

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DU GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'électrotechnique

Mémoire de Fin d'Etudes

de MASTER ACADEMIQUE

Domaine : **Sciences et Technologies**

Filière : **Génie électrique**

Spécialité : **Réseaux électriques**

Présenté par

Boussad AIT MESSAOUD

Thème

Particularités des surtensions d'amorçage d'arc dans les réseaux de 110KV et 35KV.

Mémoire soutenu publiquement le 28/ 09 / 2016 Devant le jury composé de :

Mr B BOUKAIS
MCB UMMTO President.
Mr T. OTMANE-CHERIF

MCA UMMTO Encadreur.

Mr H. SEDDIKI
MCB UMMTO Examineur.
Mr A. BECHOUCHE
MCA UMMTO Examineur.

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer mon profonde gratitude à mon promoteur Mr : T.Otmane Cherif d'avoir accepter de m'encadrer, ainsi pour sa grande disponibilité lors de mes différentes sollicitations et pour ses précieux conseils afin de mener à bien la réalisation de mon projet.

Je remercie l'ensemble des membres des jurys qui me feront l'honneur d'examiner mon travail. Et un grand merci a tous les enseignants qui ont contribué à notre formation.

Je tiens également à remercier mes amis, en particulier Mohamed KESSI et à tous ceux qui mon ont accompagné par leur accueil, leur présence, leurs discussions, leurs générosité, leurs patience et leurs soutien et tous ceux qui ont contribué de près et de loin à l'élaboration et la finalisation de ce mémoire.

Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail aux être qui me sont les
plus chers*

« MES PARENTS »

*Pour leurs AMOUR leur EDUCATION et leurs
SACRIFICES. que DIEU les gardes pour moi, je leurs
souhaite une longue vie ;*

*A mes très chers frères et mes sœurs, pour qui je
souhaite la réussite dans leurs projets en avenir.*

A mes chers amis (es);

*A tous le département d'électrotechnique ainsi ma
section réseaux électrique ;*

Enfin tout ceux et celles qui me sont chers (es).

Boussad

Sommaire

Sommaire

Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre I : Généralités sur les réseaux électriques	
I-1) Définition d'un réseau électrique	3
I-2) Stratification du réseau	4
I-2) Différentes catégories de réseaux	4
I-2-1) Réseau de distribution à basses tensions BT	4
I-2-3) Réseaux de transport à hautes tensions HT	4
I-2-2) Réseau de distribution à moyennes tensions MT	4
I-2-4) Réseau de transport à très hautes tensions THT	4
I-2-5) Réseau de transport à ultra hautes tensions UHT	4
I-3) Différentes structures des réseaux	5
I-3-1) Réseaux maillés	5
I-3-2-) Réseaux bouclés	5
I-3-3) Réseaux radiaux	6
I-4) La constitution du réseau	7
I-4-1) Les unités de production	7
I-4-2) Les lignes	7
✓ Lignes aériennes	7
✓ Les lignes souterraines	8
I-4-2-1) Définition et composantes de la ligne	8
I-4-2-1-a) Les conducteurs	8
I-4-2-1-b) Les pylônes	9
I-4-2-1-c) Les isolateurs	10
I-4-2-1-d) Câbles de garde	10

Sommaire

I-4-2-1-e) Signalisation	11
I-4-2-1-f) Les éclateurs	11
I-4-2-1-g) Les parafoudres	12
➤ Parafoudres à carbure de silicium.....	13
➤ Parafoudres à oxyde de zinc	14
I-4-3) Les postes de transformation	15
I-4-3-a) Les transformateurs	15
I-4-3-b) Les jeux de barre	16
I-4-3-c) Les disjoncteurs	16
I-4-3-d) Les sectionneurs	17
I-5) Conclusion	17

Chapitre II) Généralités sur les surtensions

II-1) Définition des surtensions	19
II.2) Origine des surtensions.....	19
II-2-1) Surtension d'origine interne.....	20
II-2-1-1) Surtensions de manœuvres	20
II-2-1-1-a) Surtension due à la coupure d'un courant inductif.....	21
II-2-1-1-b) Surtension due à la coupure d'un courant capacitif	21
II-2-1-2) Surtension provoquée par un défaut d'isolement	21
II-2-1-3) Surtensions par ferro-résonance	21
II-2-1-4) Surtension sur une longue ligne à vide (effet Ferranti)	22
II-2-2) Surtension d'origine externe.....	22
II-2-2-1): Nature et comportement de la foudre	22
II-2-2-2) Mécanisme du coup de foudre	23

Sommaire

II-2-2-3) Schéma électrique équivalent	24
II-2-2-4) Surtensions dues à la foudre	24
a) Impact direct dans le conducteur d'une ligne aérienne	24
b) Impact direct dans le fil de garde	25
c) Impact dans un pylône mis à la terre	25
II-2-2-5) Paramètres de la foudre	26
II-2-2-6) Effets de la foudre	27
II-2-2-6-a) Les effets mécaniques	27
II-2-2-6-b) Les effets électriques	27
II-3) Conclusion.....	27

Chapitre III) Calcule des paramètres du réseau

III-1) Définition du réseau.....	29
III-2) Calcule des paramètres des lignes l1 et l2 pour les deux réseaux (110kvet 35kv).....	29
III-2-1) Calcule de la résistance(R)	29
III-2-2) Calcule de l'inductance (L)	30
III-2-3) Calcule des capacités	31
III-2-4) Calcule des paramètres des charges S_{ch1} et S_{ch2}	32
III-3) Application numérique	32
III-3-1) Calcule des paramètres des lignes l1 et l2 pour le réseau (110kv).....	32
III-3-2) Calcule des paramètres des lignes l1 et l2 pour le réseau (35kv).....	37

Sommaire

Chapitre IV) simulation et interprétation des résultats

IV-1) Simulation et interprétation des résultats.....	43
IV-2-1-1) Résultats de la simulation pour le schéma 110kv	43
IV-2-1-2) Interprétation des résultats	46
IV-2-1-3) analyse des résultats	47
IV-3-1) Résultats de la simulation pour le schéma 35kv	47
IV-3-1-1) Interprétation des résultats	49
IV-3-1-2) analyse des résultats.....	50
IV-3-1-2) Comparaison des résultats de la simulation pour110KVet 35KV	51
IV-4) Conclusion	51
Conclusion générale	52

Introduction Générale

Introduction générale

Introduction générale

Actuellement la grande majorité de l'énergie électrique consommée dans le monde est acheminée par l'ensemble des réseaux électriques existant. En un peu plus d'un siècle, ce qui présente le terme de « réseau électrique » est passée de la mutualité de quelques unités de production à une interconnexion généralisée au niveau des continents tout entiers. Si les étendues et les ramifications qui caractérisent ses réseaux en multipliant les performances et les potentiels, il faut savoir qu'elles en font également des systèmes complexes, gérés par une multitude d'interventions et tiraillés par des contraintes technico-économiques de plus en plus pesantes[1].

Sur le plan purement technologique les contraintes sont principalement liées au fait que l'énergie électrique ne se stocke pratiquement pas, et que par conséquent l'intégralité des transferts d'énergie est gérée en « temps réel » de telle manière à conserver à la fois les valeurs normalisées de tension et de la fréquence, ainsi que des marges de puissance permettant d'assurer la sûreté de système, parallèlement à cela, les particularités géographiques, la répartition des populations et des lieux de consommation, l'interconnexion internationale, l'aspect imprévisible des avaries, etc...., sont autant de contraintes supplémentaires qui façonnent la réalité technique et stratégique des réseaux d'aujourd'hui. Le réseau électrique est un acteur incontournable et extrêmement familier de notre vie quotidienne. Ses rares défaillances font réaliser à chacun à quel point nos sociétés sont dépendantes. De part cette proximité, l'étudier, appréhender ses contraintes, connaître son mode de fonctionnement constituent une approche très instructive et absolument centrale dans « culture électrotechnique ».

Les lignes de transport d'énergie électrique constituent une partie essentielle d'un réseau électrique qui doit assurer la continuité de l'alimentation en électricité aux consommateurs. Ce qui n'est pas toujours le cas, car ses lignes de transport sont souvent exposées à des défauts qui peuvent interrompre ce service et engendrer des pertes financières importantes. En effet une ligne de transport d'énergie électrique est soumise à différents types de surtension. Les surtensions internes sont créées par des modifications brutales des variables de la topologie du réseau et les surtensions externes par des décharges d'origines atmosphériques.

Donc la prise en considération de l'étude du phénomène de surtension par des électroniciens permet aujourd'hui de faire un choix pertinent en fonction des contraintes propres à chaque

Introduction générale

réseau électrique. Nous essayerons d'expliciter au maximum les techniques mathématiques et numériques de calcul pour mieux étudier ces surtensions.

Notre travail, s'articule autour de quatre chapitres :

- Le premier chapitre nous donne un aperçu général sur les différents éléments constitutif d'un réseau de transport d'énergie électrique (pylône, isolateur, conducteur, etc....).
- Le deuxième chapitre, est consacré aux différentes formes de surtensions et les différents phénomènes qui peuvent les causer.
- Dans le troisième chapitre, nous avons présenté le modèle du réseau et le calcul des paramètres.
- Au quatrième chapitre, nous avons présenté les résultats obtenus du modèle du réseau. Le traitement numérique est effectué avec un logiciel de simulation OrCad 16.0. Et on compare les deux différents réseaux considérés

Nous terminons notre étude par une conclusion générale dans laquelle nous présentons un résumé des résultats obtenus et quelque perspectives avenir

Chapitre I

**Généralités sur les réseaux
électriques**

Chapitre I : Généralités sur les réseaux électriques**Introduction**

On appelle réseau électrique, l'ensemble des infrastructures permettant d'acheminer l'énergie électrique des centres de production vers les consommateurs d'électricité.

Le réseau est constitué de lignes électriques exploitées à différents niveaux de tension, connectées entre elles dans des postes électriques, qui permettent de répartir l'électricité et de la faire passer d'une tension à l'autre grâce aux transformateurs.

Un réseau électrique doit aussi assurer la gestion dynamique de l'ensemble production-transport-consommation, mettant en œuvre des réglages ayant pour but d'assurer la stabilité de l'ensemble.

I-1-Stratification du réseau

Un réseau d'énergie électrique est un système comprenant production, transport, répartition et distribution de l'énergie, étape finale pour l'alimentation des consommateurs domestiques. Le système est stratifié depuis la haute tension (150 - 765 kV (maximum 400 KV en Europe) conçue pour interconnecter les centrales de production et transmettre la puissance de ces centres de production vers les points de charges les plus importantes. La répartition s'effectue à un niveau plus faible (HT50 - 150 kV) reliant le niveau de transport et le niveau de distribution (MT de 1 à 50 kV, BT < 1 kV) Le choix de la tension dépend de nombreux facteurs qui seront étudiés par la suite, les pertes, la stabilité, etc... Le nombre de niveaux de tension relève d'un calcul délicat tenant en compte l'évolution de la densité de charge au km² par exemple.

Des niveaux intermédiaires se justifient pendant une certaine période correspondant à une plage de densité de charge, ainsi a-t-on vu apparaître en Europe des niveaux proches de 20 kV (nouvelle tension de distribution), 70 kV, 150 kV, 220 kV et 400 kV. Bien sur l'aspect historique des réseaux et l'évolution des compagnies d'électricité a joué et joue un rôle majeur dans les choix. [2]

La figure suivante illustre ce principe (fig-I-1):

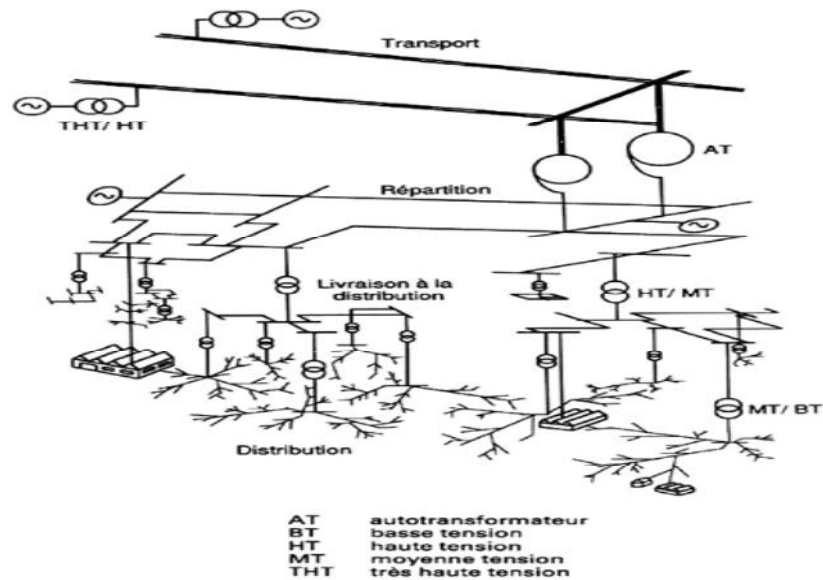


Figure I-1) Stratification du réseau d'énergie électrique (source : techniques de l'ingénieur) [2]

I-2-Différentes catégories de réseaux [3]

Selon la tension appliquée, nous distinguons quatre types de réseaux qui sont :

I-2-1) réseau de distribution à basses tensions BT

Ce sont les lignes et la filerie installées à l'intérieur des édifices, usines et maisons, ces lignes fonctionnent à des tensions $< 600V$.

I-2-2) réseau de distribution à moyennes tensions MT

Ce sont les lignes qui relient les clients aux postes de transformations principaux, leur tension est comprise entre 2,4 et 69KV.

I-2-3) réseau de transport à hautes tensions HT

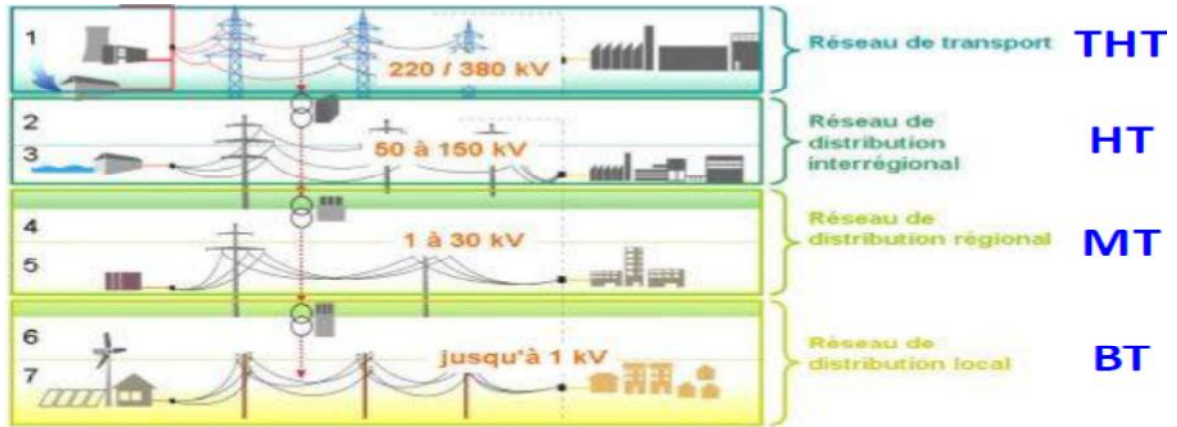
Ce sont les lignes reliant les postes de transformations principaux aux centrales de génération, ces lignes fonctionnent pour les tensions 110 et 220 KV.

I-2-4) réseau de transport à très hautes tensions THT

Ce sont les lignes qui relient les centrales hydrauliques éloignées aux centres d'utilisations, ces lignes peuvent atteindre des longueurs de 1000Km et elles fonctionnent pour les tensions 330, 400 et 500 KV.

I-2-5) réseau de transport à ultra hautes tensions UHT

Elles fonctionnent pour les tensions 765 et 1200 KV.



(Figure I-2) cette figure illustre la répartition des réseaux selon le niveau de tension [4]

I-3-Différentes structure de réseaux

I-3-1-Réseaux maillés

Les réseaux maillés fig. (I-3) sont des réseaux où les liaisons forment des boucles réalisent une structure d'un réseau de transport. Les lignes jouent le rôle d'interconnexion entre les centrales ou les nœuds sont alimentés au moins de deux cotés. [3]

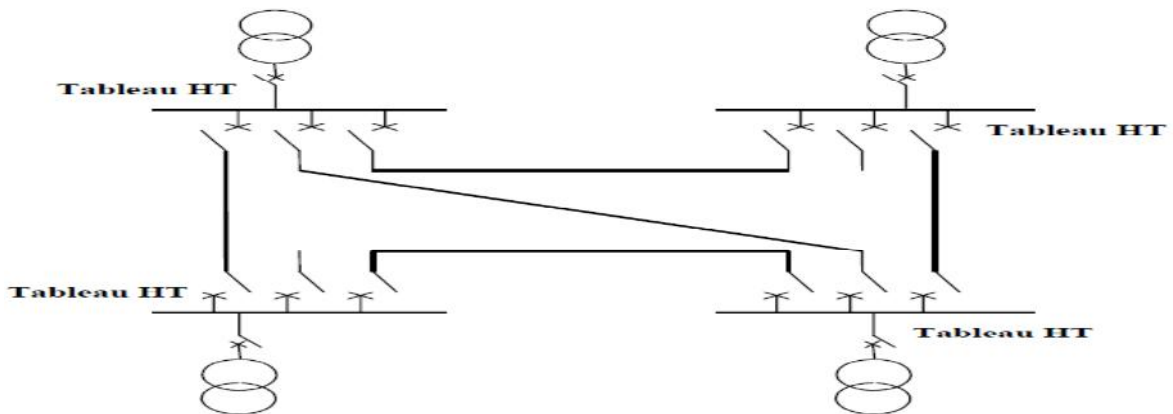


Figure (I-3) : La structure des réseaux maillés [3]

I-3-2- Réseaux bouclés

C'est un réseau maillé simplifié, présentant un certain nombre de boucles fermées. Chacune de ces boucles contient un nombre limité de sources.

L'énergie donc peut transiter par des chemins différents, ainsi la mise hors tension accidentelle d'un tronçon n'entraîne pas de surcharges inadmissibles pour les autres tronçons (figure -I-4). [3]

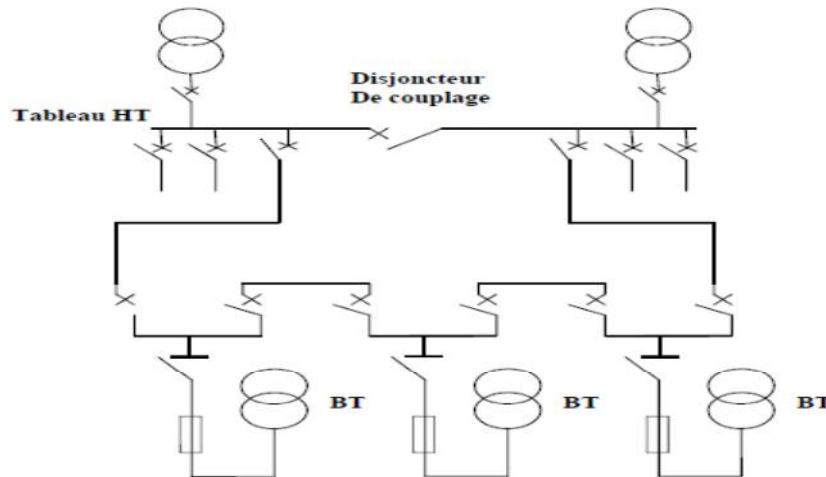


Figure (I-4) : La structure des réseaux bouclés ou en coupe d'artère [3]

I-3-3- Réseaux radiaux

Les réseaux radiaux sont exploités débouclés, chaque départ MT issu généralement d'un poste HT/MT, alimente un certain nombre de poste MT/BT, d'où partent des lignes BT qui alimentent à leurs tours les usagers.

On rencontre deux types principaux de structures ;

- ✓ **En coupure d'artère** : typique des réseaux souterrains, ces réseaux sont conçus pour un éventuel fonctionnement en bouclé.
- ✓ **En structure arborescente** : typique des réseaux ruraux aériens, ces réseaux comportent des points de bouclage pour assurer un secours par la moyenne tension. Comme le montre la figure (I-5)

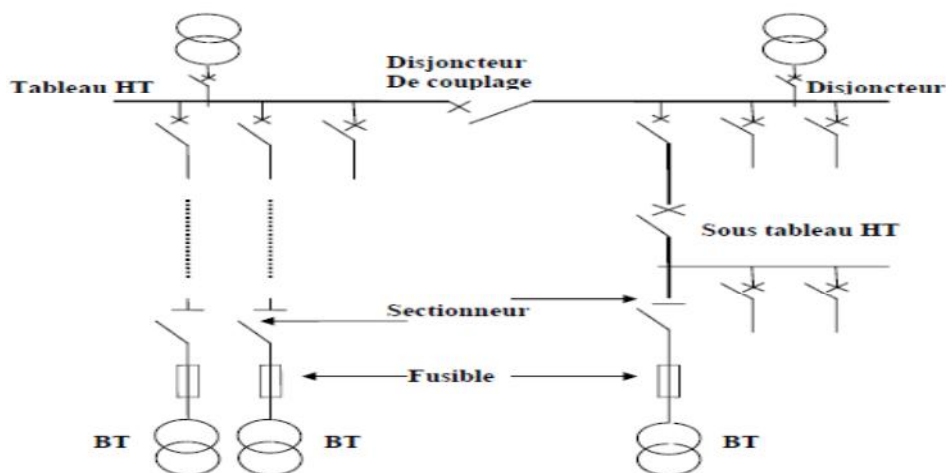


Figure (I-5) : structure radiale [3]

I-4- La constitution du réseau

I-4-1- Les unités de production

Les unités de production sont l'ensemble des groupes de production dans une centrale électrique. Un groupe de production d'énergie électrique est constitué d'une turbine, d'un alternateur, et d'un transformateur élévateur.

L'organe principal d'une centrale est l'alternateur qui est couplé à sa turbine, et via le quel la centrale électrique produit de l'énergie électrique obtenue par conversion électromécanique d'une énergie primaire ayant différentes origines [6]

Thermiques classiques (gaz, fuel, charbon, lignite...), et nucléaires (Uranium),

- Hydrauliques (eau),
- Renouvelables (solaire, éolienne, biomasse...etc.).

I-4-2- Les lignes

Les lignes de transport sont parmi les principaux éléments des réseaux électriques. Elles peuvent être aussi bien aériennes que souterraines ou marines. Elles servent au transport, sur les longues distances, de l'énergie électrique produite par diverses centrales électriques ainsi qu'à l'interconnexion des réseaux électriques.

Le but d'utilisation de la haute tension dans le transport d'énergie électrique est de réduire les chutes de tension, les pertes de puissance dans les constructions des lignes et également d'améliorer la stabilité des réseaux.

✓ Lignes aérienne

La ligne aérienne (figure I-6) se compose des conducteurs de phase (RST) suspendus au moyen de chaînes d'isolateurs à des pylônes mis à terre. Un ou plusieurs conducteurs supplémentaires appelés câbles de garde connectés à la terre par chaque pylône, assurent principalement la protection contre le coup de foudre sur les lignes [3]



Figure(I-6) Ligne aérienne

✓ Les lignes souterraines

Le passage de ces canalisations s'impose, en particulier, dans les villes, à proximité des aéroports et surtout chaque fois que pour des raisons de sécurité ou d'esthétique, il n'est pas possible d'installer d'autres types de canalisations. Figure(I-7) .



Figure(I-7) Ligne souterraine

I-4-2-1-Définition et composantes de la ligne

I-4-2-1-a- Les conducteurs

Les conducteurs des lignes aériennes sont toujours nus, constitués de brins toronnés dans le but de réduire l'effet de peau encore sont isolés l'un de l'autre par une couche d'oxyde, on emploie presque exclusivement des fils en cuivre ou des fils en aluminium avec âme en acier qui assure une résistance mécanique plus élevée, ces derniers sont plus économiques. L'aluminium est beaucoup plus léger et moins cher, sa résistivité est 1,62 fois que celle de cuivre, soit $36 \text{ m}\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$. Le cuivre est rare dans les lignes nouvelles [7].



Conducteur aérien



conducteur souterrain

Figure (I-8) cette figure illustre les différentes formes des conducteurs

I-4-2-1-b- Les pylônes

Les supports ou les pylônes maintiennent les conducteurs à une hauteur convenable ou dessus du sol par intermédiaire des travers ou bras.

On distingue plusieurs types de pylônes et parmi eux on trouve : le pylône métallique en treillis qui est constitué par un assemblage de membrures formant un treillis et destiné à la plupart des lignes de transport de l'électricité, il comporte un fût quadrangulaire et des consoles ou des traverses. Le pylône haubané à chaînette supporte des conducteurs à 735 KV, ce type de pylône nécessite moins d'acier galvanisé que le pylône haubané en V ; il est donc comparativement moins lourd et moins cher. Le pylône en béton est fréquent en HTA, mais on le rencontre aussi en HTB utilisé pour des tensions allant jusqu'en 380 kV, ce pylône est préfabriqué en usine. Le pylône en bois est essentiellement utilisé en HTA, quoiqu'on le trouve dans certains pays jusqu'en 161 kV. Des prototypes existent aussi pour des tensions supérieures. [7]

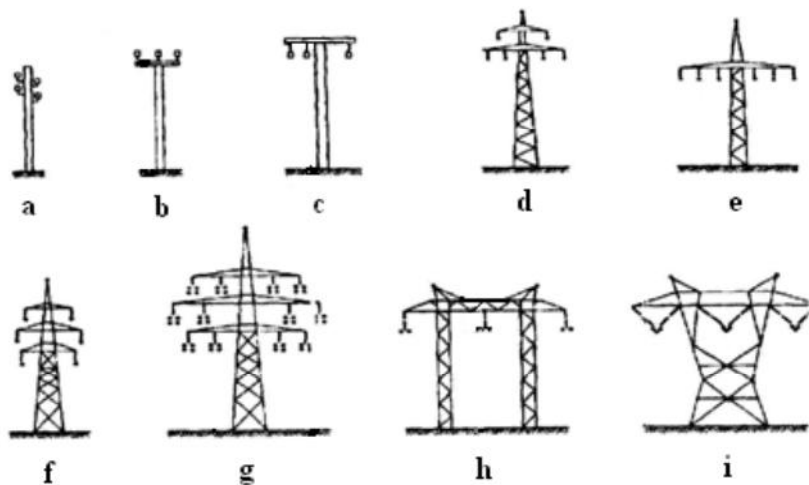


Figure (I-9) Cette figure nous montre les types usuels des pylônes pour des lignes triphasées.

- **a)** Poteau de bois.
- **b)** Ligne avec isolateurs rigides (moyennes tensions).
- **c)** Poteau en béton (moyennes tensions).
- **d), e), f)** Pylônes en treillis pour lignes à deux ternes (hautes tensions).
- **g)** Ligne à plusieurs ternes (hautes tensions).
- **h), i)** Ligne simple à un terne (hautes tensions).

I-4-2-1-c) Les isolateurs

Un isolant est un matériau qui ne conduit pas le courant électrique sous des conditions normales. L'utilisation des isolateurs est destinée pour isoler les conducteurs étant sous la tension de service par rapport à la terre (à travers les pylônes).

Les conducteurs des lignes aériennes sont fixés aux supports par l'intermédiaire d'isolateurs réalisés en verre ou en porcelaine. Dans les réseaux de haute tension on utilise les isolateurs en porcelaine.

Généralement, les isolateurs ont la forme d'une assiette. Ces derniers sont associés entre eux pour former une chaîne d'isolateurs (figure2).

Les isolateurs doivent présenter une rigidité diélectrique suffisante pour tenir la tension de service sans qu'ils produisent ni percement ni arc de contournement. [7]



Figure (I-10) la figure ci-dessus nous montre à droite une chaîne isolateur en vert et à gauche une chaîne isolateur en porcelaine

I-4-2-1-d) Câbles de garde

Les câbles de garde ne transportent pas le courant. Ils sont situés au-dessus des conducteurs. Ils jouent un rôle de paratonnerre au-dessus de la ligne, en attirant les coups de foudre, et en évitant le foudroiement des conducteurs. Ils sont en général réalisés en almélec-acier. Au centre du câble de garde on place parfois un câble fibre optique qui sert à la communication de l'exploitant. Si on décide d'installer la fibre optique sur un câble de garde déjà existant, on utilise alors un robot qui viendra enrouler en spirale la fibre optique autour du câble de garde. [10]

**Figure-I-11-****I-4-2-1-e) Signalisation**

Afin d'éviter les impacts d'aéronefs, les lignes sont signalées par des dispositifs lumineux.

I-4-2-1-f-) Les éclateurs Ils sont constitués essentiellement par deux électrodes dans l'air, reliées l'une au conducteur à protéger et l'autre à la terre, l'intervalle entre électrodes étant réglé pour amorcer, si les surtensions du réseau dépassent les niveaux de protection choisis. (fig-I-12 et -I-13)

Les électrodes d'un éclateur, de formes variées, sont constituées généralement de deux simples tiges placées l'une en face de l'autre. Les électrodes d'amorçage sont parfois complétées par des anneaux destinés à éliminer les effluves d'effet de couronne.

La distance entre les deux extrémités de l'éclateur est ajustée au cm près à l'installation (voir distances plus loin) en fonction des surtensions potentielles entre phase et terre. On remarquera que la distance entre pointes de l'éclateur est sensiblement inférieure à celle de la chaîne d'isolateur. En cas d'amorçage, on préfère en effet avoir un arc dans l'air (entre pointes de l'éclateur) plutôt qu'un léchage des éléments de la chaîne d'isolateurs, ce dernier pouvant conduire à une dégradation des éléments constitutifs. [10]

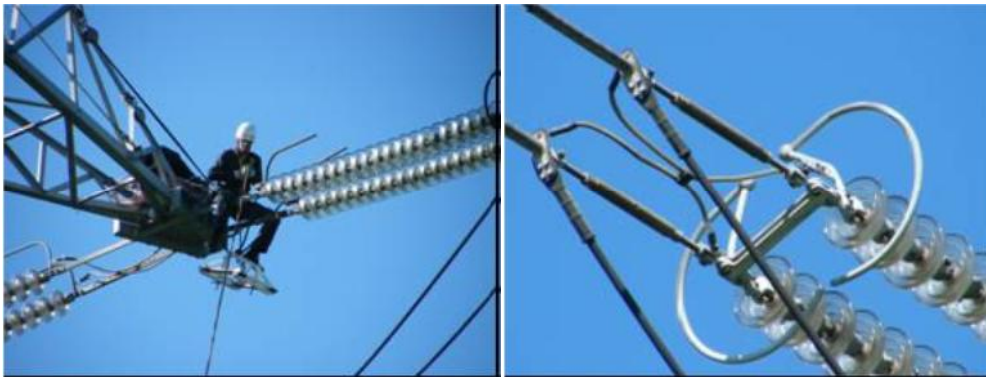
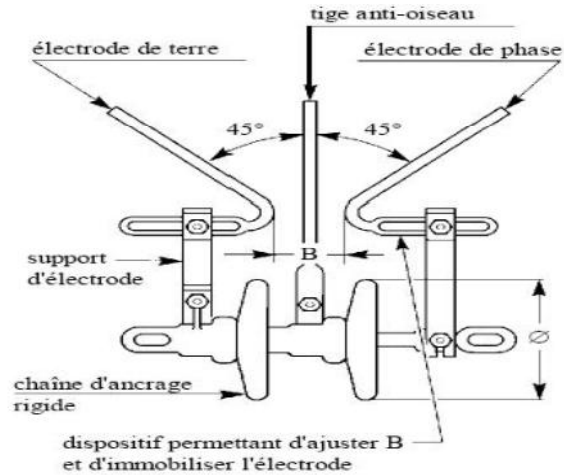


Figure –I-13-: Eclateurs sur ligne 400 kV. A gauche, côté ancrage, deux cornes. A droite, cornes de réception avec anneaux (ouverts !) anti-couronnes. Chaînes en verre trempé.

I-4-2-1-g) Les parafoudres

Afin d'éviter les inconvénients inhérents au principe de l'éclateur simple, une autre catégorie d'appareils de protection a été développée : les parafoudres. Les parafoudres sont des appareils qui, comme les éclateurs, écoulent une onde de courant lorsqu'une surtension arrive à leurs bornes, maintenant ainsi la surtension dans certaines limites. Mais, avantage énorme sur les éclateurs, ils limitent eux-mêmes l'amplitude (grâce à une résistance non linéaire) et la durée du courant que le réseau continue de débiter à travers eux après le passage de l'onde due à la surtension, sans que, généralement, les disjoncteurs de ce réseau n'aient à fonctionner. Le principe de base est montré sur la figure (I-14) et un cas de fonctionnement détaillé. [2]

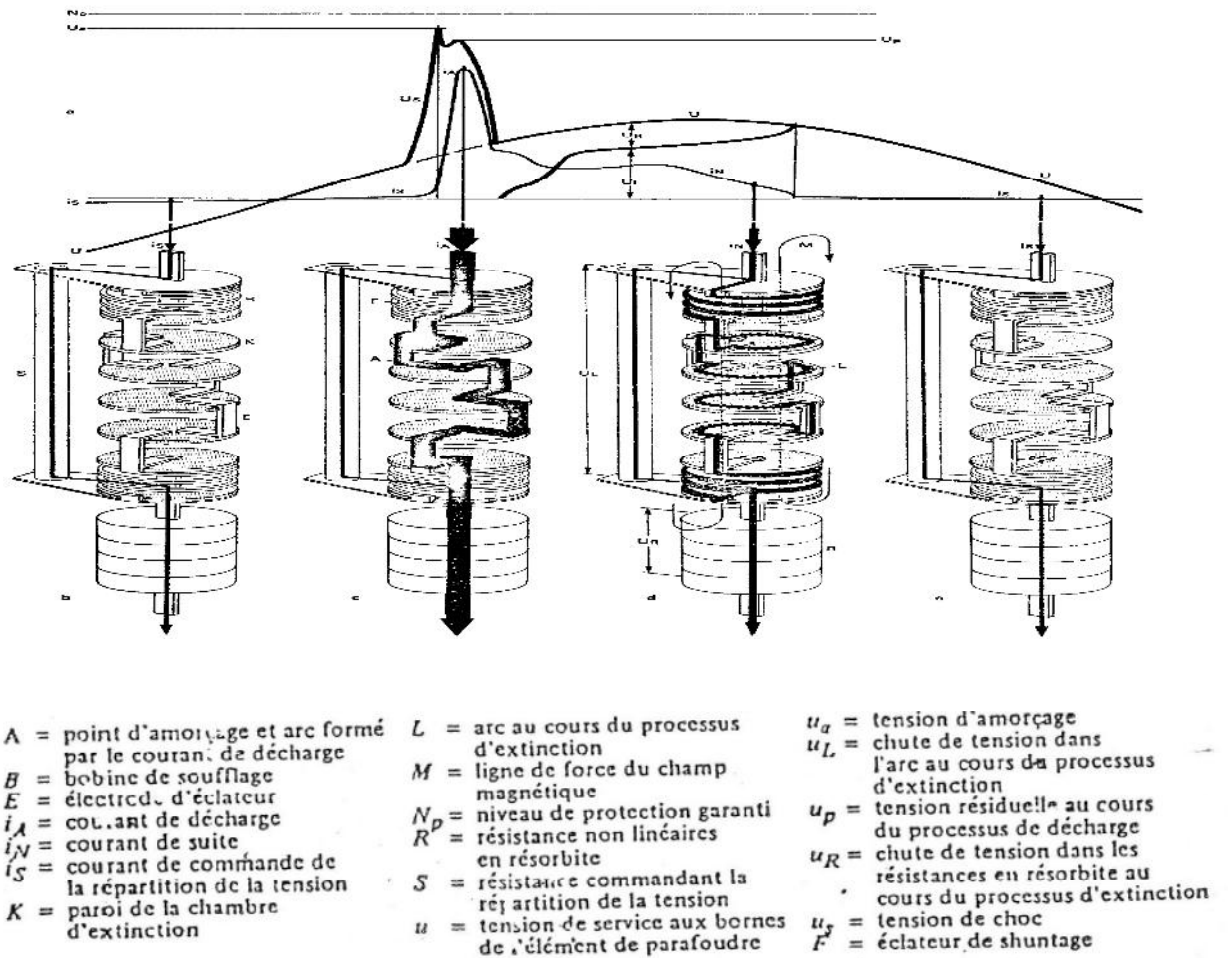


Figure -I-14- Principe de fonctionnement d'un parafoudre avec éclateur et résistances non-linéaires.

(a) évaluation des grandeurs électriques ; (b) état normal ; (c) au moment du passage du courant de décharge ; (d) courant de suite ; (e) retour état normal.

➤ Parafoudres à carbure de silicium

Ces parafoudres, constitués de varistances au carbure de silicium et d'éclateurs, représentent la première génération mais, à l'heure actuelle, ils ne sont plus beaucoup installés.

La présence d'éclateurs en série maintenait un inconvénient ennuyeux en coordination de l'isolement, à savoir les fluctuations des tensions d'amorçage en fonction, en particulier, de la pente du front de la surtension, ce qui imposait de prendre des marges plus importantes entre les niveaux de protection des parafoudres et les niveaux de tenue des matériels à protéger.



Figure (I-15) cette figure nous montre un parafoudre à carbure de silicium

➤ Parafoudres à oxyde de zinc

Ces parafoudres ne comportent plus d'éclateurs en série, ce qui élimine l'incertitude sur les tensions de protection dues aux incertitudes sur les tensions d'amorçage inhérentes aux éclateurs. Ils supportent une tension permanente maximale, à fréquence industrielle, appelée tension maximale de service permanent. Une caractéristique typique est décrite sur la figure (I-16) Une installation typique de parafoudre est reproduite à la figure (I-17) pour une application originale [8]

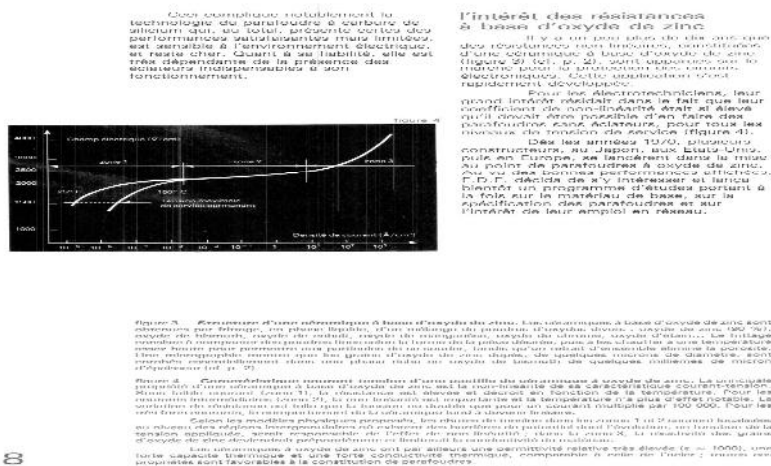


Figure (I-16) cette figure représente les Caractéristique courant- tension d'une pastille de céramique à oxyde de zinc

Caractéristique courant- tension d'une pastille de céramique à oxyde de zinc. Sous faible courant (zone 1) la résistance est élevée (et décroît avec la température). Pour les valeurs intermédiaires (zone 2), la non linéarité est importante, la résistance varie de sorte que la tension ne double que pour un courant multiplié par 100.000. Au-delà (zone 3) le comportement de la céramique tend à devenir linéaire.



Figure-I-17- Une installation typique de parafoudre pour une remonté aéro-souterraine.

I-4-3) Les postes de transformation

I-4-3-a) Les transformateurs

Le transformateur appartient à la famille des composants passifs, il est l'instrument électrique qui convertit un système de tensions et de courants en un autre, sans changer la fréquence, cette conversion se fait à travers un circuit magnétique. Il se compose d'une ou de plusieurs bobines de fil placées à proximité d'une ou de plusieurs autres bobines.

Le transformateur est utilisé pour coupler des circuits de courant alternatif, les « bobines primaires » sont les bobines connectées à la source d'énergie et les autres bobines sont des « bobines secondaires ». Le transformateur élévateur de tension, ou survolteur, est un transformateur dans lequel la tension secondaire est supérieure à la tension primaire. Dans le cas contraire, il s'agit d'un transformateur abaisseur de tension, ou dévolteur. Les transformateurs électriques doivent être efficaces et doivent également dissiper aussi peu d'énergie calorifique que possible pendant la transformation. Les rendements dépassent couramment 99% du fait de l'utilisation d'alliages d'acier spéciaux permettant de coupler les champs magnétiques induits entre les bobines primaires et secondaires.

La perte d'énergie électrique n'est que de 0,5% dans un transformateur de taille importante. Cependant, un tel dispositif dégage une chaleur importante et requiert donc des systèmes de refroidissement spécifiques. [9]



Figure (I-18) Cette figure nous montre un transformateur de puissance à refroidissement forcé

I-4-3-b) Les jeux de barre

C'est un conducteur en cuivre ou en aluminium utilisé pour la distribution de l'énergie électrique dans un poste de transformation, pour avoir un courant maximal il faut avoir une section maximale du conducteur de jeu de barre. Dans les postes HT on utilise des tubes creux d'épaisseur de $(0.8 \div 10\text{mm})$ pour une fréquence de $(50\div 60\text{Hz})$ car cette forme permet de réduire efficacement des pertes par effet de peau, la figure suivant illustre un modèle de jeu de barre qui sert à connecter les conducteurs des phases. [9]



Figure (I-20) la figure suivant illustre un modèle de jeu de barre qui sert à connecter les conducteurs des phases

I-4-3-c) Les disjoncteurs

Le disjoncteur est un appareil mécanique, permettant l'établissement ou la coupure d'un courant lors du fonctionnement normal d'un circuit. Il peut aussi interrompre le courant lors de courts-circuits.

Dans un tel dispositif, on associe un système permettant manuellement l'ouverture et la fermeture du circuit à des éléments assurant une protection contre les surcharges et les courts circuits. La protection contre les surcharges sera assurée par détecteur thermique

(élément bilame) alors que la protection contre les courts circuits sera assurée par un déclencheur électromagnétique.

Pour caractériser un disjoncteur, on se réfère à la courbe de déclenchement représentant le délai de coupure en fonction de l'intensité à couper. Elle comporte deux zones correspondant au fonctionnement du relais thermique et du relais magnétique.[9]

**a)****b)**

Figure(I-19)cette figure nous montre(a) un disjoncteur moyen tension sous forme d'armoire et (b)un disjoncteur de haute tension(en SF6)

I-4-3-d) Les sectionneurs

Un sectionneur est un appareil mécanique de connexion permettant de fermer ou d'ouvrir un circuit pour mettre une installation électrique hors tension. L'ouverture doit se faire à courant nul ou suffisamment faible et la fermeture ne doit pas se faire avec un fort appel de courant. Contrairement au cas précédent, le fonctionnement est imposé par un élément extérieur (observateur ou commande), sauf dans le cas des sectionneurs à fusible, si le fusible entre en action. Pour l'usage domestique, la présence d'un sectionneur est obligatoire en tête de circuit (sectionneurs à fusible avec coupure du neutre).[9]



Figure (I-21) Cette figure nous montre un sectionneur de haute tension

I-5) Conclusion

Ce premier chapitre est consacré à l'étude des généralités sur les réseaux électriques où nous avons fait des rappels sur les différentes structures topologiques et les différents éléments constituant les réseaux électriques (postes, lignes aériennes, câbles souterraines,....etc.).

Chapitre II

Généralité sur les surtensions

I-1) Définition des surtensions

On définit par phénomène transitoire, l'évolution des surtensions entre deux états de fonctionnement permanent. On qualifie de surtension toute tension fonction du temps qui dépasse la tension crête de régime permanent à sa tolérance maximale. [11]

Ce sont des perturbations qui se superposent à la tension nominale d'un circuit. Leur caractère varié et aléatoire les rend difficiles à caractériser et n'autorise qu'une approche statistique en ce qui concerne leur durée, leurs amplitudes et leurs effets. Les perturbations peuvent conduire à :

- des interruptions courtes (réenclenchements automatiques sur les réseaux de distribution publique MT par lignes aériennes).
- des interruptions longues (intervention pour changement d'isolants détruits, voire remplacement de matériel). Pour cela, la compréhension préalable des différents types de surtension est indispensable, c'est l'objet de ce chapitre. [12]

II-2) Origine des surtensions

Les surtensions peuvent avoir pour origine:

Des surtensions dites internes peuvent apparaître à la suite de phénomènes transitoires dans le réseau. Les causes en sont:

➤ Coupure ou enclenchement des circuits, dites surtensions de manœuvre ou surtensions de commutations.

➤ Surtension d'amorçage d'arc lors d'un court-circuit monophasé :

- Amorçage entre enroulement (HT/BT) dans un transformateur.
- Amorçage entre conducteurs haute tension et les masses du poste de transformation.
- Amorçage entre canalisations qui se croisent ou sont fixées sur les mêmes supports, alimentées par des tensions différentes.

➤ Par ferro-résonance.

➤ Mise sous tensions des lignes.

➤ Enclenchement et déclenchement des charges.

Les surtensions ont des composantes à la fréquence du réseau et d'autres à la fréquence ou les fréquences propre du réseau. Ces fréquences propres se situent entre 10 et 50 kHz.

I-2-1) Surtension d'origine interne

II-2-1-1) Surtensions de manœuvres

Tous changement brusque de configuration d'un réseau (fonctionnement d'un disjoncteur, apparition d'un défaut, etc....) engendre également une surtension transitoire rapide, dite surtension de manœuvre, qui se propage sur ce réseau et dont la durée peut s'échelonner de quelque dizaines de milliseconde. Ces surtensions se propagent en général sous forme d'ondes haute fréquence à amortissement rapide. L'étude statique des surtensions de manœuvre a conduit à la normalisation des ondes représentées sur la figure (II-3).

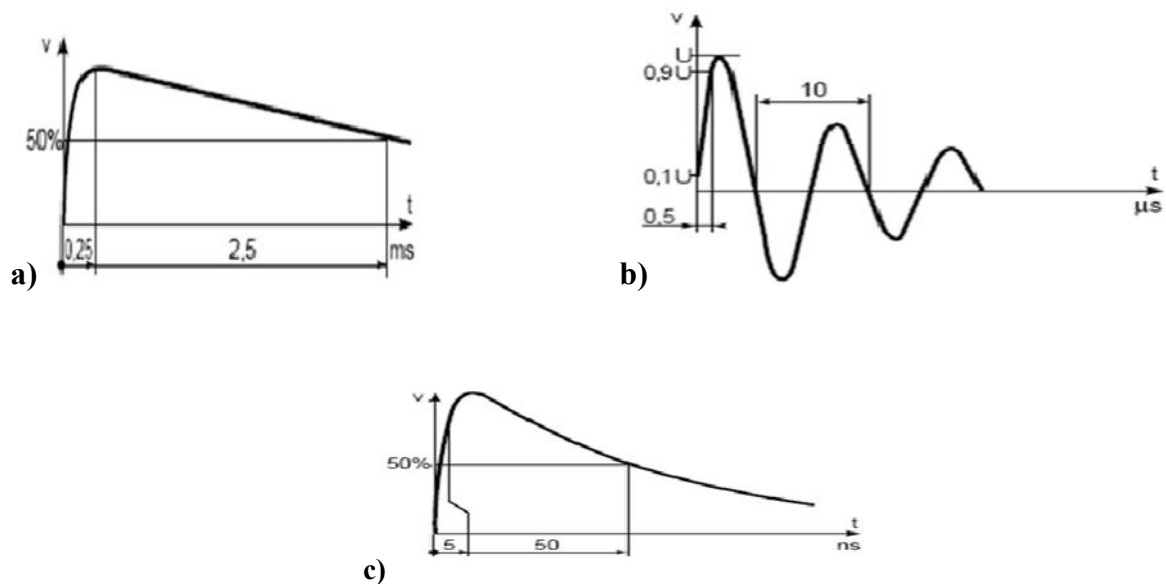


Figure (II.3): Formes des ondes normalisées représentant les surtensions de manœuvre.

- a) Onde 250/2500 µs dite onde longue amortie.
- b) Onde 5/50 ns dite onde impulsional récurrente.
- c) Onde 0,5 µs/100 kHz dite onde sinusoïdale amortie.

II-2-1-1-a) Surtension due à la coupure d'un courant inductif

Ces surtensions sont des impulsions de tension apparaissant lors de la commutation (ouverture et fermeture) de circuits comportant des éléments inductifs tels que inductances, enroulements de moteurs ou de transformateurs, ... etc.

En effet, la coupure d'un circuit, tel que celui représenté sur la figure (II.1.a), entraîne une brusque variation de l'intensité du courant électrique parcourant l'élément d'inductance L ; celui-ci engendre alors, dans le circuit, une surtension V_{st} , tel que :

$V_{st} = -L \frac{di}{dt}$, Cette surtension est particulièrement élevée lors de la coupure brusque ($\frac{di}{dt} \rightarrow \infty$). Toutefois, l'énergie de la surtension est limitée par l'énergie totale W stockée dans

l'inductance : $W = \frac{1}{2} L i_0^2$ avec i_0 courant parcourant l'inductance avant la coupure. Du fait de sa forte valeur, la surtension est donc limitée dans le temps figure (II.1.b) [13]

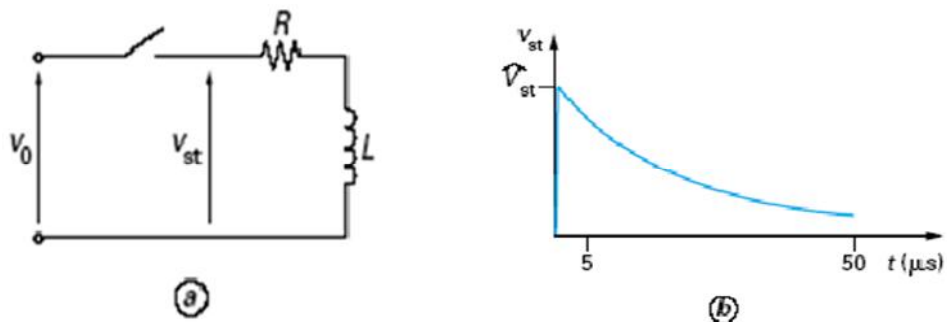


Figure (II.1): Forme de décharge inductive due à la coupure d'un circuit avec inductance L , V_0 tension aux bornes du circuit avant la coupure.

II-2-1-1-b) Surtension due à la coupure d'un courant capacitif

Les courants capacitifs ont principalement trois origines, les câbles à vide et les lignes aériennes longues, ainsi que les batteries de condensateurs. La coupure des courants capacitifs se fait en principe sans difficulté. En effet, lorsque l'appareil interrompt le courant, des surtensions importantes à fréquence élevée dues à des réamorçages peuvent avoir lieu et remettre en cause la coupure et l'intégrité des installations. De plus, la fermeture de l'appareil sur circuit capacitif génère des phénomènes particuliers. [13]

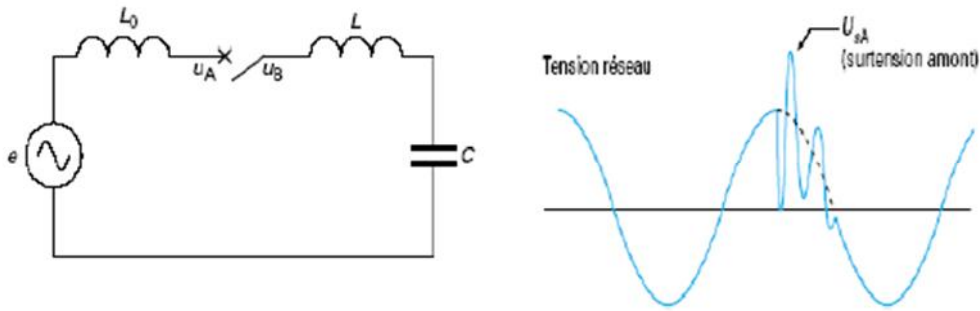
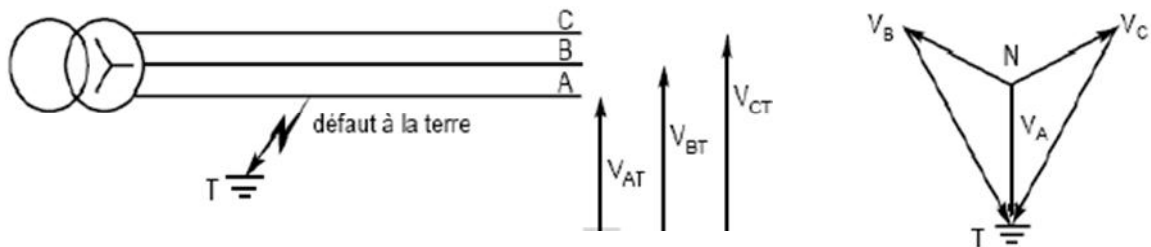


Figure (II.2) : Forme de la surtension lors du couplage au réseau d'une batterie de condensateurs.

II-2-1-2) Surtension provoquée par un défaut d'isolement

Ces surtensions prennent naissance suite à un défaut d'isolement entre une phase et terre, dans le cas d'un réseau triphasé à neutre isolé de la terre la phase concernée est mise au potentiel de la terre et les deux autres sont alors soumises, par rapport à la terre à la tension composée $U = \sqrt{3} V$ [12]



$$V_{BT} = \sqrt{3} V_{BN} \quad V_{CT} = \sqrt{3} V_{CN} \quad V_N = V_{ph}$$

Figure (II.3): Surtension temporaire sur un réseau à neutre isolé de la terre, en présence d'un défaut

II-2-1-3) Surtensions par ferro-résonance

La ferro-résonance est un phénomène de résonance affectant les réseaux électriques impliquant une inductance non linéaire et une capacité alimentées par une source sinusoïdale. Un réseau ferro-résonnant comporte en général deux états : un état stable, correspondant au régime nominal du réseau (associé en général à un état non saturé de l'inductance), et un ou plusieurs autres états dits ferro-résonnants (associés en général à un état de saturation de l'inductance), où les courants sont non sinusoïdaux, et les courants et tensions sont hors de leur valeur nominale. Les réseaux ferro-résonnants

peuvent avoir des comportements chaotiques, difficiles à analyser ou simuler, car la valeur du courant et de la tension à un instant donné dépendant très fortement des valeurs initiales. La transition de l'état nominal à un état perturbé requiert un phénomène transitoire engendre une surtension.

II-2-1-4) Surtension sur une longue ligne à vide (effet Ferranti)

Une surtension peut se produire lorsqu'une ligne longue est alimentée à l'une de ses extrémités et non chargée à l'autre. Elle est due à un phénomène de résonance qui se manifeste par une onde de tension à croissance linéaire le long de la ligne. Le facteur de surtension est de l'ordre de 1,05 pour une ligne de 300 km et de 1,16 pour une ligne de 500 km. Ces valeurs sont sensiblement les mêmes pour les lignes HT et THT. Ce phénomène se produit en particulier lorsqu'une ligne longue est brusquement déchargée. [12]

II-2-2) Surtension d'origine externe

II-2-2-1) Nature et comportement de la foudre

La foudre est une décharge électrique entre un nuage et le sol ou entre deux nuages. A la différence d'un condensateur, où les charges sont à la surface des électrodes conductrices, dans un nuage orageux, les charges sont portées par les gouttelettes d'eau ou les cristaux de glace ; leurs déplacements sont relativement lents, de telle sorte qu'une décharge ne met en jeu qu'une partie des charges contenues dans le nuage. Ainsi, un coup de foudre est généralement constitué d'une série de décharges, utilisant le même trajet d'éclair, et séparées les unes des autres d'un temps variant entre quelques dizaines de microsecondes jusqu'à quelques dixièmes de secondes. Les décharges entre nuage et sol sont négatives dans 90% des cas; elles frappent ainsi les points de l'électrode opposée aux points où le champ électrique est le plus fort : c'est-à-dire les pointes (arbres, clochers, pylônes, fils de lignes électriques, etc...).

On peut chiffrer approximativement les grandeurs d'un coup de foudre : 108 à 1010 V pour le potentiel d'un nuage ; 5 à 10 kV/m pour le champ électrique au voisinage du sol pendant les orages; 20 à 60 kA pour l'intensité d'une décharge 200 kA pour des valeurs extrêmes 10 à 300 C pour les charges des nuages. L'onde de choc présente un front de 1 à 5 μ s et une durée de demi-amplitude de 20 à 50 μ s (durée jusqu'à ce que la tension ait

atteint la moitié de sa valeur maximum). Les décharges négatives, partant du nuage suivant un canal nommé streamer, descendent vers le sol par échelons, avec une allure bifurquée. La vitesse de l'éclair est de 20 à 110 m/ μ s, correspondant à une vitesse en ligne droite entre 15 et 65 m/ μ s.[14]

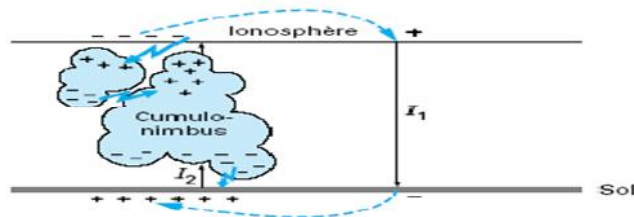


Figure (II.4): Circuit atmosphérique. « I 2 courant associé au coup de foudre ».

II-2-2-2) Mécanisme du coup de foudre

Les chercheurs ont montrés que **85 à 90%** des foudres sont négatives et que seul **10 à 15%** des foudres sont descendantes. Le déroulement d'un coup de foudre négatif fait intervenir une série d'impulsions dont la représentation schématique est donnée sur la figure (II.5). La première impulsion débute par une série de pré décharges, qui trace un chemin préférentiel (précurseur par pas), du nuage vers le sol pour un coup de foudre descendant, sous la forme d'un canal ionisé. Dès que ce chemin est continu entre le nuage et le sol, la décharge principale va s'effectuer du sol vers le nuage (arc en retour). Cette première impulsion est en général la plus longue et fournit au sol plus d'énergie que les suivantes.[12]

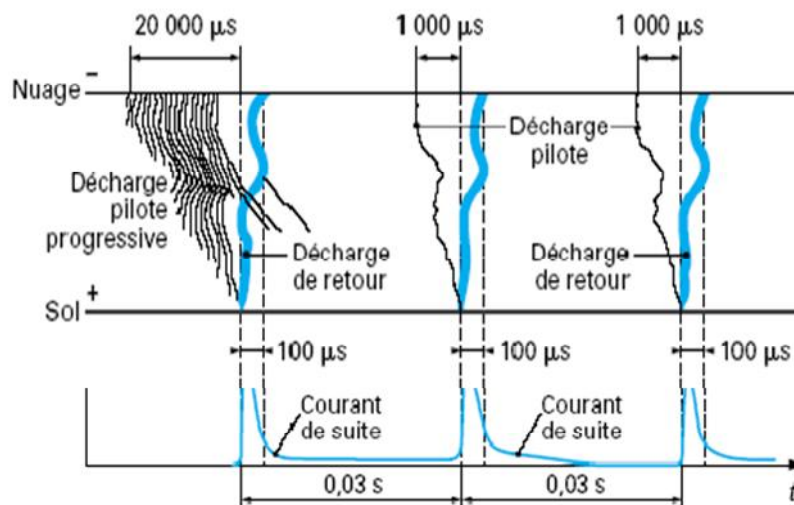


Figure (II.5): Mécanisme du coup de foudre.

II-2-2-3) Schéma électrique équivalent

Le schéma équivalent pour les décharges est donné sur la Figure (II.6). Les valeurs de la résistance R et de l'inductance L dépendent du chemin pris par le courant de décharge i . La différence de potentiel correspondante: $u = R.i + L \frac{di}{dt}$ n'est donc pas une donnée intrinsèque du coup de foudre, qui ne peut être défini que par son courant, c'est-à-dire par une surintensité.[12]

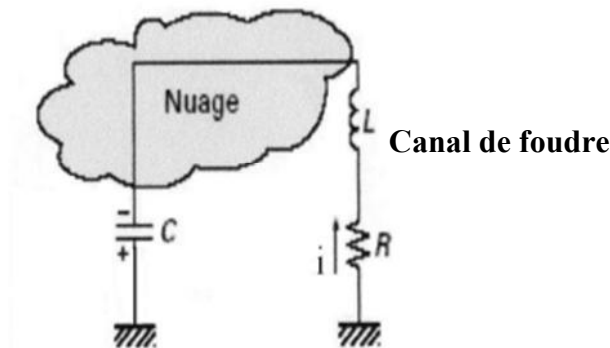


Figure (II.6): Décharges: schéma électrique équivalent.

II-2-2-4) Surtensions dues à la foudre:

Dans tous les circuits électriques au voisinage du canal de la foudre, une tension proportionnelle au courant de foudre et à l'inductance mutuelle entre circuit et canal de foudre sera induite. Les réseaux d'énergie électrique sont particulièrement touchés par les impacts directs de la foudre soit dans les conducteurs, dans les fils de garde ou dans les pylônes des lignes. Analysons les trois cas suivant:

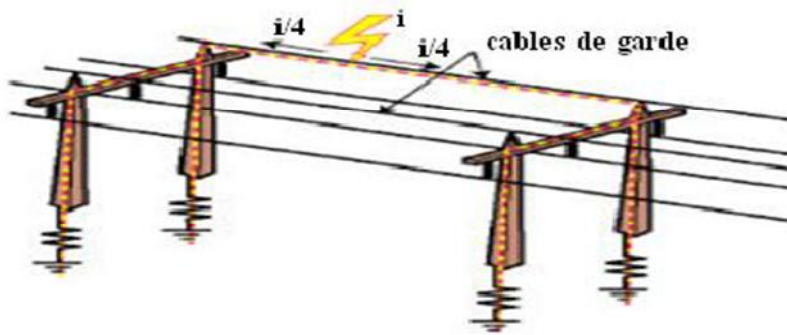
a) Impact direct dans le conducteur d'une ligne aérienne

Il se manifeste par l'injection dans la ligne, d'une onde de courant de plusieurs dizaines de kA. Cette onde de courant, qui peut faire fondre des conducteurs en se propageant de part et d'autre du point d'impact (fig. II 7), provoque une augmentation de tension U donnée par la formule $U=Z_C*i/4$

Avec i le courant injecté

Z_C impédance caractéristique de la ligne (300à1000 Ohm)

U atteint donc des valeurs de plusieurs millions de volts, ce qui n'est supportable par aucune ligne



Figure(II.7) Coup de foudre dans le conducteur d'une ligne

b) Impact direct dans le fil de garde

Si la foudre tombe sur le câble de garde, l'écoulement du courant provoque l'augmentation du potentiel de la masse métallique (pylônes) par rapport à la terre. La surtension U correspondante peut atteindre plusieurs centaines de kV.

$$U = R \cdot (i/4) + (1/4) L (di/dt)$$

Avec : R , résistance en onde raide de la prise de terre et L , l'inductance du pylône et/ou de conducteur de mise à la terre. [15]

Lorsque cette tension atteint la tension d'amorçage d'un isolateur, il se produit un «*amorçage en retour*» entre la structure métallique et un ou des conducteurs actifs.

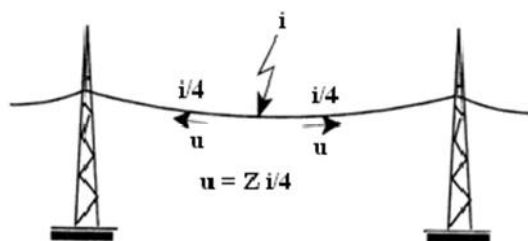


Figure (II.8): Coup de foudre dans le fil de garde.

c) Impact dans un pylône mis à la terre

Dans ce cas, le courant de foudre s'écoule dans la terre et produit une surtension

$$U = R \cdot i + L (di/dt)$$

Avec R , résistance en onde raide de la prise de terre et L , l'inductance du pylône. [15]

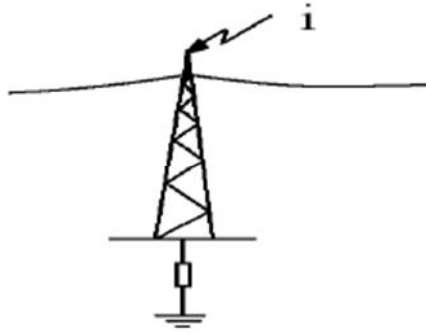


Figure (II.9): Coup de foudre dans le pylône d'une ligne aérienne

II-2-2-5) Paramètres de la foudre

Etant donné que les ondes de chocs dues à la foudre sont toujours de courte durée, l'organisme de normalisation «CEI 60071-1» a établi une onde de tension standard représentée à la figure (II.10), cette onde de foudre a une raideur en $1.2 \mu\text{s}$ (durée du front) et décroît à la moitié de l'amplitude en $50 \mu\text{s}$ (mi valeur) pour cette raison, l'onde habituellement désignée par l'appellation « $1.2 \times 50 \mu\text{s}$ ». La caractéristique de la foudre est déterminée par les quatre paramètres donnés dans la figure (II.11), la valeur de crête \hat{i} est responsable des surtensions directes et le gradient maximum (di/dt)_{max} des surtensions indirectes ou induites. La charge $q = \int i dt$ détermine l'énergie libérée au point d'impact de la foudre lorsque le courant poursuit son chemin sous forme d'arc en traversant un isolateur. L'intégrale du carré $\int i^2 dt$ détermine la contrainte thermique des conducteurs et la force entre les conducteurs parcourus par le courant de foudre.[15]

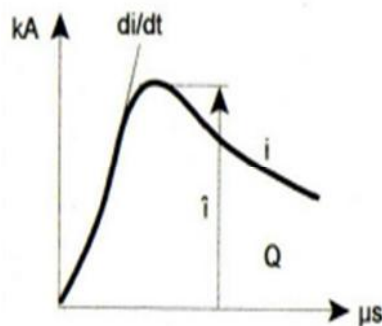


Figure (II.10): allure de l'onde de tension due aux chocs de foudre

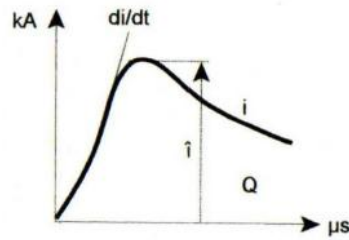


Figure (II.11): Allure du courant de foudre et les paramètres de la foudre.

II-2-2-6) Effets de la foudre

Ils sont de deux ordres : mécanique et électrique.

II-2-2-6-a) Les effets mécaniques

D'une part, l'onde de choc résultant de la détente brusque de l'air porté à 30000 K dans le canal ionisé.

D'autre part, la force électromagnétique due au champ électromagnétique créé par la circulation du courant de foudre dans le canal ionisé.

II-2-2-6-b) Les effets électriques

Proviennent des très fortes différences de potentiel dues à causes de la circulation du courant de foudre, de loin la plus importante et de l'induction électrique correspondant au champ électrique; elle est, par exemple, responsable de l'apparition de surtensions entre un équipement mis à la masse et son boîtier qui ne l'est pas. Les conséquences des effets électriques de la foudre sur les équipements et l'homme. Les effets électriques de la foudre sur les câbles enterrés ou conducteurs aériens sont aussi à prendre en compte, de fait, ces derniers sont de très bons capteurs de la foudre figure (II.12) et transmettent une partie du courant de foudre aux équipements électriques et industriels. Notons enfin que la décharge se comporte comme un émetteur de fréquence dont le spectre s'étale des très basses fréquences jusqu'à plus de 5KHz.[15]

II-3) Conclusion

Les surtensions apparaissent dans une ligne électrique sous la forme des ondes qui se propagent le long de cette dernière. Les importantes pertes par effet Joule et par effet couronne aplatissent la forme de cette onde et diminuent sa valeur crête. Cette onde continue à se propager plus loin pour aboutir finalement un poste de transformation, c'est là que son arrivé peut produire des ravages.

Les surtensions dans les transformateurs peuvent endommager leurs enroulements et les mettre hors service, pour cette raison il faut prévoir des dispositifs de protection contre ces dernières. [6]

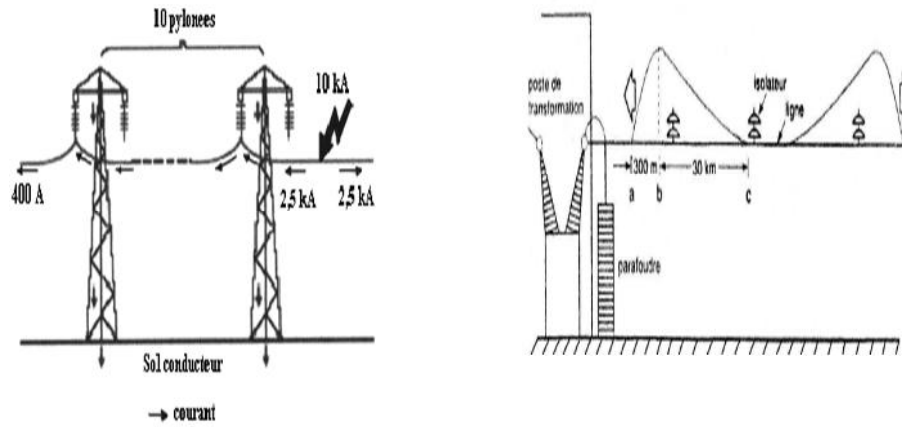


Figure (II.12) : Exemple de la transmission d'un courant de foudre sur une ligne aérienne.

Chapitre III

Calculs des paramètres du réseau

IV) Calcul des paramètres du réseau

Ce chapitre est consacré à la modélisation et au calcul des paramètres des lignes électriques aériennes en utilisant le logiciel OrCad (16.0) option OrCad capture

En utilisant PSpice, qui fait partie de l'ORCAD, on pourra modéliser les schémas des deux réseaux à étudier (réseau 110kV et réseau 35kV)

IV-1) Définition du réseau

Les deux réseaux considérés sont de tensions nominales de 110kV et de 35kV, qui fonctionnent avec le neutre isolé de la terre. Le schéma de réseau est représenté sur la figure (VI-1). C'est le schéma d'une partie d'un réseau électrique. Ce schéma est composé de 3 postes électriques, qui sont liés en radial. Dont le premier, on a un poste ou un transformateur monté en Δ/Y. Le neutre de l'enroulement secondaire est monté en étoile à un point du neutre accessible, tel que le neutre est isolé de la terre. Dans les postes 2 et 3 on a deux charges S_{ch1} et S_{ch2} sont remontées au niveau de haute tension.

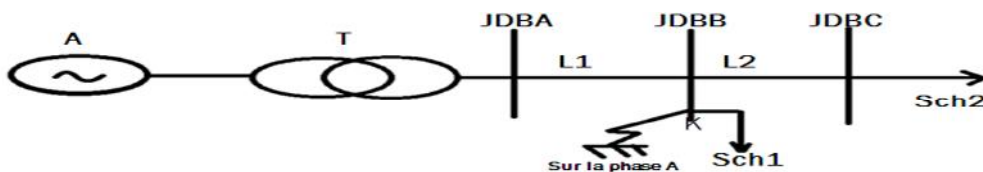


Figure (IV-1) schéma de principe du réseau

On considère un court circuit monophasé sur la phase A au niveau de jeu de barre B du poste 2

Le court circuit monophasé est modélisé par deux interrupteurs réalisant deux allumages et deux extinctions de l'arc de court circuit.

IV-2) Calcul des paramètres des lignes l1 et l2 pour les deux réseaux (110Kv et 35kV)

Calculons les paramètres de schéma équivalent représentés sur la figure (III-1 et III-2)

IV-2-1) Calcul de la résistance(R)

$$R_l = r_0 * l \quad (1)$$

$$r_0 = \rho \frac{1}{s} \quad (2)$$

Tel que :

R_l = La résistance de la ligne (Ω).

Ou :

r_0 : Résistance kilométrique de la ligne (Ω/km)

l : Longueur de la ligne (km)

ρ : Résistivité électrique du matériau ($\Omega\text{mm}^2/\text{km}$)

S : section du conducteur (mm^2)

Les valeurs de la résistance R pour tous les conducteurs sont données dans le catalogue des conducteurs standards .d'après les charges nous allons choisir les conducteurs **AA-185 ET AA-120**, pour la ligne 1 et 2, la résistance kilométrique de ces conducteurs est donné égale a 0.17 (Ω/km) et 0.27 (Ω/km). [16]

IV-2-2) Calcul de l'inductance (L) :

$$X_L = x_0 * l \quad (3)$$

$$x_0 = 0.144 \log \frac{D_m}{r_c} + 0.016 (\Omega / \text{km}) \quad (4)$$

Où :

x_0 : Réactance kilométrique de la ligne (Ω/km)

X_L : Réactance du linge (Ω)

r_c : Rayon d'un seul conducteur (m)

$$D_m = \sqrt[3]{D_1 \cdot D_2 \cdot D_3} \quad (5)$$

D_m : distance moyenne des conducteurs des trois phases(m)

D_1, D_2, D_3 : sont des distances entre conducteurs(m)

Dans le cas où les conducteurs sont placés aux sommets d'un triangle on aura :

$$D_1 = D_2 = D_3$$

Donc :

$$D_m = \sqrt[3]{D^3} = D$$

Et s'ils sont placés horizontalement on aura alors :

$$D_m = \sqrt[3]{D \cdot D \cdot 2D} = \sqrt[3]{2D^3} = \sqrt{2}D = 1.26D$$

Connaissant X on trouve L à partir de l'expression suivante.

$$L_l = L_0 * l \tag{6}$$

$$L_0 = \frac{x_0}{w} \tag{7}$$

Tel que :

L'inductance de la ligne (H)

L'inductance kilométrique de la ligne (H/km)

Pour le conducteur considéré on prend $X_{01} = 0.409(\Omega/\text{km})$ et $X_{02} = 0.402(\Omega/\text{km})$ [16]

IV-2-3) Calcul des capacités :

La conductibilité réactive de la ligne est :

$$B = B_0 * l \tag{8}$$

La conductibilité kilométrique est :

$$B_0 = 7.5 * \frac{10^{-6}}{\log \frac{D_m}{r_c}} \tag{9}$$

Sachant B_0 on calcule C_0

$$C_l = C_0 * l \tag{10}$$

$$C_{01} = \frac{B_{01}}{w} \tag{11}$$

Avec :

B_0 : Susceptance kilométrique (1/km)

C_0 : Capacité kilométrique de la ligne (F/km)

C_l : Capacité de la ligne (F)

B_0 doit être calculé [16]

IV-2-4) Calcul des paramètres des charges S_{ch1} et S_{ch2} :

$$\vec{S}_{ch}^{\pm} = S_{ch1} \cos j + jS_{ch1} * \sin j \quad (12)$$

$$Z_{Sch1} = \frac{U_n}{\sqrt{3}I_n} \quad (13)$$

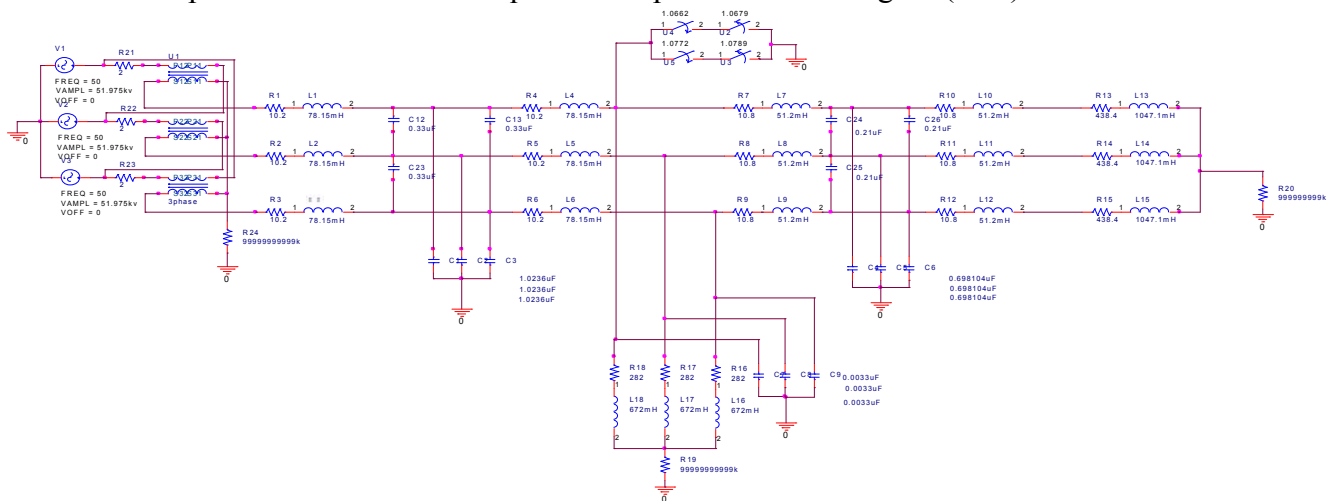
$$I_{Sch1} = \frac{S_{Ch1}}{\sqrt{3}U_n}$$

$$\vec{Z}_{ch1} = Z_{ch1} \cos j + jZ_{ch1} * \sin j \quad (14)$$

IV-3) Application numérique

IV-3-1) Calcul des paramètres des lignes l1 et l2 pour le réseau (110kv)

Calculons les paramètres de schéma équivalent représentés sur la figure (III.1)



(Figure III.1) : Schéma de réseaux 110kv

Ligne 1 :

D'après la charge 1 on choisit les conducteurs **AA-185**

La longueur de la ligne 1 est $l_1=120$ km

Resistance :

Pour les conducteurs **AA-185** on a :

$$r_{01}=0.17 \text{ (}\Omega/\text{km)}$$

$$R_{l1} = r_{01} * l_1 = 0.17 * 120 = 20.4(\text{W})$$

Inductance :

$$\text{On a : } x_0 = 0.144 \log \frac{D_m}{r_c} + 0.016(\Omega / km)$$

Pour la ligne **AA-185** $d_{c1}=19.1$ mm.

Alors :

$$r_{c1}=9.55 \text{ (mm)}$$

Et :

$$D_{m1}=5\text{m}$$

Donc :

$$x_{01} = 0.409 \text{ (}\Omega/\text{km)}$$

Et :

$$L_{01} = \frac{x_{01}}{w} = \frac{x_{01}}{2p50} = 1.3025\text{mH} / km$$

Donc :

$$L_{l1}=L_{01}*l_1=1.3025*120=156.3 \text{ (mH)}.$$

Capacités :

On a :

$$C_{01} = \frac{B_0}{w}$$

$$B_{01} = 7.5 * \frac{10^{-6}}{\log \frac{D_{m1}}{r_{c2}}}$$

Pour : $d_{c1}=19.1$ mm et $D_m=5$ m

On aura :

$$C_{01} = 0.00853 \left(\frac{\mu F}{km} \right)$$

Et : $C_{11} = C_{01} * l_1 = 0.00853 * 120 = 1.0236$ (μF).

$C_{12} = C_{23} = C_{31} = (0.2 \div 4) C_{01} = 0.33$ (μF).

NB : dans les lignes de 110kV, la conductibilité j est négligeable car l'effet couronne n'apparaît qu'à partir de 220 kV.

Ligne 2 :

D'après la charge 1 on choisit les conducteurs du type **AA-120**

La longueur de la ligne 2 est $l_2=80$ km

Resistance :

Pour les conducteurs **AA-120** on a :

$$r_{02} = 0.27 \text{ (}\Omega/\text{km)}$$

$$R_{l2} = r_{02} * l_2 = 0.27 * 80 = 21.6 \text{ (W)}$$

Inductance :

$$\text{On a : } x_0 = 0.144 \log \frac{D_m}{r_c} + 0.016 \text{ (}\Omega / \text{km)}$$

Pour la ligne **AA-120** $d_{c2}=19.1$ mm.

Alors :

$$r_{c2} = 9.55 \text{ (mm)}$$

Et :

$$D_{m2} = 4.6 \text{ m}$$

Donc :

$$x_{02} = 0.402 \text{ (\Omega/km)}$$

Et :

$$L_{02} = \frac{x_{02}}{w} = \frac{x_{02}}{2p50} = 1.28 \text{ mH / km}$$

Donc :

$$L_{l2} = L_{02} * l_2 = 1.28 * 80 = 102.4 \text{ (mH)}.$$

Capacités :

On a :

$$C_{02} = \frac{B_{02}}{w}$$

$$B_{02} = 7.3 * \frac{10^{-6}}{\log \frac{D_{m2}}{r_{c2}}}$$

Pour : $d_{c1} = 19.1 \text{ mm}$, $D_m = 5 \text{ m}$.

On aura :

$$C_{02} = 0.0087263 \left(\frac{\mu\text{F}}{\text{km}} \right)$$

$$\text{Et : } C_{l2} = C_{02} * l_2 = 0.0087263 * 80 = 0.698104 \text{ (\muF)}.$$

$$C_{l2} = C_{23} = C_{3l} = (0.25 \div .4) C_{0l} = 0.21 \text{ (\muF)}.$$

NB : Dans les lignes de 110kV, la conductibilité j est négligeable car l'effet couronne n'apparaît qu'à partir de 220 kV.

Le jeu de barre :

$$C_{jb} = 0.003 \text{ (\muF)}.$$

Avec :

C_{jb} : capacité de jeu de barre.

Calcule des paramètres des charges $\square S_{ch1}$, $\square S_{ch2}$

La charge 1 ($\square S_{ch1}$) :

On a :

$$\overline{S}_{ch1} = 34 \text{ MVA} \quad \text{et} \quad \cos \phi = 0.8$$

$$\overline{S}_{ch1} = 34 * 0.8 + j 34 * 0.6 = 27.2 + j 20.4 \quad (\text{MVA})$$

$$U_n = 110 \text{ kV}$$

Le courant de cette charge est de :

$$I_{ch1} = \frac{34000}{\sqrt{3} * 110} = 178.9 \quad (\text{MVA})$$

$$I_{ch1n} = 180 \quad (\text{KVA})$$

$$\cos \phi = 0.8$$

Avec : U_n et I_{ch1n} , la tension et le courant nominal de la charge 1.

$$\text{Or:} \quad Z_{ch1} = U_n / \sqrt{3} I_n = \frac{110000}{\sqrt{3} * 180} = 353 (\Omega)$$

$$\text{Et: } \overline{Z}_{ch1} = Z_{ch1} \cos j + j Z_{ch1} * \sin j \quad (\Omega)$$

$$\overline{Z}_{ch1} = 353 * 0.8 + j 353 * 0.6 = 282 + j 210 (\text{W}).$$

$$R_{ch1} = 282 \quad (\Omega)$$

$$L_{ch1} = \frac{210}{\omega} = \frac{210}{314} = 0.672 (\text{H}).$$

La charge 2 ($\square S_{ch2}$) :

On a :

$$\overline{S}_{ch2} = 22 \text{ MVA} \quad \text{et} \quad \cos \phi = 0.8$$

$$\overline{S}_{ch2} = 22 * 0.8 + j 22 * 0.6 = 17.6 + j 13.2 \quad (\text{MVA})$$

$$U_n = 110 \text{ kV}$$

Le courant de cette charge est de :

$$I_{ch2} = \frac{22000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 115.47(\text{A})$$

$$I_{ch2n} = 116 \text{ (A)}$$

$$\cos\varphi = 0.8$$

Avec : U_n et I_{ch1n} , la tension et le courant nominal de la charge2.

$$\text{Or: } Z_{ch2} = U_n / \sqrt{3} I_{n2} = \frac{110000}{\sqrt{3} \cdot 116} = 548(\Omega)$$

$$\text{Et: } \vec{Z}_{ch2} = Z_{ch2} \cos j + j Z_{ch2} * \sin j \text{ (}\Omega\text{)}$$

$$\vec{Z}_{ch2} = 548 * 0.8 + j 548 * 0.6 = 438.4 + j 328.8(\text{W}).$$

$$R_{ch2} = 438.4 \text{ (}\Omega\text{)}$$

$$L_{ch2} = \frac{328.8}{\omega} = \frac{328.8}{314} = 1.0471(\text{H}).$$

NB : Puisque le schéma équivalent de la ligne est en forme « **T** » alors sur le schéma de calcul nous avons les résistances et les inductances divisés par deux et les capacités restent les mêmes.

Alors :

$$R_{l1} = 20.4/2 = 10.2 \text{ (}\Omega\text{)}$$

$$L_{l1} = 156.3/2 = 78.15 \text{ (mH)}$$

$$C_{l1} = 1.06236 \text{ (}\mu\text{F)}$$

Et :

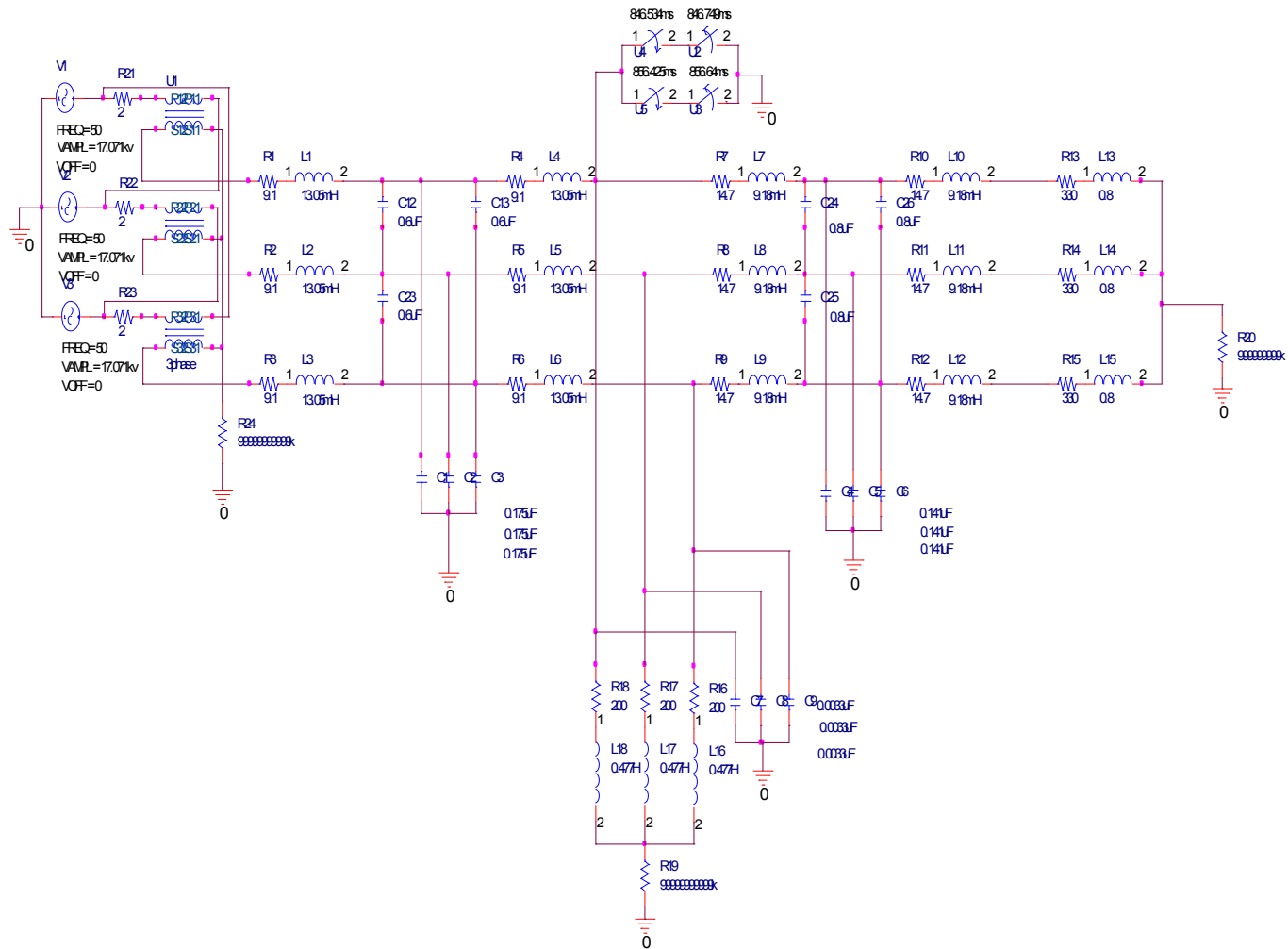
$$R_{l2} = 21.6/2 = 10.8 \text{ (}\Omega\text{)}$$

$$L_{l2} = 102.4/2 = 51.2 \text{ (mH)}$$

$$C_{l2} = 0.698104 \text{ (}\mu\text{F)}$$

IV3-2) Calcule des paramètres des lignes l1 et l2 pour le réseau (35kv)

Calculons les paramètres de schéma équivalent représentés sur la figure (III.2)



(Figure III-2) : Schéma de réseaux 35kv

Ligne 1 :

D'après la charge 1 nous choisissons les conducteurs **AA-35**

La longueur de la ligne 1 est $l_1=20$ km

Resistance :

Pour les conducteurs **AA-35** on a :

$$r_{01} = 0.91 \text{ (}\Omega/\text{km)}$$

$$R_{l1} = r_{01} * l_1 = 0.91 * 20 = 18.2 \text{ (W)}$$

Inductance :

$$\text{On a : } x_0 = 0.144 \log \frac{D_m}{r_c} + 0.016 (\Omega / km)$$

Pour la ligne AA-35 $d_{c1} = 5.4$ mm.

Alors :

$$r_{c1} = 2.7 \text{ (mm)}$$

Et :

$$D_{m1} = 1.5m$$

Donc :

$$x_{01} = 0.411 \text{ (\Omega/km)}$$

Et :

$$L_{01} = \frac{x_{01}}{w} = \frac{x_{01}}{2p50} = 1.3089mH / km$$

Donc :

$$L_{l1} = L_{01} * l_1 = 1.3089 * 20 = 26.1 \text{ (mH)}.$$

Capacités :

On a :

$$C_{01} = \frac{B_{01}}{w}$$

$$B_{01} = 7.3 * \frac{10^{-6}}{\log \frac{D_{m1}}{r_{c2}}}$$

Pour : $d_{c1} = 5.4$ mm et $D_m = 5$ m

On aura :

$$C_{01} = 0.00853 \left(\frac{\mu F}{km} \right)$$

$$\text{Et : } C_{l1} = C_{01} * l_1 = 0.00879 * 20 = 0.1759 \text{ (\mu F)}.$$

$$C_{12} = C_{23} = C_{31} = (0.25 \div 0.4) C_{01} = 0.6 \text{ (\mu F)}.$$

NB : dans les lignes de 35kV, la conductibilité j est négligeable car l'effet couronne n'apparaît qu'à partir de 220 kV.

Ligne 2 :

D'après la charge 1 on choisit les conducteurs **AA-16**

La longueur de la ligne 2 est $l_2=15\text{km}$

Resistance :

Pour les conducteurs **AA-16** on a :

$$r_{02}=1.96 \text{ (}\Omega/\text{km)}$$

$$R_{l2} = r_{02} * l_2 = 1.96 * 15 = 29.4(\text{W})$$

Inductance :

$$\text{On a : } x_0 = 0.144 \log \frac{D_m}{r_c} + 0.016(\Omega / \text{km})$$

Pour la ligne **AA-16** $d_{c2}=8.3 \text{ mm}$.

Alors :

$$r_{c2} = 4.15 \text{ (mm)}$$

Et :

$$D_{m2} = 1.5 \text{ m}$$

Donc :

$$x_{02} = 0.384(\Omega/\text{km})$$

Et :

$$L_{02} = \frac{x_{02}}{w} = \frac{x_{02}}{2p50} = 1.22 \text{mH} / \text{km}$$

Donc :

$$L_{l2}=L_{02}*l_2=1.22*15=18.36 \text{ (mH)}.$$

Capacités :

On a :

$$C_{02} = \frac{B_{02}}{w}$$

$$B_{02} = 7.5 * \frac{10^{-6}}{\log \frac{D_{m2}}{r_{c2}}}$$

Pour : $d_{c1} = 8.3$ mm et $D_m = 1.5$ m

On aura :

$$C_{02} = 0.009437 \left(\frac{\mu F}{km} \right)$$

$$\text{Et : } C_{l2} = C_{02} * l_2 = 0.009437 * 15 = 0.141 \text{ (}\mu F\text{)}.$$

$$C_{l2} = C_{23} = C_{3l} = (0.25 \div 4) C_{0l} = 0.8 \text{ (}\mu F\text{)}.$$

NB : dans les lignes de 35kV, la conductibilité j est négligeable car l'effet couronne n'apparaît qu'à partir de 220 kV.

Le jeu de barre :

$$C_{jb} = 0.0033 \text{ (}\mu F\text{)}.$$

Avec :

C_{jb} capacité de jeu de barre.

Calcul des paramètres des charges $\tilde{S}_{ch1}, \tilde{S}_{ch2}$

La charge 1 (\tilde{S}_{ch1}) :

On a :

$$\tilde{S}_{ch1} = 7 \text{ MVA et } \cos \phi = 0.8$$

$$\tilde{S}_{ch1} = 7 * 0.8 + j 7 * 0.6 = 5.6 + j 4.2 \text{ (MVA)}$$

$$U_n = 35 \text{ kV}$$

Le courant de cette charge est de :

$$I_{chl} = \frac{4900}{\sqrt{3} * 35} = 80.8 \text{ (A)}$$

$$I_{chl n} = 80.83 \text{ (A)}$$

$$\cos\varphi = 0.8$$

Avec : U_n et I_{ch1n} , la tension et le courant nominal de la charge1.

$$\text{Or: } Z_{ch1} = U_n / \sqrt{3} I_n = \frac{35000}{\sqrt{3} \cdot 80.83} = 250(\Omega)$$

$$\text{Et: } \vec{Z}_{ch1} = Z_{ch1} \cos j + j Z_{ch1} * \sin j \ (\Omega)$$

$$\vec{Z}_{ch1} = 250 * 0.8 + j 250 * 0.6 = 200 + j 150(W).$$

$$R_{ch1} = 139.4 \ (\Omega)$$

$$L_{ch1} = \frac{150}{\omega} = \frac{150}{314} = 0.477(H).$$

La charge 2 (\mathcal{S}_{ch2}) :

On a :

$$\mathcal{S}_{ch2} = 22 \text{ MVA} \quad \text{et} \quad \cos \phi = 0.8$$

$$\mathcal{S}_{ch2} = 3 * 0.8 + j 3 * 0.6 = 2.4 + j 1.8 \quad (\text{MVA})$$

$$U_n = 35 \text{ kV}$$

Le courant de cette charge est de :

$$I_{ch2} = \frac{3000}{\sqrt{3} \cdot 35} = 49.5 \ (A)$$

$$I_{ch2n} = 50 \ (A)$$

$$\cos\varphi = 0.8$$

Avec : U_n et I_{ch1n} , la tension et le courant nominal de la charge2.

$$\text{Or: } Z_{ch2} = U_n / \sqrt{3} I_n = \frac{35000}{\sqrt{3} \cdot 349.5} = 548(\Omega)$$

$$\text{Et: } \vec{Z}_{ch2} = Z_{ch2} \cos j + j Z_{ch2} * \sin j \ (\Omega)$$

$$\vec{Z}_{ch1} = 408 * 0.8 + j 408 * 0.6 = 330 + j 245(W).$$

$$R_{ch1} = 330 \ (\Omega)$$

$$L_{ch1} = \frac{245}{\omega} = \frac{245}{314} = 0.8 \ (H).$$

NB : Puisque le schéma équivalent de la ligne est en forme «T» alors sur le schéma de calcul nous avons les résistances et les inductances divisé par deux et les capacités restent les mêmes.

Alors :

$$R_{11} = 18.2/2 = 9.1 \text{ } (\Omega)$$

$$L_{11} = 26.1/2 = 13.05 \text{ } (mH)$$

$$C_{11} = 0.1759 \text{ } (\mu F)$$

Et :

$$R_{12} = 29.4/2 = 14.7 \text{ } (\Omega)$$

$$L_{12} = 18.36/2 = 9.18 \text{ } (mH)$$

$$C_{12} = 0.8 \text{ } (\mu F)$$

Chapitre IV

**Simulation et
interprétation des
résultats**

Introduction

Ce chapitre est consacré pour l'étude des surtensions d'amorçage d'arc pour les réseaux représentés sur les figures (VI.1 et VI.2)

Dans cette étude, nous allons prendre, les surtensions de phase de réseau 110kv et de réseau 35kv sur le point de défaut et le courant de défaut dans la phase endommagée

IV-1) Simulation et interprétation des résultats :

Notre étude est faite par la méthode mathématique utilisant le logiciel OrCad (16.0) (PSPice)

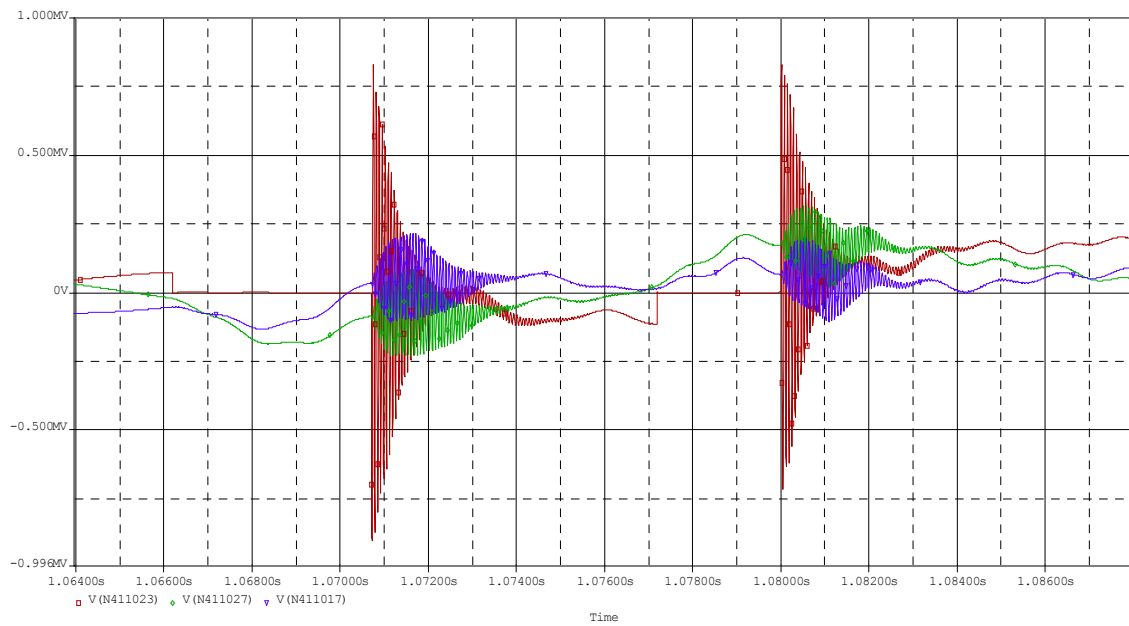
On a fait les calculs (simulation) pour le neutre isolé de la terre. Le court-circuit est modélisé par les commutateurs U_2 , U_3 , U_4 , U_5 . Sur le schéma de calcul, U_4 est le commutateur à l'aide duquel on met à la terre le conducteur de la phase A, à l'instant choisit (U_{Amax}).

A l'instant où le courant de court-circuit passe à sa valeur zéro, l'arc crée sur le point de C, C s'éteint à l'aide de commutateur U_2 . Dans une demi-période, lorsque la tension sur la phase endommager (phase A) atteint sa valeur maximale suivante (négative), une deuxième fois l'arc s'allume et ceci est réalisé sur le schéma par la fermeture de commutateur U_5 et son extinction à l'aide de commutateur U_3 .

IV-2-1) Résultats de la simulation pour le schéma 110kv :

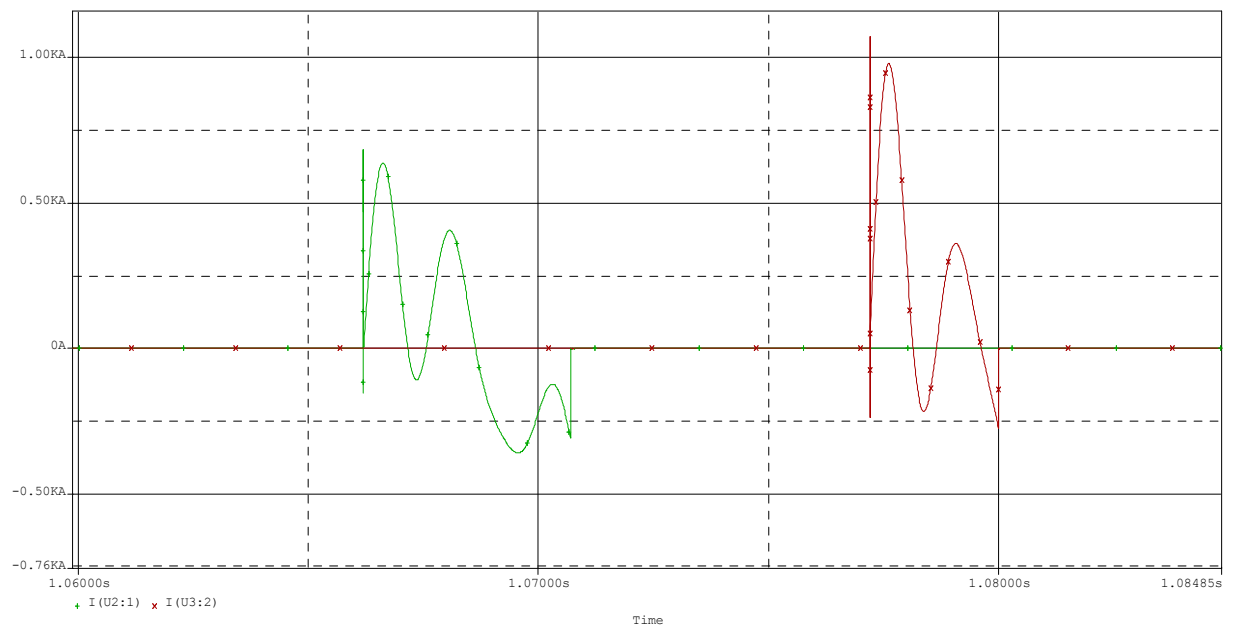
La figure (IV-1) et (IV2) montre l'évolution des surtensions des phases A, B et C en fonction de la phase d'enclenchement et déclenchement de l'arc électrique et le courant de court-circuit au point de défaut.

Les résultats des surtensions (U_{max}) des trois phases au point de défaut (jeu de barre A) sont représentés dans le tableau (IV-3)



U_A U_B U_C

Figure (IV-1) : les tensions U_A , U_B et U_C lors d'allumage et extinction de 1^e et 2^e défaut



I_{U2} I_{U3}

Figure (IV-2) : courant de défaut lors de 1^e et 2^e défaut

Création de l'arc	t (s)	U _{max} (KV)	I _{U₂max} (A)
Création de 1 ^e arc	t _{close} =1.0662	U _A = 0	681.795
		U _B = 187.55	
		U _C = 133.73	
Extinction de 1 ^e arc	t _{open} =1.0707	U _A = 902.259	0
		U _B = 231.541	
		U _C = 215.81	
Création de 2 ^e arc	t _{close} =1.0772	U _A = 0	1073
		U _B = 187.453	
		U _C = 128.094	
Extinction de 1 ^e arc	t _{open} =1.08	U _A = 830.512	0
		U _B = 317.003	
		U _C = 211.019	

Tableau (IV-1) : Evolutions des surtensions des phases U_Amax, U_Bmax et U_Cmax en fonction de temps 'enclenchement et déclenchement de l'arc électrique et le courant de défaut I_{U₂max}

I_{U₃max}.

IV-2-1-2) Interprétation des résultats :

Les courbes des trois tensions U_A, U_B et U_C sont représentées sur la figure (IV-1)

Tel que :

- A l'instant t=1.0662 s lorsque la tension de la phase A atteint sa valeurs maximale positive U_A=75.7544kv, le cc sur la phase A arrivé, la tension U_A passe à sa valeur zéro et U_B, U_C augmentent respectivement jusqu'à 187.55 KV et 133.73KV.
- A l'instant t=1.0707s ou le courant transitoire passe par ca valeur zéro, l'arc s'éteint et la tension U_A passe par ca valeur maximale U_Amax = 902.259 kv juste après la coupure de c c, ainsi que U_B=231.541kv et U_C=215.81kv.
- Puis a t=10772s la tension de la phase endommagée passe à sa valeur maximale négative U_A =-116153kv, l'arc s'allume pour la deuxième fois et U_A s'annule de nouveau et les tensions des phases saines (phase B et C) augmentent respectivement jusqu'à 187.453kv et 128.094 kv
- A l' instant où l'arc s'éteint pour la deuxième fois (a t=1.08s), toutes les surtensions des trois phases augmentent respectivement jusqu'à 830.512kv, 317.003kv, 211.019kv. voir la figure (IV-1).

IV-2-1-3) Analyse des résultats

A partir de tableau (IV, 1) et la figure (IV, 1) qui représentent les surtensions sur la ligne, on constate qu'au moment de court-circuit, la surtension de la phase endommagée s'annule et les surtensions des phases saines augmentent progressivement jusqu'à 187.55KV, et à l'extinction de l'arc, la surtension au niveau de la phase endommagée atteint 902.259KV et pour les autres phases atteint 231.54kV. Ces dernières diminuent progressivement pour reprendre leur forme initiale.

Pour le deuxième court-circuit on constate presque les mêmes résultats, sauf que cette fois-ci le court-circuit est déclenché au moment où la tension de la phase A atteint sa valeur maximale négative.

Tel que :

Au moment du cc, la surtension de la phase s'annule et les surtensions des autres phases augmentent progressivement jusqu'à 187.453KV, et à l'extinction de l'arc, la surtension au niveau de la phase endommagée atteint 830.51kV pour les autres phases, atteint 317.003KV, ces dernières diminuent progressivement pour reprendre leur forme initiale.

Et pour la figure (IV-2), représente les courants de défauts au niveau des commutateurs U_1 et U_3 . tel qu'au moment où les commutateurs sont ouverts, les valeurs de courant de court-circuit sont nulles, et à la fermeture les courants I_{U2} et I_{U3} atteignent respectivement leurs valeurs maximales de 681.795 A et 1073A

On se basant sur les valeurs du tableau (VI-1), on peut déduire les valeurs de coefficient de surtension K_S pour que nous puissions comparer entre les surtensions des différentes phases

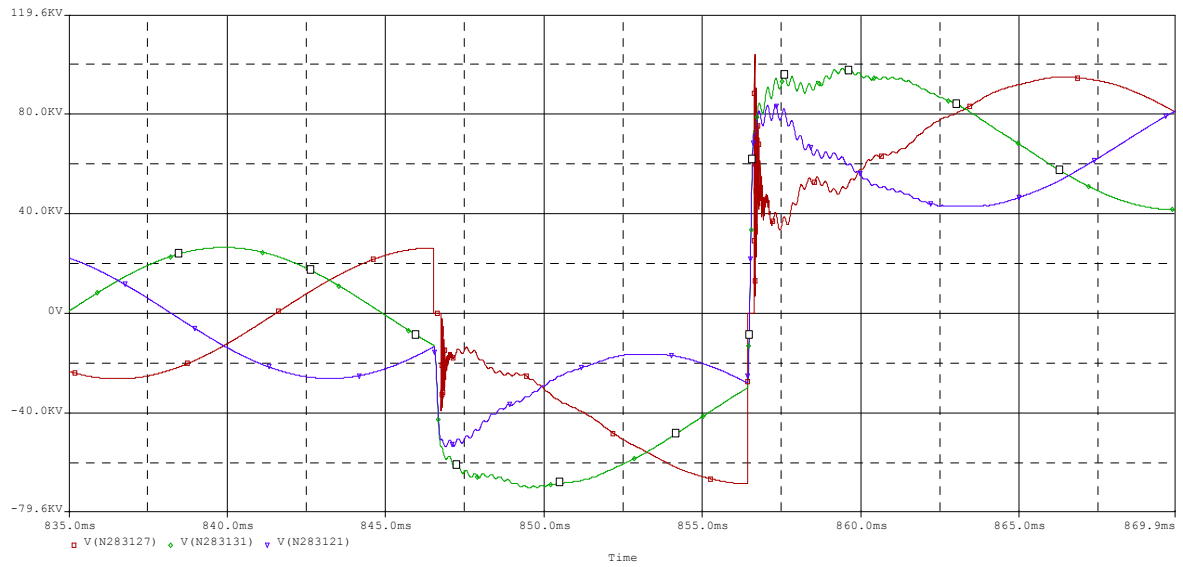
$$K_S = \frac{U_{max}}{\rho_{CC}}$$

$$\rho_{CC} = 110 \sqrt{2} / \sqrt{3} = 89.81 \text{ kv (amplitude de la tension de phase)} \quad [16]$$

IV-3-1) Résultats de la simulation pour le schéma 35kv :

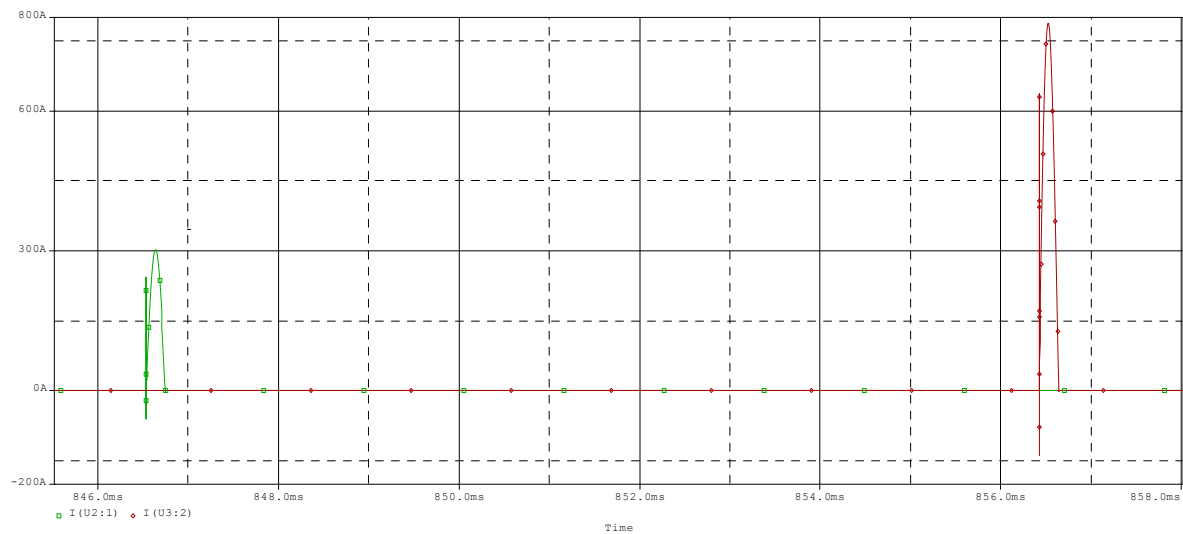
La figure (IV-3) et (IV4) montre l'évolution des surtensions des phases A, B et C en fonction de la phase d'enclenchement et déclenchement de l'arc électrique et le courant de court-circuit au point de défaut

Les résultats des surtensions (U_{max}) des trois phases au point de défaut (jeu de barre A) sont représentés dans le tableau (IV-2)



U_A U_B U_C

Figure (IV-3) : les tensions U_A , U_B et U_C lors d'allumage et extinction de 1^e et 2^e défaut



I_{U2} I_{U3}

Figure (IV-4) : courant de défaut lors de 1^e et 2^e défaut

Création de l'arc	t (s)	U _{max} (KV)	I _{max}
Création de 1 ^e arc	t _{close} =846.534 ms	U _A = 0	303.014
		U _B = 46.782	
		U _C = 45.036	
Extinction de 1 ^e arc	t _{open} = 846.749ms	U _A = 68.453	0
		U _B = 70.570	
		U _C = 53.987	
Création de 2 ^e arc	t _{close} =856.425ms	U _A = 0	787.287
		U _B = 72.063	
		U _C = 71.187	
Extinction de 1 ^e arc	t _{open} =856.64ms	U _A = 103.967	0
		U _B = 98.380	
		U _C = 83.694	

Tableau (IV-2) : Evolutions des surtensions des phases U_Amax, U_Bmax et U_Cmax en fonction de temps 'enclenchement et déclenchement de l'arc électrique et le courant de défaut I_{U2}max et I_{U3}max.

IV-3-1-1) Interprétation des résultats

Les courbes des trois tensions U_A, U_B et U_C sont représentés sur la figure (IV-3)

Tel que :

- A l'instant t=846.534 ms lorsque la tension de la phase A atteint ca valeurs maximale positive U_A=75.7544kv, le court-circuit sur la phase A arrivé, la tension U_A passe à sa valeur zéro et U_B, U_C augmentent respectivement jusqu'à 46.782KV et 45.036KV.
- A l'instant t=846.749ms ou le courant transitoire passe par sa valeur zéro, l'arc s'éteint et la tension U_A passe par sa valeur maximale U_Amax = 39.980kv juste après la coupure de cc, ainsi que U_B=70.570kv et U_C=53.987kv.
- Ensuite a t=856.425ms la tension de la phase endommagée passe par sa valeur maximale négative U_A =-116153kv, l'arc s'allume pour la deuxième fois et U_A s'annule de nouveau et les tensions des phases saines (phase B et C) augmentent respectivement jusqu'à 72.063 et 71.187kv
- A l'instant où l'arc s'éteint pour la deuxième fois (a t=856.64ms), toutes les surtensions des trois phases augmentent respectivement jusqu'à 103.967kv, 98.380kv, 83.694kv. Comme le montre la figure (IV-3).

IV-3-1-2) Analyse des résultats

A partir de tableau (IV, 2) et la figure (IV, 3) qui représentent les surtensions sur la ligne, on constate qu'au moment du cc, la surtension de la phase endommagée s'annule et les surtensions des phases saines augmente progressivement jusqu'à 46.782KV, et à l'extinction de l'arc, la surtension au niveau de la phase endommagé atteint 39.980KV et pour les autres phases atteint 70.570KV, ces dernières diminuent progressivement pour reprendre leur forme initial.

Pour le deuxième cc on constate presque les mêmes résultats qu'avant, sauf que cette fois ci le cc est déclenché au moment où la tension de la phase A atteint leur valeurs maximales négatives.

Tel que :

Au moment du cc, la surtension de la phase s'annule et les surtensions des autres phases augmente progressivement jusqu'à 72.063 KV, et à l'extinction de l'arc, la surtension au niveau de la phase endommagée atteint 103.967KV et pour les autres phases attient 98.380KV, ces dernières diminuent progressivement pour reprendre leur forme initial.

Et sur la figure (IV-2), on a représenté les courants de défauts au niveau des commutateurs U_2 et U_3 . tel qu'au moment où les commutateurs sont ouverts, les valeurs de courant de court-circuit sont nulle, et a la fermeture les courants I_{U2} et I_{U3} ont atteindre leurs valeurs maximales 303.014A et 787.287A

On se basant sur les valeurs des tableaux (VI-1) (IV-2), on peut déduire les valeurs de coefficient de surtension K_S pour que nous puissions comparer entre les surtensions de différentes phases

$$K_S = \frac{U_{max}}{\rho_{CC}}$$

$$\rho_{CC} = 110 \sqrt{2} / \sqrt{3} = 89.81 \text{ kv (amplitude de la tension de phase) [16]}$$

➤ **Pour 110KV**

Lors de 1^e défaut

$$K_{S A} = \frac{902.259}{89.81} = 10.04$$

$$K_{S B} = \frac{231.541}{89.81} = 2.57$$

Lors de 2^e défaut

$$K_{S A} = \frac{830.512}{89.81} = 9.24$$

$$K_{S B} = \frac{317.003}{89.81} = 3.52$$

➤ Pour 35KV

Lors de 1^{er} défaut

$$K_{SA} = \frac{68.453}{28.57} = 3.39$$

$$K_{SB} = \frac{70.570}{28.57} = 2.46$$

Lors de 2^{er} défaut

$$K_{SA} = \frac{103.967}{28.57} = 3.63$$

$$K_{SB} = \frac{98.380}{28.57} = 3.44$$

IV-4) Comparaison des résultats

À partir des figures (IV-1) à (IV-4) qui représentent les surtensions sur les lignes des réseaux 110KV et 35KV et des tableaux (IV-1) et (IV-2) on constate que les valeurs des surtensions et le courant dans la phase endommagée lors du premier et du deuxième défaut sont plus importants dans le réseau 110kV

Comme le montre les valeurs de K_S

Tel qu'au premier défaut

$$K_{SA(110KV)} = 10.04 \quad \text{et} \quad K_{SA(35KV)} = 3.39$$

Et au 2^{er} défaut

$$K_{SA(110KV)} = 9.24 \quad \text{et} \quad K_{SA(35KV)} = 3.63$$

Les courants de défaut dans les réseaux sont aussi plus considérables dans les réseaux 110KV que dans le réseau de 35KV

Et que ce dernier est plus important dans le deuxième défaut, et on constate aussi que les surtensions dans la phase endommagée est plus importante par rapport à celles des phases saines.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Un défaut sur le réseau électrique qu'il soit de transport ou de distribution peut conduire à un incident de grande ampleur privant d'alimentation une partie importante du territoire. Lors d'un défaut les valeurs prises par le courant de défaut, les surtensions sont dépendantes à la tension nominale du ligne, la donc la présence de la surtension augmente considérablement les pertes de puissance sous forme de perte joule dans les conducteurs. La création des surtensions provoque aussi des harmoniques dans le réseau et d'autres phénomènes perturbateurs qui font la dégradation de la qualité de l'énergie électrique.

Pour notre cas, on a étudié les différentes particularités des surtensions d'amorçage d'arc, entre un réseau de transport (110KV) et un autre réseau distribution (35KV).

Afin de réaliser cette étude, on a adopté deux modèles de réseau (HT et MT) à étudier, pour cela on a utilisé le logiciel OrCad16.0(PSpice) et effectué la simulation en faisant créer deux arcs électriques, la simulation est faite pour les deux cas de réseau (réseau 110KV et réseau 35KV).

En effet les résultats obtenus montrent bien que la tension nominale de réseau influence considérablement sur les surtensions, tel qu'elles augmentent avec l'augmentation de l'amplitude de la tension considérée, ce qui engendre l'augmentation de courant de défaut qui est aussi très important et pertes de puissance intéressantes.

Donc :

- Les courants forts causent les pertes de puissance par effet Joule
- Les surtensions fortes causent des claquages et pertes d'isolation et même la destruction des lignes et des appareils électriques.

Nous espérons que ce présent travail puisse être un outil de base et une analyse complémentaire pour les futures études concernant

- La propagation des surtensions dans les réseaux électriques.
- Créer les méthodes de calculs plus pour mieux connaître le phénomène de surtension.
- Généralisation de l'étude pour les différents niveaux de tension.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] N. BOUBOUZAL « Influence de régime de neutre sur les surtensions et les surintensités dans les réseaux électriques ». Mémoire magister, université Mouloud MAMMERI Tizi-Ouzou, 2008.
- [2] J.L.LILIEN « Cours donne à l'Institut d'Electricité Montefiore » Université de Liège, 2010.
- [3] Christophe PRÉVÉ, Robert JEANNOT « Guide de conception des réseaux électriques industriels » Cahier technique Schneider Electric, édition 1997.
- [4] Frédéric JOLLIET « Structure des réseaux de distribution », 2012.
- [5] VALENTIN CRASTAN « Les réseaux d'énergie électrique ». Tome 1.
- [6] THEODORE WILDI « Électrotechnique ». 3ème édition. 2005.
- [7] Wikipédia (réseau électrique, transformateur électrique, jeu de barre).
- [8] I.HENNEBIQUE, G. LE ROY, A.VICAUD « Parafoudre et céramique à oxyde de zinc » Epure 1984.
- [9] Michel PAYS « Câbles de transport d'énergie ». Techniques de l'Ingénieur, traité Génie électrique Doc. D 4 522.
- [10] « Architecture des transports d'énergies » commentaire Ihli.
- [11] : FRANÇOIS GIRARD « Généralités sur la foudre et les surtensions ». ADEE Electronique. Édition octobre 2008.
- [12] : D. FULCHIRON « Surtensions et coordination de l'isolement ». CT 151. Édition décembre 1992.
- [13] : Michel GRACIET & Joseph PINEL « Protection contre les perturbations ». Techniques de l'Ingénieur, traité Génie électrique Doc. D 5 170.
- [14] Jean-François AFFOLTER « HAUTE TENSION » Yverdon-les-Bains, octobre 2000.
- [15] Frédéric ELIE « Foudre et tension de pas », novembre 2005.
- [16] : M.KOSTENKO & L.PIOTROVSKI « Machines électriques ». (Volume 1). Édition MIR, Moscou, 1969.