014.

[4] AMARI Mansour, « Transformateur triphasé », Cours Electro technique GE 2, Année Universitaire 2011-2012.

[5] Plaque signalétique d'un transformateur triphasé,

crochet.david.online.fr/bep/copie%20serveur/bep.../transformateur%20triphase.doc

[6] Iilten Amine et Hasniou Zakaria, «Etudes des paramètres influant sur la tension de claquage de l'huile BORAK 22 utilisée dans les transformateurs de puissance », Mémoire de master en Electrotechnique, Université Abderrahmane Mira de Bejaia, 2014/2015.

[7] Documentation technique de l'ENICAB câblerie électrique de Biskra.

[8] Benmechta M, «Protection des postes HTB/HTA», Projet de fin d'études, diplôme de master, Universitaire d'Ain Témouchent, 2013/2014.

Annexe

Annexe A :

Schéma électrique globale de réseau de distribution 60 KV dans l'entreprise ENICAB