

Chapitre 4

Régime du neutre

CHAPITRE 4 : Régime du neutre

1- Introduction

Dans un système triphasé, il y a trois tensions simples mesurées par rapport à un point commun dit 'point neutre', dont le potentiel est normalement nul. Ce point neutre est d'habitude le point commun entre trois enroulements montés en étoile, et il peut être sorti ou non, distribué ou non. En général, le neutre est toujours distribué en basse tension, mais rarement en moyenne tension. Le point neutre peut être relié ou non à la terre. On parle alors de régime du neutre. La mise à la terre du neutre est souvent réalisée au niveau des postes.

En plus de l'architecture du réseau, le régime du neutre est un facteur déterminant pour la sécurité d'alimentation (continuité de service), la protection du réseau et le personnel.

2- Potentiel du neutre

Soit, le réseau de la Figure. 4.1 constitué de quatre fils (trois phases et un neutre).

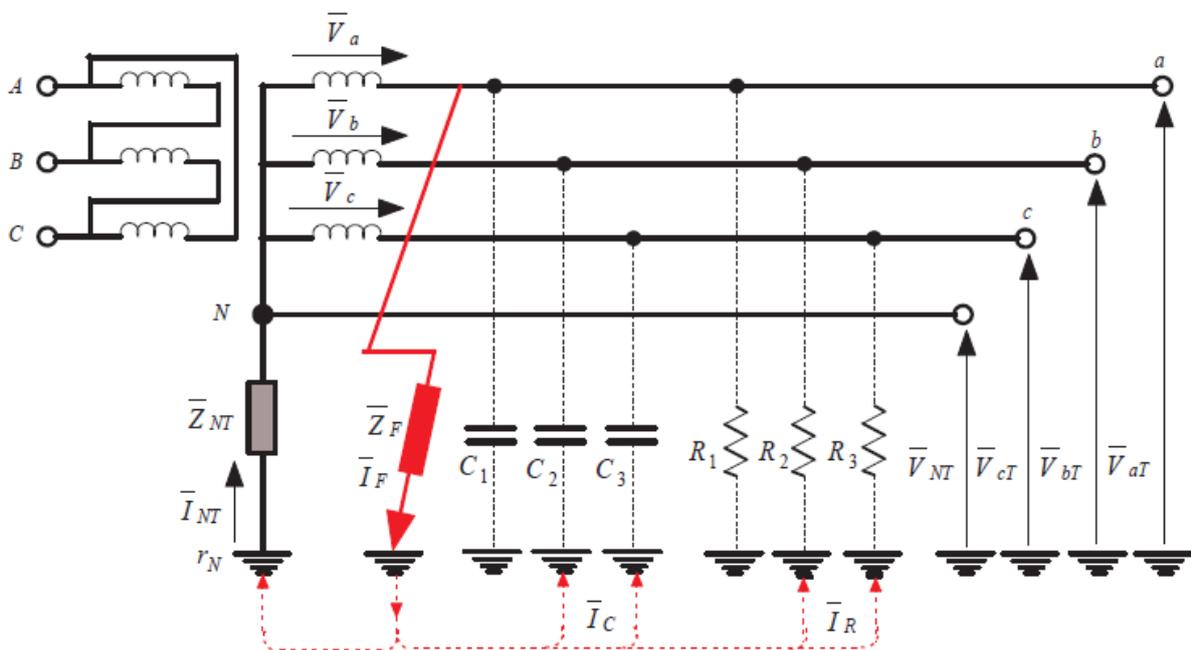


Figure 4.1 : Schéma d'un réseau électrique.

Les paramètres transversaux de ce réseau sont représentés par les capacités de fuite C1, C2 et C3 qu'on suppose identiques, et des résistances de fuite suffisamment élevées pour négliger leurs effets.

Les autres paramètres sont

\bar{Z}_{NT} Impédance de mise à la terre du neutre ;

\bar{Z}_F Impédance de défaut ;

r_N Résistance de la prise de terre du neutre ;

\bar{I}_F Courant de défaut ;

\bar{V}_k (k = a; b; c) Tension phase-neutre ;

\bar{V}_{kT} (k = a ;b; c) Tension de phase-terre ;

\bar{V}_{kF} (k = a; b; c) Tension phase-terre de la phase en défaut ;

\bar{V}_{kF}^k (k = a; b; c) Tension phase-terre des phases saines.

Supposons un défaut entre la phase a et la terre à travers une impédance de défaut \bar{Z}_F Le courant de défaut à travers cette impédance passera par l'impédance de mise à la terre du neutre et les capacités entre les phases et la terre. Ainsi on peut établir l'équation suivante :

$$\bar{I}_F = \bar{I}_C + \bar{I}_R + \bar{I}_{NT} \dots\dots\dots(4.1)$$

Rappelons que les résistances de fuite sont tellement élevées que le courant \bar{I}_R peut être négligé. Pour les autres courants on peut écrire

$$\bar{I}_F = \frac{\bar{V}_{aT}}{\bar{Z}_F}, \quad \bar{I}_C = -jC\omega\bar{V}_{aT} - jC\omega\bar{V}_{bT} - jC\omega\bar{V}_{cT} \quad \text{et} \quad \bar{I}_{NT} = -\frac{\bar{V}_{NT}}{\bar{Z}_{NT}} \dots\dots(4.2)$$

Avec :

$$\bar{V}_{aT} = \bar{V}_a + \bar{V}_{NT}, \quad \bar{V}_{bT} = \bar{V}_b + \bar{V}_{NT}, \quad \text{et} \quad \bar{V}_{cT} = \bar{V}_c + \bar{V}_{NT} \dots\dots\dots(4.3)$$

Faisant intervenir l'opérateur de rotation $a = e^{j2\pi/3}$, l'équation précédente peut s'écrire comme suit

$$\bar{I}_F = \frac{\bar{V}_a}{\bar{Z}_F} + \frac{\bar{V}_{NT}}{\bar{Z}_F}, \quad \bar{I}_C = -jC\omega(\bar{V}_a + \bar{V}_{NT} + a^2\bar{V}_a + \bar{V}_{NT} + a\bar{V}_a + \bar{V}_{NT}) \quad \text{et} \quad \bar{I}_{NT} = -\frac{\bar{V}_{NT}}{\bar{Z}_{NT}} \dots\dots(4.4)$$

Sachant que $1 + a + a^2 = 0$, alors :

$$\bar{I}_C = -3jC\omega\bar{V}_{NT} \dots\dots\dots(4.5)$$

$$\bar{V}_{NT} = -\frac{\bar{Z}_{NT}}{\bar{Z}_{NT} + \bar{Z}_F + 3jC\omega\bar{Z}_{NT}\bar{Z}_F}\bar{V}_a$$

De manière générale si une phase k est en défaut phase-terre, alors le neutre est déplacé, et il est désormais porté à un potentiel par rapport à la terre :

$$\bar{V}_{NT} = -\frac{\bar{Z}_{NT}}{\bar{Z}_{NT} + \bar{Z}_F + 3jC\omega\bar{Z}_{NT}\bar{Z}_F}\bar{V}_k \dots\dots\dots(4.6)$$

Le courant entre le neutre et la terre est :

$$\bar{I}_{NT} = -\frac{\bar{V}_{NT}}{\bar{Z}_{NT}} = \frac{\bar{V}_k}{\bar{Z}_{NT} + \bar{Z}_F + 3jC\omega\bar{Z}_{NT}\bar{Z}_F} \dots\dots\dots(4.7)$$

Finalement, le courant de défaut :

$$\bar{I}_F = \frac{\bar{V}_k + \bar{V}_{NT}}{\bar{Z}_F} = \frac{\bar{V}_k}{\bar{Z}_F} \left[1 - \frac{\bar{Z}_{NT}}{\bar{Z}_{NT} + \bar{Z}_F + 3jC\omega\bar{Z}_{NT}\bar{Z}_F} \right] \dots\dots\dots(4.8)$$

Remarque : Le potentiel du neutre est aussi donné par :

$$\bar{V}_{NT} = -\bar{Z}_{NT}\bar{I}_{NT} \dots\dots\dots(4.9)$$

Ainsi, en l'absence de défaut, $I_{NT}= 0$, $V_{NT} = 0$ et les tensions phase-terre sont simplement égales aux tensions phase-neutre.

3- Analyse des différents régimes du neutre

Selon la valeur et la nature de l'impédance \bar{Z}_{NT} , on peut distinguer cinq types de mise à la terre du neutre :

1. Neutre isolé ou fortement impédant, ($Z_{NT} = \infty$) ;
2. Neutre directement mis à la terre, ($Z_{NT} = 0$) ;
3. Neutre mis à terre à travers une résistance, ($Z_{NT} = R$) ;
4. Neutre mis à la terre à travers une réactance inductive (inductance), ($\bar{Z}_{NT} = jL\omega$) ;
5. Neutre mis à la terre à travers une inductance accordée.

3-1 Neutre isolé (Figure 4.2)

Soit il n'existe aucune liaison électrique entre le point neutre et la terre, à l'exception des appareils de mesure ou de protection, soit l'impédance \bar{Z}_{NT} est très élevée (Figure 5.2).

Dans ce cas de figure le potentiel du neutre peut être écrite tout simplement comme :

$$\bar{V}_{NT} = -\bar{V}_k \dots\dots\dots(4.10)$$

C'est-à-dire : Le potentiel du point neutre par rapport à la terre est égal au potentiel de la phase en défaut par rapport au neutre.

Il n'y a aucun courant entre la terre et le neutre ($I_{NT} = 0$) est par conséquent, le courant de défaut sera égal au courant capacitif

$$\bar{I}_F = \bar{I}_C = -3jC\omega\bar{V}_{NT} \Rightarrow \bar{I}_F = 3jC\omega\bar{V}_k \dots\dots\dots(4.11)$$

Finalement, les tensions phase-terre deviennent en cas de défaut :

$$\begin{aligned} \bar{V}_{kT}^F &= \bar{V}_k + \bar{V}_{NT} = 0 \quad (\text{Si } k \text{ est la phase en défaut}) \\ \bar{V}_{kT}^F &= \bar{V}_k + \bar{V}_{NT} \Rightarrow V_{kT}^F = \sqrt{3}V_k \quad (\text{pour les autres phases}) \end{aligned}$$

Donc, si la phase k est en défaut à la terre, sa tension par rapport à la terre devient nulle, et les tensions par rapport à la terre sur les phases saines deviennent des tensions composées.

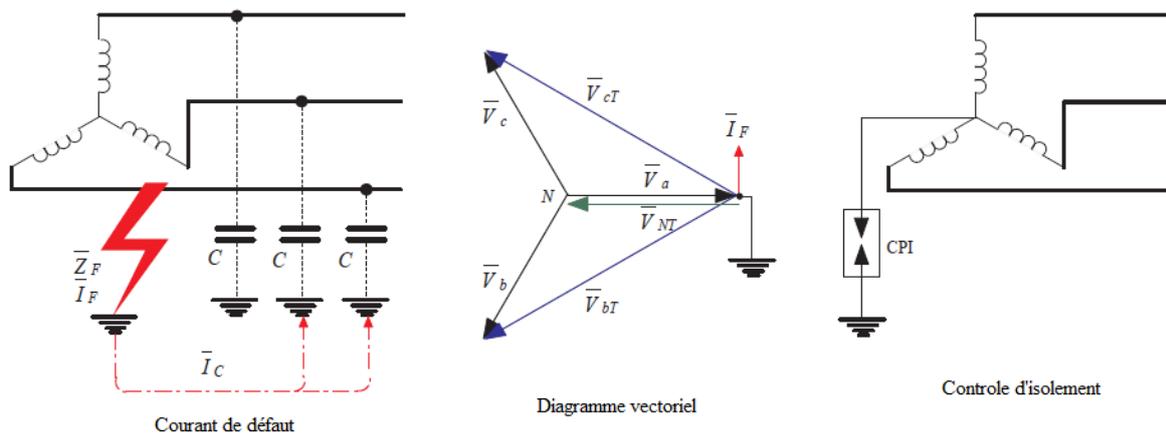


Figure 4.2 : Neutre isolé

Conclusions à retenir

Pour régime à neutre isolé, on peut observer deux points importants

1. Le courant de défaut est nul ou négligeable (il se résume au courant capacitif) ;

Ce point peut être interprété comme un avantage pour ce type de régime. En effet, même s'il y a un défaut d'isolement à la terre, le courant résultant est sans conséquences même si le défaut persiste pendant une longue durée notamment s'il s'agit d'une ligne aérienne. Pour les câbles, le courant de défaut peut atteindre quelques ampères par kilomètre, mais reste quant même sans conséquence sur le fonctionnement de la ligne. Vu la faible amplitude des courants de défaut pour ce régime, la protection contre les surintensités ne risque pas d'intervenir, ce qui permet une continuité de service pendant le défaut, ce qui est en soit un avantage important. Néanmoins, il est impératif de surveiller en permanence le niveau d'isolement par rapport à la terre. En effet, si un premier défaut d'isolement phase-terre n'est pas éliminé alors qu'un autre défaut d'une deuxième phase à la terre s'est produit, alors un court-circuit biphasé se produit et son intensité ne sera limitée que par les impédances de défaut. Dans ce cas la protection doit impérativement intervenir pour isoler les parties en défaut. Ceci dit qu'il faut éliminer immédiatement le premier défaut pour assurer une continuité de service

2. Les potentiels par rapport à la terre des phases saines sont multipliés par $\sqrt{3}$

Ceci représente un inconvénient majeur pour ce type de régime car, il provoque des surtensions (par rapport à la terre) sur les phases saines. Ceci provoquera à terme des dommages sur les isolants, et augmentera la probabilité d'un deuxième défaut.

3-2 Neutre directement mis à la terre (Figure5-3)

Le neutre est mis à la terre directement sans aucune impédance sauf celle de la liaison elle-même qu'on suppose négligeable, c'est-à-dire $Z_{NT} = 0$. Dans ce cas le potentiel du neutre est :

$$\bar{V}_{NT} = 0 \quad \dots\dots\dots(4.12)$$

Donc le potentiel du point neutre par rapport à la terre est nul.

Le courant terre-neutre sera égal au courant de défaut car le courant capacitif est négligeable.

$$I_F = I_{NT} = \frac{\bar{V}_{kT}}{Z_F} = \frac{\bar{V}_k}{\bar{Z}_F} \quad \dots\dots\dots(4.13)$$

Finalement, les tensions phase-terre deviennent en cas de défaut :

$$\bar{V}_{kT}^F = \bar{V}_k + \bar{V}_{NT} = \bar{V}_k \quad (\text{Si } k \text{ est la phase en défaut})$$

$$\bar{V}_{kT}^F = \bar{V}_k + \bar{V}_{NT} = \bar{V}_k \quad (\text{pour les autres phases})$$

Conclusions à retenir

Pour un neutre directement mis à la terre, si une phase est en défaut à la terre :

1. Le courant de défaut n'est limité que par l'impédance de défaut, et si cette impédance est faible alors le courant de défaut est très élevé (court-circuit) ;
2. Le point neutre n'est pas déplacé et les tensions phase-terre ne sont pas changées.

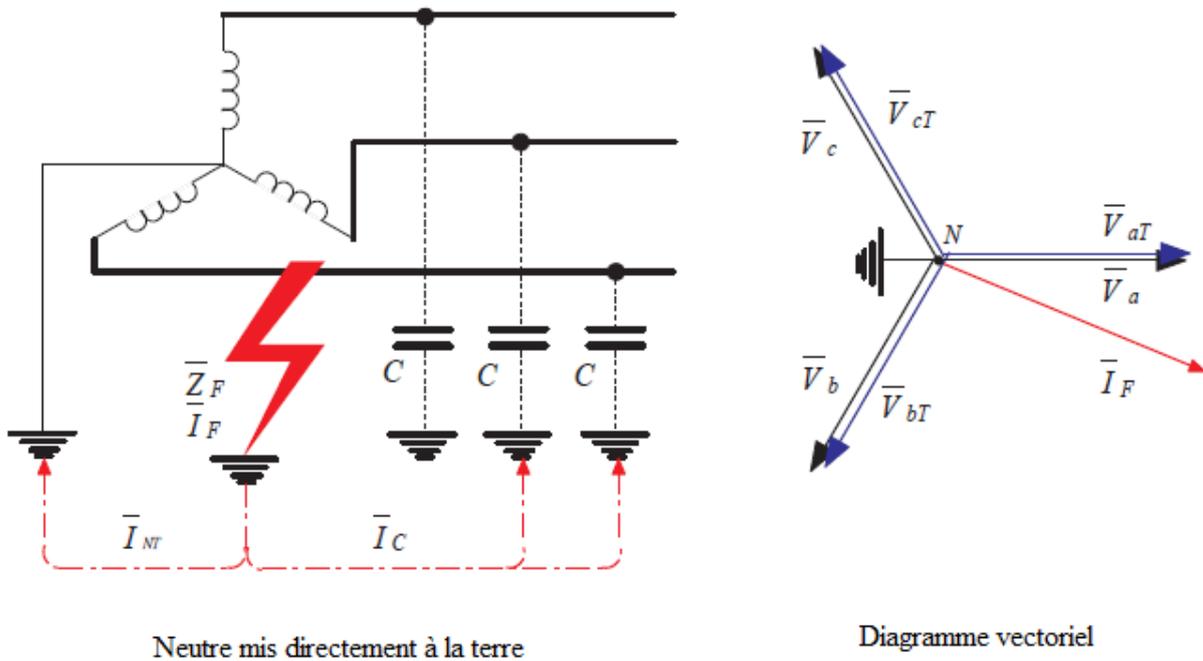


Figure 4.3 : Neutre mis directement à la terre

3-3 Neutre mis à la terre à travers une résistance

Pour ce type de régime, le neutre est mis à la terre à travers une résistance RNT afin de limiter le courant de défaut. Il y a deux façon de réaliser cette mise à la terre ; soit directement par la résistance, soit à travers un transformateur monophasé dont le secondaire est fermé sur le résistance RNT (Figure. 4.4)

Toujours par l'équation (3.7), le potentiel du neutre est

$$\bar{V}_{NT} = -\frac{R_{NT}}{R_{NT} + \bar{Z}_F + 3jC\omega R_{NT}\bar{Z}_F} \bar{V}_k \dots\dots\dots(4.14)$$

Le courant neutre-terre

$$\bar{I}_{NT} = -\frac{\bar{V}_{NT}}{R_{NT}} \dots\dots\dots(4.15)$$

Le courant capacitif

$$\bar{I}_C = -3jC\omega\bar{V}_{NT} \dots\dots\dots(4.16)$$

Ainsi, le courant de défaut sera égale à

$$\bar{I}_F = \bar{I}_{NT} + \bar{I}_C = -\frac{\bar{V}_{NT}}{R_{NT}} - 3jC\omega\bar{V}_{NT} \dots\dots\dots(4.17)$$

Si la phase k est en défaut à la terre, son potentiel par rapport à la terre devient

$$\bar{V}_{kT}^F = \bar{V}_k + \bar{V}_{NT} = \bar{V}_k \left[1 - \left(\frac{1}{1 + \frac{Z_F}{R_{NT}} + jC\omega\bar{Z}_F} \right) \right] \approx \bar{V}_k \left[1 - \left(\frac{1}{1 + \frac{Z_F}{R_{NT}}} \right) \right] \dots\dots(4.18)$$

Pour les phases saines, le potentiel par rapport à la terre dépendra de V_{NT}

Conclusions à retenir

Dans un régime où neutre mis à la terre à travers une résistance, le courant de défaut est limité et les surtensions sont moins importantes ; Néanmoins la continuité de service n'est pas toujours garantie, et il faut éliminer toujours le premier défaut. En peut dire que le premier l'objectif est de limiter les courants de défaut. En pratique, le dimensionnement de la résistance de mise à la terre doit limiter le courant de défaut à la terre entre 15 et 50 A si le réseau est destiné à alimenter une installation industrielle (à cause des machines tournantes). Par ailleurs, il faut que le courant dans la résistance de mise à la terre soit égale 2 fois le courant capacitif. Dans un réseau de distribution, ce courant peut prendre des valeurs plus élevées (100 à 300 A).

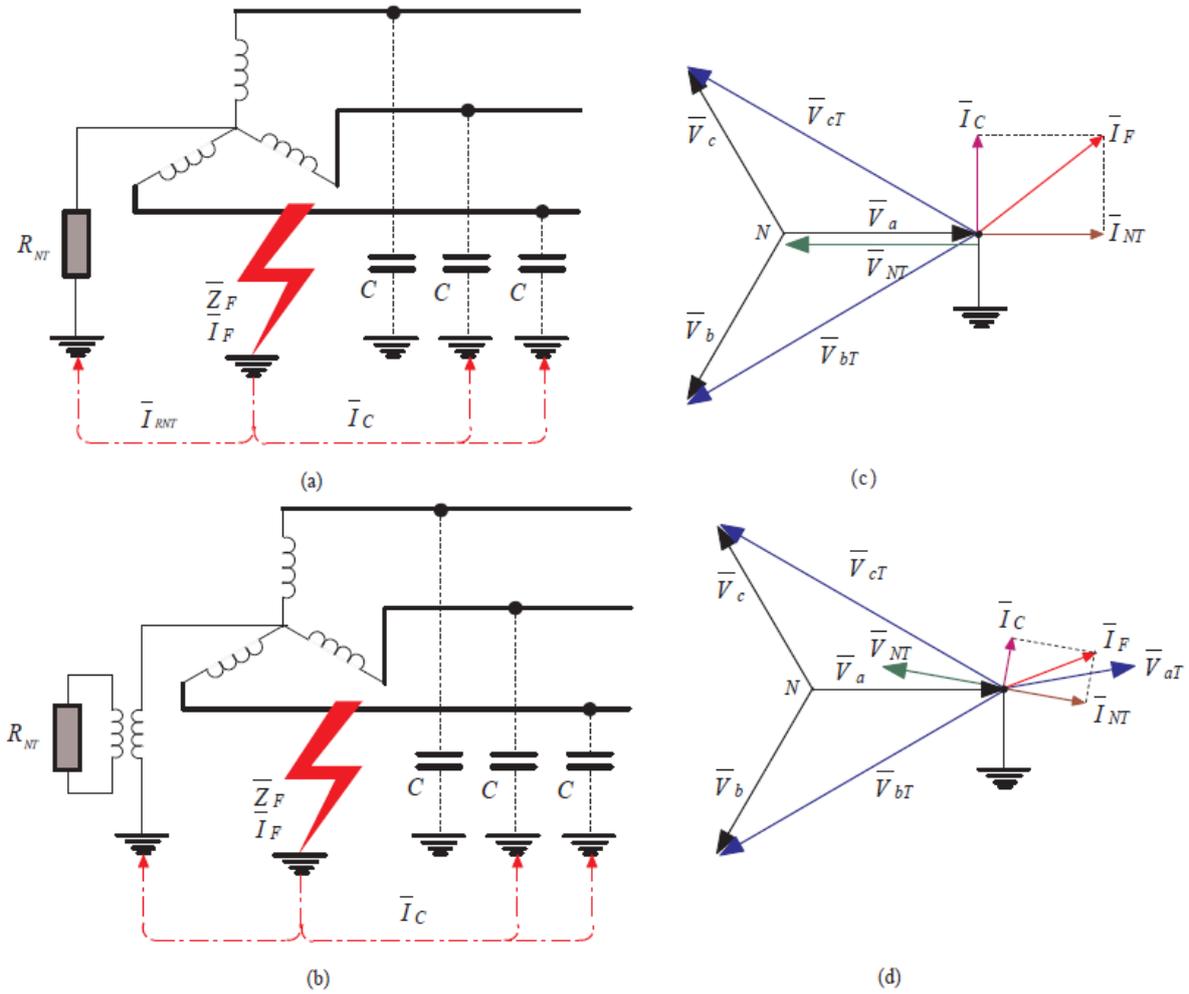


Figure 4.4 (a). Neutre mis à la terre à travers une résistance,
 (b). Mis à la terre par une résistance au secondaire d'un transformateur monophasé,
 (c). Diagramme vectoriel pour un défaut franc,
 (d). Diagramme vectoriel pour un défaut impédant.

3-4 Neutre mis à la terre à travers une inductance Figure (4.5)

Pour ce type de régime, le neutre est mis à la terre à travers une résistance LNT afin de limiter le courant de défaut . On peut toujours déterminer le potentiel du point neutre comme :

$$\bar{V}_{NT} = -\frac{jX_{NT}}{jX_{NT} + \bar{Z}_F - 3C\omega X_{NT}\bar{Z}_F} \bar{V}_k, \quad X_{NT} = L_{NT}\omega \quad \dots\dots\dots(4.19)$$

Le courant neutre-terre :

$$\bar{I}_{NT} = -\frac{\bar{V}_{NT}}{jX_{NT}} \quad \dots\dots\dots(4.20)$$

Le courant capacitif :

$$\bar{I}_C = -3jC\omega\bar{V}_{NT} \dots\dots\dots(4.21)$$

Ainsi, le courant de défaut sera égale à :

$$\bar{I}_F = \bar{I}_{NT} + \bar{I}_C = j\frac{\bar{V}_{NT}}{X_{NT}} - 3jC\omega\bar{V}_{NT} \dots\dots\dots(4.22)$$

Si la phase k est en défaut à la terre, son potentiel par rapport à la terre devient :

$$V_{kT}^F = V_k + V_{NT} = V_k \left[1 - \left(\frac{1}{1 - j\frac{Z_F}{X_{NT}} + jC\omega Z_F} \right) \right] \approx V_k \left[1 - \left(\frac{1}{1 - j\frac{Z_F}{X_{NT}}} \right) \right] \dots\dots\dots(4.23)$$

Pour les phases saines, le potentiel par rapport à la terre dépendra de V_{NT} .

Cas d'un défaut franc

Pour un défaut franc ($Z_F = 0$), on peut déduire des équations

$$\bar{V}_{NT} = -\bar{V}_k, \quad \bar{I}_F = j\bar{V}_k \left(\frac{1}{X_{NT}} - 3C\omega \right) \dots\dots\dots(4.24)$$

$$V_{kT}^F = V_k + V_{NT} = 0 \quad (\text{Si } k \text{ est la phase en défaut})$$

$$\bar{V}_{kT}^F = \bar{V}_k + \bar{V}_{NT} \Rightarrow V_{kT}^F = \sqrt{3}V_k \quad (\text{pour les autres phases})$$

Conclusions à retenir

Ce régime permet de limiter l'amplitude des courants de défaut et les surtensions. En pratique, il est recommandé de choisir la valeur de l'inductance de sorte à ce que le courant I_{NT} soit très supérieur au courant capacitif du réseau I_C . Dans les réseaux de distribution on adopte des valeurs élevées (300 à 1000A).

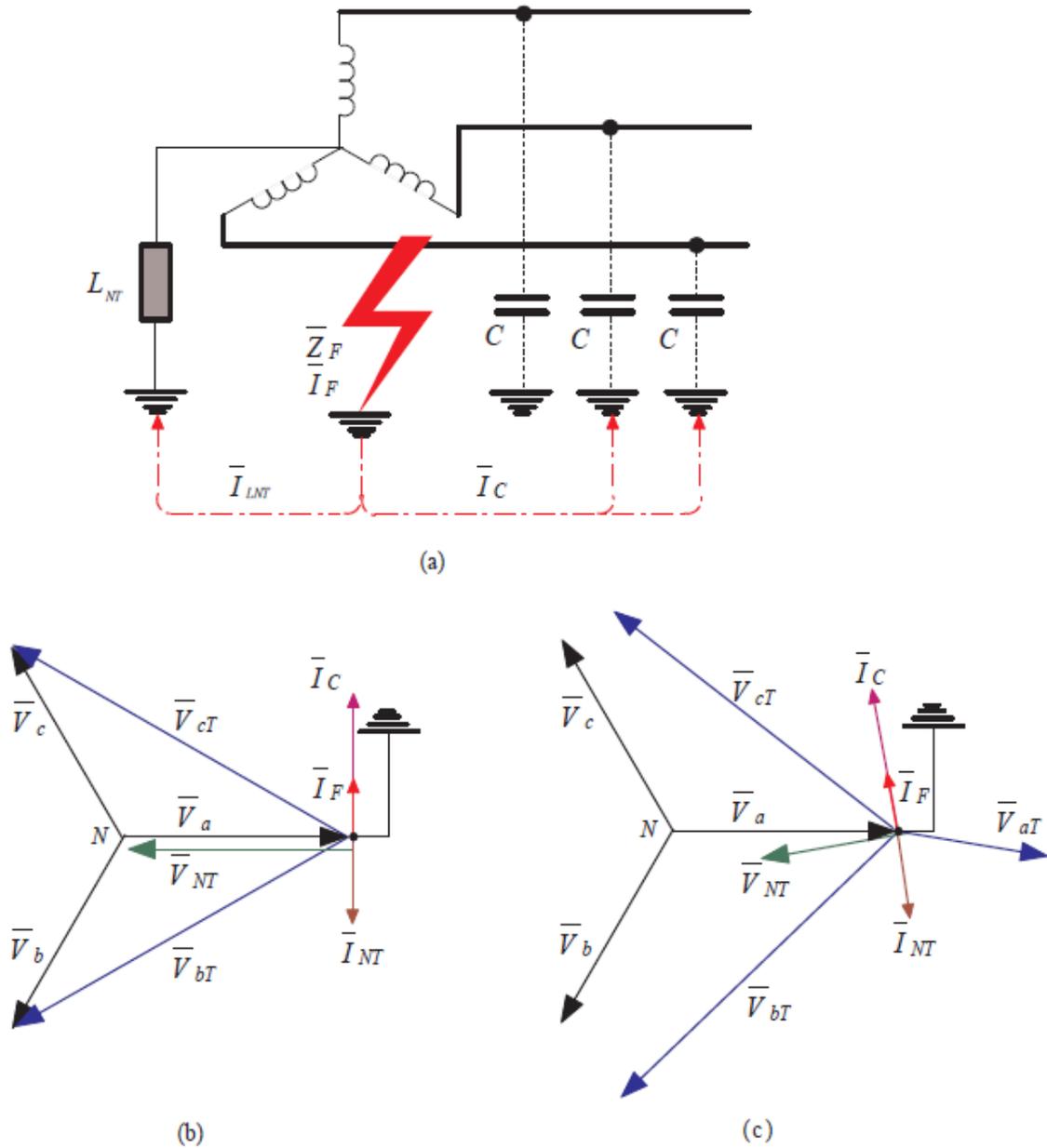


Figure 4.5 (a). Neutre mis à la terre à travers une inductance,
 (b). Diagramme vectoriel pour un défaut franc,
 (c). Diagramme vectoriel pour un défaut impédant.

3-5 Mise à la terre à travers une inductance accordée ou bobine de Petersen

La bobine de Peterson (Peterson's coil), parfois appelée bobine d'extinction est un cas particulier de la mise à la terre à travers une inductance (Figure. 3.8). La valeur de l'inductance est accordée afin d'annuler le courant de défaut. Ainsi, d'après l'équation la valeur de cette inductance est donnée par :

$$L_{NT} = \frac{1}{3C\omega} \dots\dots\dots(4.25)$$

Si l'inductance est correctement accordée pour annuler les courants capacitifs, le courant de défaut se résume à un faible courant résistif.

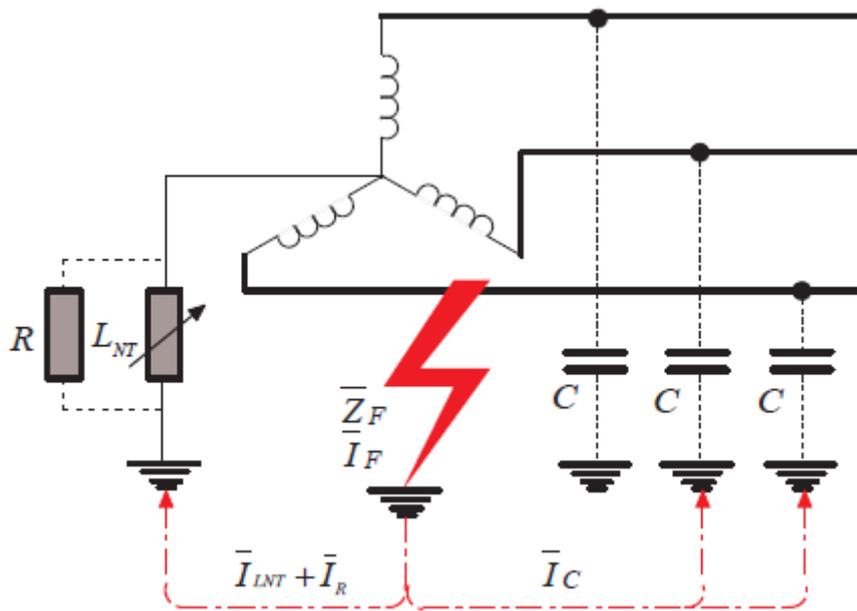


Figure 4.6 : Mise à la terre à travers une inductance accordée

4 Critères de choix d'un régime du neutre

La question du choix de régime est l'une des questions qui ne n'arrive pas à faire l'unanimité pour les spécialistes, bien que le problème est très ancien. En effet, Il n'y a aucun régime qui peut répondre parfaitement à toutes les contraintes et les exigences des cahiers de charge sur plusieurs aspects :

1. Technique ; Fonction du réseau, surtension admissible, courant de défaut admissible. . .etc ;
2. Exploitation, et on entend par là, continuité de service, la protection, la maintenance. . .etc ;
3. Sécurité sur le personnel et les équipements ; Il est souhaitable bien sur que le régime du neutre puisse être sans danger sur les personnes et sans dommage sur les équipements en cas de défaut ;
4. Économiques ; Les coûts d'investissement, mais surtout de protection et d'exploitation diffèrent certainement d'un régime à un autre, car la protection en dépend énormément.

En particulier, pour ce qui est des considérations techniques, deux exigences contradictoires sont souvent prises en compte :

- ✓ Réduire les surtensions afin de réduire les contraintes diélectriques sur les isolants avec des courts circuits comme conséquence ;
- ✓ Réduire le courant de défaut à la terre afin de protéger les équipements des conséquences d'un fort courant.

Le Tableau. 1 résume les caractéristiques des différents régimes.

Caractéristique	Régime du neutre				
	Isolé	Direct	Résistance	Inductance	Ind accordée
Amortissement des surtensions transitoires	Mauvais	Très bon	Bon	Pas évident	Pas évident
Limitation surtensions à fréquence nominale	Mauvais	Bon	Bon	Bon	Mauvais
Limitation courant de défaut	Bon	Mauvais	Bon	Bon	Très bon
Continuité de service (premier défaut)	Bon	Mauvais	Mauvais	Mauvais	Bon
Protection sélective simple	Mauvais	Bon	Bon	Bon	Mauvais

Tableau 1 : Comparaison entre les différents régimes du neutre

5- Schéma de liaison à la terre en basse tension

En basse tension, le régime du neutre ou plutôt les liaisons à la terre est directement lié à la protection des personnes. Dans les installations électriques (industrielles ou domestiques), le neutre est souvent distribué, Le conducteur de protection PE reçoit toutes les masses des charges et les mis à la terre. Le neutre peut être mise à la terre ou isolé. On peut alors distinguer plusieurs cas illustrés sur la Figure. 5-7

5-1 Schéma TT

Le neutre est mis à la terre, et le PE aussi mis à la terre. En cas de défaut entre une phase k et la masse de l'appareil, si on néglige les résistances des conducteurs, le courant de défaut sera :

$$I_F = \frac{V_k}{r_{NT} + r_{MT}} \dots\dots\dots(4.26)$$

Si une personne est en contact indirect (c'est-à-dire en contact avec la masse de l'appareil), il subit une tension de contact donnée par :

$$v_d = r_{MT} I_F \dots\dots\dots(4.27)$$

En général cette tension de contact dépasse largement la tension limite de contact imposée par les normes qui est de 50 V. Donc ce type de schéma représente un danger aux personnes en cas de défaut à la masse.

5-2 Schéma TN

Le neutre est mis à la terre et le PE est relié au neutre. Dans ce cas le courant de défaut ne sera limité que par l'impédance de la boucle en défaut :

$$I_F = \frac{V_k}{Z_F} \dots\dots\dots(4.28)$$

L'impédance de la boucle en défaut dépend de la section et de la longueur des conducteurs. La tension de contact sera égale :

$$v_d = Z'_F I_F \dots\dots\dots(4.29)$$

Avec Z'_F l'impédance du conducteur de phase qui en général la moitié de Z_F . Dans ce cas aussi les tensions de contact sont dangereuses car le courant de défaut est souvent très élevé.

5-3 Schéma IT

Le neutre est isolé, le PE mis à la terre. L'impédance de la boucle en défaut est infinie, donc le courant de défaut est nul. La tension de contact est par conséquent nulle aussi. En conclusion, ce type de schéma n'est pas dangereux en cas de contact indirect (pour un premier défaut seulement !). Si le neutre est isolé par une résistance, alors le courant de défaut est limité par cette résistance ce qui va réduire les tensions de contact. L'amplitude du courant est

$$I_F = \frac{V_k}{R_{NT} + r_{NT} + r_{MT}} \dots\dots\dots(4.30)$$

La tension de contact est toujours donnée par le produit entre I_F et r_{MT} , mais vu l'amplitude du courant, cette tension est faible, et donc sans danger.

Remarque importante

Le schéma IT est certes sans danger de point de vue tension de contact en cas d'un premier défaut, mais en cas d'un deuxième défaut, le courant devient tellement élevé (court-circuit biphasé) et les tensions de contacts deviennent très dangereuses.

6- Points à retenir

Pour le régime du neutre, on doit retenir les points suivants :

- ✚ Le neutre du réseau peut être mis à la terre ou isolé. La mise à la terre peut être directe, à travers une résistance ou une inductance. Dans le cas d'un réseau dont le point neutre n'est pas accessible, il est possible d'en créer un artificiellement si nécessaire ;
- ✚ 2. Parmi ces régimes, il n'y a aucun qui fait l'unanimité sur tous les aspects techniques et économiques : Chaque type de régime a des avantages et des inconvénients, et par conséquent le choix dépendra des exigences d'exploitation (continuité de service, protection des personnes, protections des équipements);

3. Dans les installations domestiques ou industrielles, on parle plutôt de schémas de liaison à la terre ; Pour ces installations, le choix du neutre est dicté en premier par l'exigence de protection des personnes qui sont en contact permanent avec les équipements.

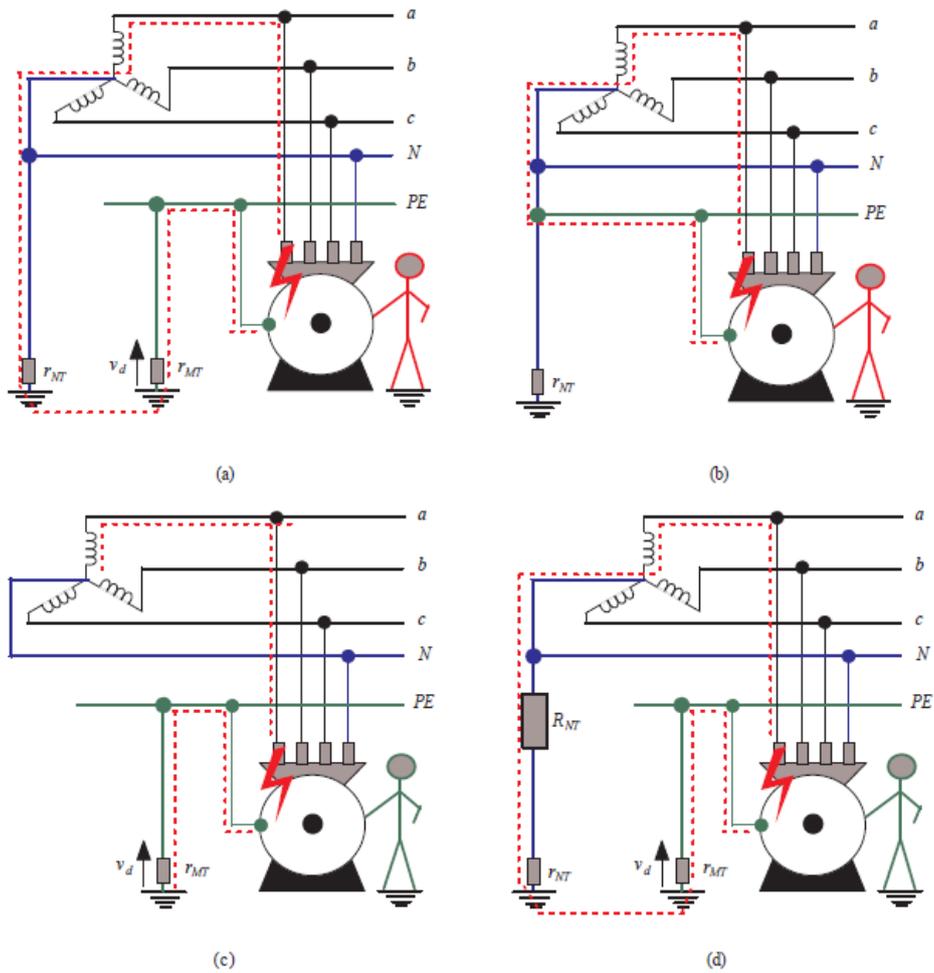


Figure 4.7 : Schémas de liaison à la terre : (a). TT, (b). TN, (c), (d). IT