
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université TAHRI Mohamed, Béchar



Faculté de Technologie

Département de Génie électrique

Polycopié Pédagogique de Cours

Intitulé :

"Protection des réseaux électrique"

Code de la Matière : LETD611

Niveau : Licence

Filière : Electrotechnique

Spécialité : Electrotechnique

Etabli par l'enseignant(e) :

Année Universitaire : 2020/2021

Sommaire

Préface

1. Introduction	01
2. Défaut	01
3. Les Natures des défauts	01
a. <i>Défaut fugitif</i>	01
b. <i>Défaut permanent</i>	02
c. <i>Défaut auto- extincteur</i>	02
d. <i>Défauts semi-permanent</i>	03
3.1. Les dispositifs de détection réservés à cette anomalie	03
4. Perturbations	03
5. Les anomalies dans un réseau électrique	03
5.1. Court-circuit	04
5.1.2. Origines d'un défaut du court-circuités	04
5.1.2.1. Caractéristiques	04
5.1.2.2. Les causes susceptibles de produire un courant de court-circuit	05
5.1.2.3. Les Conséquences engendrées par un courant de court-circuit	06
6. Les surtensions	06
7. Les surcharges	06
7.1. Les causes susceptibles de produire un courant de surcharge	07
7.2. Les conséquences occasionnées par un courant de surcharge	07
8. Perturbations transitoires	07
9. Déséquilibres	09
9.1. Les causes susceptibles de produire un déséquilibre tension	09
9.2. Les conséquences occasionnées par un déséquilibre tension	09
10. Conséquences des défauts sur le réseau électrique	09
10.1. Contraintes thermiques	10
10.2. Contraintes mécaniques	10
11. Protections ampérométriques et volt métrique	10
11.1. Protections ampérométriques	10
12. Protection à maximum de courant à temps constant	11
13. Protection volt métrique	11
14. Mode de sélectivité	12
14.1. Sélectivité ampérométrique	13
14.2. Sélectivité chronométrique	13
14.3. Sélectivité logique	14
15. Parties à protéger dans le réseau électrique	14
16. Connexion des relais et zones de protection	14
17. Système relais	15
18. Transformateurs de mesures	16
19. Mesure de courant et tension résiduels	17
20. Relais (Relay)	18
21. Différents types de relais	18

21.1.	Constitution d'un relais	18
21.2.	Relais électromagnétique	19
21.3.	Relais thermique	20
21.4.	Relais statique	20
22.	Transformateurs	20
22.1.	Transformateurs de tension	21
22.2.	Transformateurs de courant	21
23.	Elimination des défauts	21
23.1.	Fusible	21
23.2.	Disjoncteur	22
24.	Qualités principales d'un système de protection	22
24.1.	Définition	22
24.1.1	Fonction	22
24.1.2	Propriétés	23
24.1.3	Rapidité	23
24.1.4	Rapidité	23
24.1.5	Sensibilité	23
24.1.6	Fiabilité	24
25.	Principe de base de la protection	24
26.	Contraintes liées à la protection	24
27.	Disjoncteur (Breaker)	25
28.	Critères d'opération	25
29.	Protection des alternateurs et des moteurs	25
29.1.	Protection contre les courts-circuits à l'intérieur et sur les bornes	25
29.2.	Protection contre les courts-circuits dans le système	29
29.3.	Protection contre les surcharges	30
29.4.	Protection contre les surtensions	30
29.5.	Protection contre les courts-circuits entre les spires de même enroulement statorique	31
29.6.	Protection contre les courts-circuits à la masse d'enroulement rotorique	32
29.7.	Protection contre les courts-circuits à la terre de l'enroulement statorique	32
30.	Protection des jeux de barres	33
31.	Protection des transformateurs	34
31.1.	Protection par relais BUCHHOLTZ	34
31.2.	Protection différentielle	34
31.3.	Protection masse cuve	35
32.	Protection des lignes électriques	36
32.1.	Protection différentielle longitudinale	36
32.2.	Protection différentielle transversale	37
32.3.	Protection à maximum de courant directionnel	38
32.4.	Protection différentielle transversale directionnelle	39
33.	Ré enclenchement automatique des lignes électriques de transport	40

33.1.	Ré enclenchement automatique d'une ligne électrique de transport alimentée par une seule source	40
-------	---	----

Préface

Les protections électriques sont des éléments clés pour assurer continuité d'alimentation fiable et bonne qualité d'énergie électrique, qui est un vecteur indispensable aux activités humaines et un facteur essentiel de développement pour les pays. Ce document s'adresse principalement aux étudiants de troisième année préparant un diplôme licence Electrotechnique. Il répond également aux besoins des lecteurs qui veulent acquérir une bonne compréhension des principes la protection électrique.

Le document se présente par introduction et les différentes types des défauts avec leur protection électrique.

1. Introduction :

Les réseaux électriques représentent des investissements considérables consentis par la SONEGAS pour alimenter ses clients aux meilleures conditions du coût et de la qualité de service (continuité de fourniture d'énergie, constance de la tension et de la fréquence).

Pour des raisons techniques et économiques évidentes, il n'est pas possible de construire des réseaux exempts d'incidents de fonctionnement, ils sont, en particulier, exposés aux agressions naturelles comme la foudre.

Les réseaux électriques sont donc affectés de perturbations qui peuvent mettre en danger le matériel, les personnes et affectent la qualité de service dont il faut chercher à minimiser les conséquences. Tout incident électrique doit être détecté immédiatement et l'ouvrage affecté doit être séparé (isoler) du réseau électrique afin d'éviter la propagation du défaut sur l'ensemble du réseau ; c'est l'objet des systèmes des protections.

Pour un fonctionnement fiable du réseau électrique, des protections sont nécessaires aux différents niveaux. Le rôle d'une protection est de déconnecter (isoler) un équipement ou une partie du réseau qui se trouve en défaut, afin de protéger les équipements et le personnel opérateur. Ce rôle consiste aussi, à éviter la propagation d'un défaut à d'autres parties du réseau qui ne sont pas en défaut.

2. Défaut :

Un défaut peut être défini comme un événement qui provoque une violation des limites d'un équipement ou d'une partie du réseau électrique, par rapport aux niveaux de tension, de courant, de puissance, ou d'isolation. Un défaut est caractérisé par son amplitude et sa durée. Dans le cas général, plus la durée d'un défaut est longue, plus les dommages sur les équipements augmentent. Les défauts peuvent être engendrés par des phénomènes externes au réseau comme le climat, ou par des défaillances des équipements suite à des surcharges excessives et répétées, au vieillissement de l'isolation...etc.

Les défauts qui survient le plus dans un réseau électriques sont des violations de l'isolement des phases entre elles ou à la terre.

3. Les Natures des défauts :

- a. *Défaut fugitif*: Les courts-circuits apparaissant sur les lignes aériennes sont, dans environ 95% des cas, des défauts fugitifs. Prenons un exemple : un coup de foudre tombant sur un conducteur crée, entre la structure métallique du pylône reliée à la terre d'une part, et le conducteur d'autre part, une différence de potentiel suffisante pour qu'un arc s'amorce entre eux. L'arc se produit généralement entre le

conducteur et l'anneau de garde de l'isolateur le supportant. L'air devient alors ionisé, et l'arc subsiste jusqu'à disparition de la tension. Après cette mise hors tension, l'air se dé-ionise. Le temps de dé ionisation est donné par la formule empirique suivante, dite formule de Van Warrington :

$$n = 10,5 + U_n / 34,5 \quad n : \text{C'est le nombre de périodes et } U_n : \text{ la tension nominale entre phases, en kV.}$$

Les autres causes de défaut fugitif sont :

- ✓ balancement des conducteurs sous l'effet du vent,
 - ✓ objets divers charriés par le vent,
 - ✓ brouillard givrant, pluie en zone polluée,
 - ✓ branche d'arbre proche d'une ligne, et brûlée par l'arc.
- b. **Défaut permanent** : Ce défaut provoque un déclenchement définitif de l'élément de protection. Il nécessite l'intervention du personnel d'exploitation. Ils peuvent être dus aux causes suivantes :
- ✓ rupture d'un câble, ou de sa pince d'ancrage, et chute sur le sol,
 - ✓ chute d'un arbre, ou d'une grue, sur la ligne,
 - ✓ acte de malveillance conduisant, par exemple, à la ruine d'un pylône,
 - ✓ d'étalonnage d'un brin de conducteur, qui s'approche d'une autre masse métallique.

De tels incidents, heureusement assez rares, peuvent constituer un danger pour les tiers, et il faut s'efforcer de minimiser les risques. Une protection ne peut pas savoir si un défaut est permanent ou fugitif. Il est nécessaire de renvoyer la tension sur la ligne pour le savoir. Or il a été constaté que, lorsqu'un conducteur tombe sur une route, pendant les premières minutes qui suivent, les personnes présentes n'osent pas, à juste titre, le toucher. Puis, au bout d'une dizaine de minutes, les plus impatients supposent que le câble est hors tension, et prennent l'initiative de le déplacer s'il constitue une gêne pour la circulation. Il est dès lors dangereux de tenter de remettre la ligne sous tension. D'où l'idée de réaliser des réenclencher qui réussissent, dans un laps de temps généralement inférieur à une minute, à remettre sous tension les lignes affectées d'un défaut fugitif, quelle que soit la situation. Dès lors, si le réenclencher échoue, l'exploitant peut être quasiment certain qu'il s'agit d'un défaut permanent et ordonne une visite de ligne.

- c. **Défaut auto- extincteur** : C'est le défaut qui disparaît spontanément en des temps très courts sans qu'il provoque le fonctionnement de la protection.

- d. **Défauts semi-permanent** : Ce défaut exige une ou plusieurs coupures relativement longues de l'ordre de quelques dizaines de secondes. Il ne nécessite plus l'intervention du personnel d'exploitation.

Au niveau des réseaux aériens de transport de SONEGAS, les défauts sont :

- ◆ De 70 à 90% fugitifs.
- ◆ De 5 à 15% semi permanents.
- ◆ De 5 à 15% permanents.

3.1. Les dispositifs de détection réservés à cette anomalie sont :

- ✓ Relais électromagnétiques
- ✓ Fusibles

4. Perturbations

Elles sont une gêne pour les utilisateurs et les fournisseurs de l'énergie électrique sans qu'il y ait de véritable coupure du réseau électrique. D'une façon générale, quelle que soit la perturbation, les effets peuvent être classés de deux façons différentes :

- **Effets instantanés** : Manœuvres intempestives de contacteurs ou d'organes de protection, mauvais fonctionnement ou arrêt d'une machine. L'impact de la perturbation est alors directement remarquable sur le plan financier et technique.
- **Effets différés** : Pertes énergétiques, vieillissement accéléré du matériel dû aux échauffements et aux efforts électrodynamiques supplémentaires engendrés par les perturbations. L'impact financier est difficilement quantifiable.

L'évolution de la technologie a permis le développement et la généralisation des automatismes, des variateurs de vitesse dans l'industrie, des systèmes informatiques, des éclairages fluo-compact dans le tertiaire et le domestique. Ces équipements ont la particularité d'être à la fois sensibles aux perturbations de la tension et générateurs de perturbations.

Leur multiplicité au sein d'un même procédé exige une alimentation électrique de plus en plus performante en termes de continuité et de qualité. En effet, l'arrêt temporaire d'un élément de la chaîne peut provoquer l'arrêt de l'outil de production (traitement de l'eau, imprimerie, pétrochimie...) ou de service (banques, télécommunications....).

5. Les anomalies dans un réseau électrique :

Les principaux défauts pouvant survenir dans un réseau d'énergies électrique :

5.1. Court-circuit :

Court-circuit sont des phénomènes transitoires, ils apparaissent lorsque l'isolement entre deux conducteurs des tensions différentes ou entre un conducteur sous tension et la terre est rompu. Ils engendrent des courants très importants dans les éléments constituant le réseau. Le courant de court-circuit de nature instantanée est une surintensité produite par un défaut d'impédance dont la valeur devient négligeable entre deux points du même circuit. Court-circuit sont de natures et de types différents :

- ✓ Court-circuit monophasés à la terre.
- ✓ Court-circuités biphasés à la terre où isolés.
- ✓ Court-circuités triphasés à la terre où isolés.

Court-circuit peuvent provoquer des dégâts économiques importants s'ils ne sont pas éliminés rapidement par les systèmes de protection.

5.1.2. Origines d'un défaut du court-circuités :

Selon la nature du réseau électrique, on cite les origines des défauts de court-circuit comme suit :

- ◆ Pour les lignes aériennes, sont en particulier les perturbations atmosphériques (foudre, tempêtes,...etc.) qui peuvent enclencher un défaut de court-circuit. Aussi les défauts d'isolement et les agressions mécaniques peuvent conduire à un CC.
- ◆ Pour les câbles souterrains, sont les agressions extérieures, engins mécaniques de terrassement par exemple, qui entraînent des défauts de CC.
- ◆ Le matériel du réseau et des postes peuvent être aussi le siège d'un défaut du court-circuit. Ce matériel comporte des isolants placés entre pièces sous tensions et masses. Alors, les isolants subissent des dégradations conduisant à des défauts.

5.1.2.1 Caractéristiques :

Court-circuit sont caractérisés par leur **forme**, leur **durée** et l'**intensité du courant**. Les ingénieurs en réseaux électriques utilisent souvent le terme « défaut ».

➤ Type :

Plusieurs types de court-circuit (*Figure 1*) peuvent se produire dans un réseau électrique :

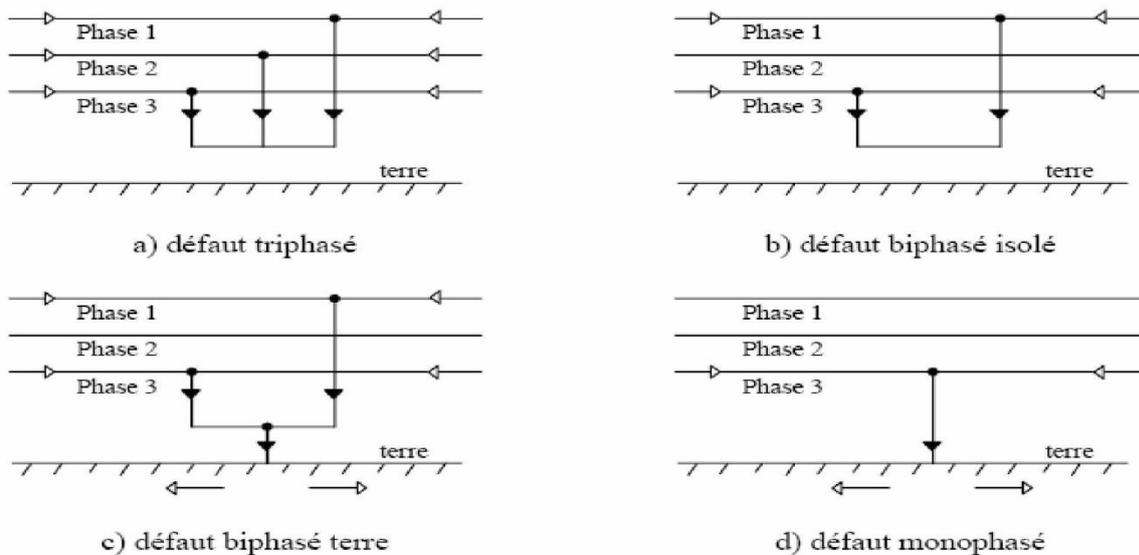


Fig 1. Différents types de court-circuit.

◆ Court-circuit monophasé

Il correspond à un défaut entre une phase et la terre, c'est le plus fréquent.

◆ Court-circuit triphasé

Il correspond à la réunion des trois phases, c'est le courant de CC le plus élevé.

◆ Court-circuit biphasé isolé

Il correspond à un défaut entre deux phases. Le courant résultant est plus faible que dans le cas du défaut triphasé, sauf lorsqu'il se situe à proximité immédiate d'un générateur.

◆ Court-circuit biphasé terre

Il correspond à un défaut entre deux phases et la terre.

Autre caractéristiques, du court-circuités peuvent être :

- ✓ Monophasés : 80 % des cas ;
- ✓ Biphasés : 15 % des cas. Ces défauts dégénèrent souvent en défauts triphasés ;
- ✓ Triphasés : 5 % seulement dès l'origine ;

5.1.2.2. Les causes susceptibles de produire un courant de court-circuit sont :

- ✓ Rupture de conducteurs
- ✓ Coup de foudre
- ✓ Contact intempestif
- ✓ Claquage d'isolant

- ✓ Fausse manœuvre

5.1.2.3. Les Conséquences engendrées par un courant de court-circuit sont :

- ✓ Surintensité
- ✓ Chute de tension
- ✓ Déséquilibre (courts-circuits biphasé ou monophasé)
- ✓ Echauffement
- ✓ Chute de fréquence
- ✓ Perte de synchronisme

6. Les surtensions

Il existe deux classes des surtensions :

◆ Surtensions par décharges électriques atmosphériques :

Les orages sont des événements très habituels, et aussi très dangereux. On estime que sur notre planète se produisent simultanément quelques 2000 orages et qu'environ 100 coups de foudre se déchargent sur la terre chaque seconde. Au total, cela représente environ 4000 orages quotidiens et 9 millions de décharges atmosphériques chaque jour. Au moment de l'impact, la foudre provoque une impulsion de courant qui arrive à atteindre des dizaines de milliers d'ampères. Cette décharge génère une surtension dans le système électrique qui peut provoquer des incendies et la destruction des équipements électriques.

◆ Surtensions de commutation :

Ces surtensions sont générées dans les lignes électriques, principalement en raison des commutations de machines de grande puissance. Les moteurs électriques sont des charges très inductives dont la connexion et le débranchement provoque des surtensions. Il existe de même d'autres processus capables de les produire, comme par exemple l'allumage et l'extinction de la soudure à l'arc.

7. Les surcharges

La surcharge d'un appareil est caractérisée par un courant supérieur au courant admissible, les origines de surcharges sont :

- ◆ Les courts-circuits.
- ◆ Les reports de charge.
- ◆ Les pointes de consommation.
- ◆ L'enclenchement des grandes charges.

Les surcharges provoquent des chutes de tension importantes dans le réseau et accélère le vieillissement des équipements.

Le courant de surcharge est une surintensité de nature progressive qui se produit dans un circuit sain suite à une augmentation de la charge.

Les dispositifs de détection réservés à cette perturbation sont :

- ◆ Relais thermiques
- ◆ Fusibles

7.1. Les causes susceptibles de produire un courant de surcharge sont :

- ◆ Appareil utilisé au-delà de sa puissance nominale (volontaire ou accidentelle)
- ◆ Mauvais fonctionnement

7.2. Les conséquences occasionnées par un courant de surcharge sont :

- ◆ Surintensité
- ◆ Echauffement
- ◆ Déséquilibre
- ◆ Chute de fréquence

8. Perturbations transitoires

Les perturbations transitoires pourraient être divisées en deux catégories :

- a. Impulsive
- b. Oscillatoire

➤ ***Impulsive***

Les perturbations impulsives sont des événements soudains à pic maximaux qui élèvent le niveau du courant ou de la tension en direction positive ou négative. Ces types d'événements peuvent être catégorisés selon leur vitesse (Rapide, moyenne, et lente). Les perturbations Impulsives peuvent être des événements très rapides (5 nanosecondes)

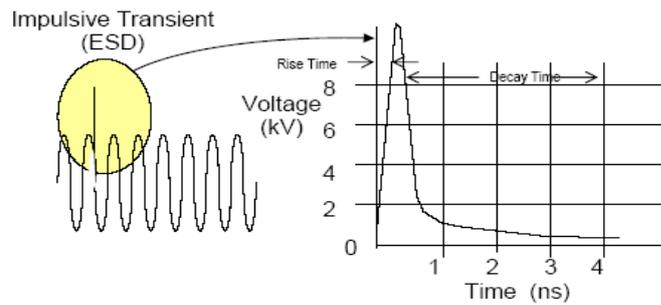


Fig .2 Perturbation impulsive positive causée par une décharge électrostatique

➤ *Les oscillations*

Les oscillations de la tension et du courant sont dues aux variations plus ou moins rapides de la charge qui agit directement sur la vitesse de rotation (fréquence) des machines de production de l'énergie électrique. Elles sont liées directement à la mécanique des machines électriques, c'est la raison pour laquelle on les appelle phénomènes transitoires électromécaniques.

Une perturbation oscillatoire est un changement soudain dans la condition d'état stable de la tension ou le courant ou les deux signaux en même temps aux deux limites des composantes positive et négative qui oscillent à la fréquence du système naturel. En simple terme, la perturbation oscillatoire cause un fort signal de puissance qui disparaît très rapidement. La perturbation oscillatoire se produit à la mise en service ou en hors service des charges inductives ou capacitatives car elles résistent au changement.

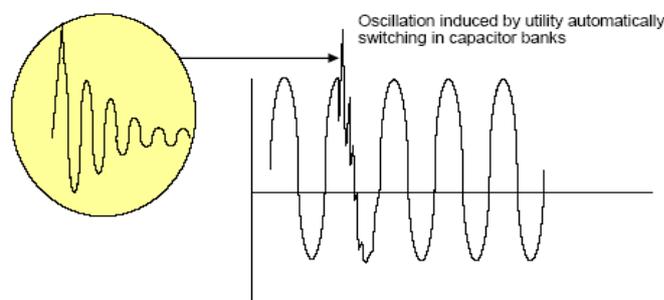


Fig. 3 : Perturbation oscillatoire

9. Déséquilibres

Les déséquilibres sont généralement dus à la mauvaise répartition des charges sur les trois phases. Ils apparaissent surtout dans les réseaux de distribution, ils donnent naissance à la composante inverse du courant, cette composante provoque :

- ◆ Des chutes de tension supplémentaires.
- ◆ Des pertes de puissance.
- ◆ Des échauffements.

Un système triphasé est déséquilibré lorsque les trois tensions ne sont pas égales en amplitude et/ou ne sont pas déphasées les unes par rapport aux autres de 120° .

La tension inverse (ou homopolaire) est provoquée par les chutes de tension le long des impédances du réseau dues aux courants inverses (ou homopolaire) produits par les charges déséquilibrées qui conduisent à des courants non identiques sur les trois phases (charges basse tension BT connectées entre phase et neutre, charges monophasées ou biphasées moyenne tension MT telles que machines à souder et fours à induction). Les défauts monophasés ou biphasés provoquent des déséquilibres jusqu'au fonctionnement des protections.

Les dispositifs de détection réservés à cette perturbation sont :

- ◆ Relais électromagnétiques

9.1. Les causes susceptibles de produire un déséquilibre tension sont :

- ◆ Courant de court-circuit
- ◆ Rupture de phases
- ◆ Mauvais fonctionnement du disjoncteur

9.2. Les conséquences occasionnées par un déséquilibre tension sont :

- ◆ Echauffement
- ◆ Diminution du flux lumineux
- ◆ Vibration des moteurs

10. Conséquences des défauts sur le réseau électrique

Les effets néfastes des courts-circuits sont surtout à craindre sur les réseaux électriques THT sur lesquels débitent des groupes générateurs de forte puissance. Les courts-circuits, surtout polyphasés et proches des centrales de production, entraînent une rupture de l'équilibre entre le couple moteur et le couple résistant de la machine, s'ils ne sont pas éliminés rapidement, ils peuvent conduire à la perte de stabilité de groupes générateurs et à des fonctionnements hors synchronisme.

Des temps d'élimination des courts-circuits de l'ordre de 100 à 150 ms sont généralement considérés comme des valeurs à ne pas dépasser sur les réseaux électriques THT. Les défauts de court-circuit amènent à deux types de contraintes :

10.1. Contraintes thermiques :

Sont dues aux dégagements de chaleur par effet Joule dans les conducteurs électriques.

10.2. Contraintes mécaniques :

Sont dues aux efforts électrodynamiques entraînent le balancement des conducteurs aériens et le déplacement des bobinages des transformateurs. Ces efforts s'ils dépassent les limites admises sont souvent à l'origine d'avaries graves.

De plus l'arc électrique consécutif à un défaut met en jeu un important dégagement local d'énergie pouvant provoquer d'important dégât au matériel.

11. Protections ampérométriques et volt métrique

11.1. Protections ampérométriques

Cette protection permet d'éviter les surintensités dangereuses en :

- Valeur
- Temps
- Le relais thermique protège le système contre les courants de surcharge.
- Le relais électromagnétique intervient pour protéger le système contre les courants de court-circuit.

La coupe circuit à fusible est un appareil de connexion capable de protéger le système contre les surintensités

- Cartouches **gI**, **gII** sont à usage général (Protègent le système contre tous les types de surintensités)
- Cartouches **aM** assurent la protection du système contre les surintensités fortes.



Fig.4 Coupe circuit à fusible

12. Protection à maximum de courant à temps constant

Elle fonctionne instantanément ou avec temporisation quand le courant dans le circuit à protéger atteint ou dépasse une valeur déterminée (réglage).

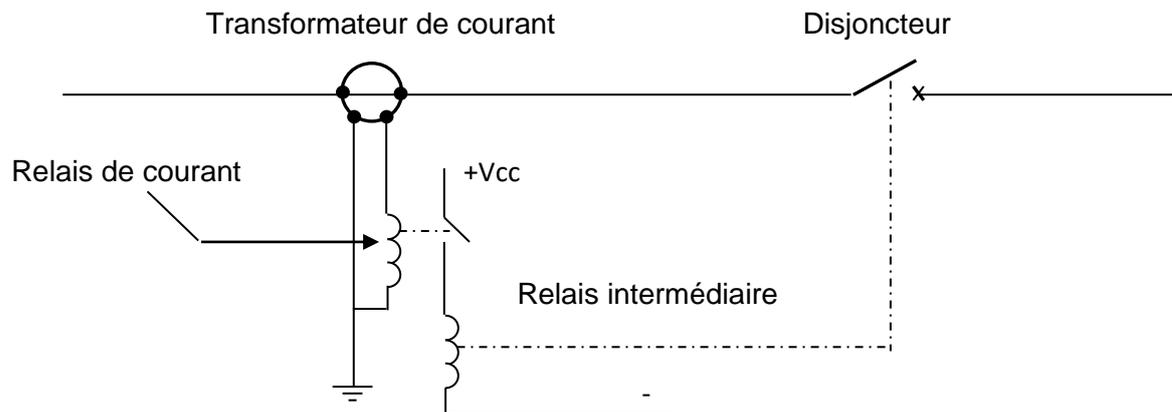


Fig .5 Protection à maximum de courant à temps constant (Schéma d'une phase)

13. Protection volt métrique

Elle fonctionne instantanément ou avec temporisation quand la tension dans le circuit à protéger atteint ou dépasse une valeur déterminée (réglage). Les transformateurs de tension assurent l'isolement galvanique et l'adaptation aux circuits de mesures.

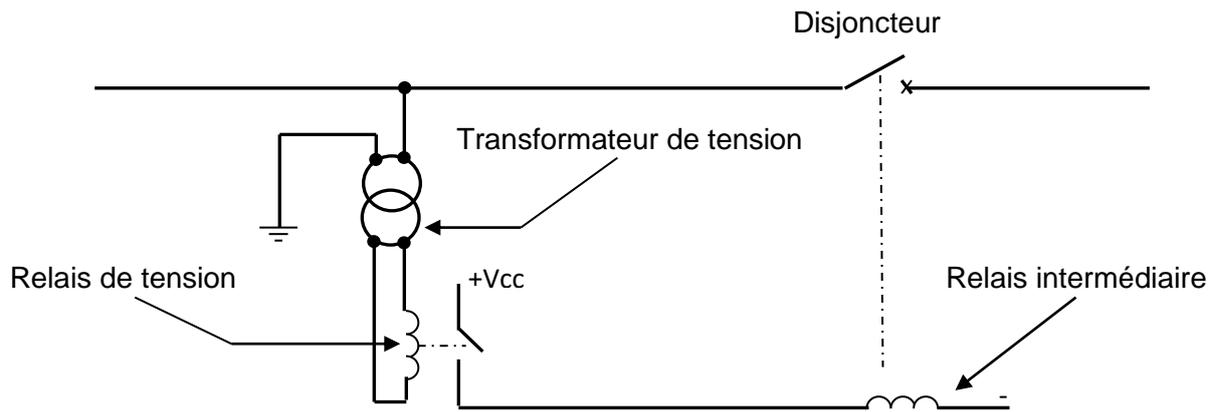


Fig.6 Protection volt métrique (schéma d'une phase)

14.Mode de sélectivité

Une protection est dite sélective si un défaut survenu en un point quelconque du circuit est éliminé par l'appareil de protection situé immédiatement en amont du défaut et lui seul.

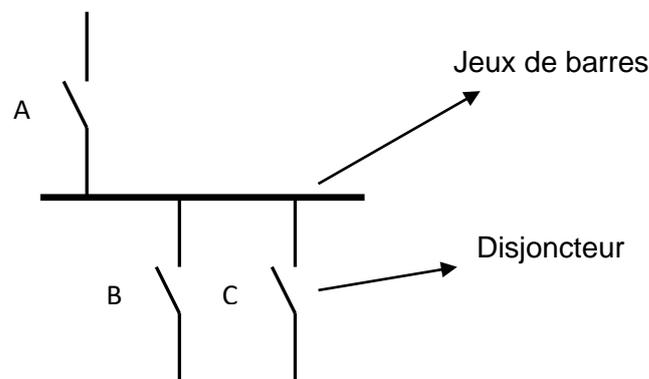


Fig.7 Sélectivité totale

Si le déclenchement du disjoncteur aval (B) n'entraîne jamais le déclenchement du disjoncteur amont (A), quelle que soit la valeur du courant de défaut : *la sélectivité est dite totale*

14.1. Sélectivité ampérométrique

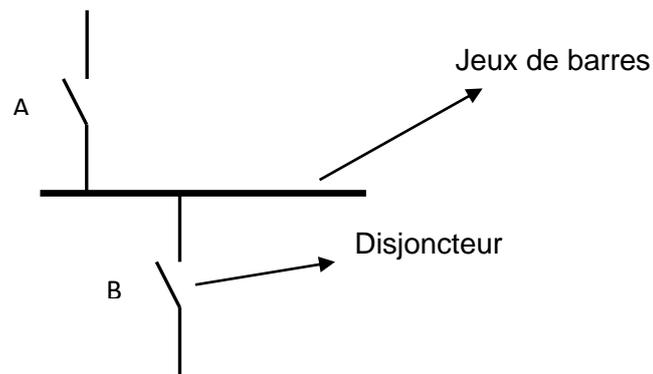


Fig.8 Sélectivité ampérométrique

Le courant de court-circuit en aval du disjoncteur B est I_{ccB} , la valeur de déclenchement du disjoncteur A est I_{RA} dans ce cas :

- Si le courant $I_{RA} > I_{ccB}$ la sélectivité est dite totale
- Si le courant $I_{RA} < I_{ccB}$ la sélectivité est dite partielle

14.2. Sélectivité chronométrique

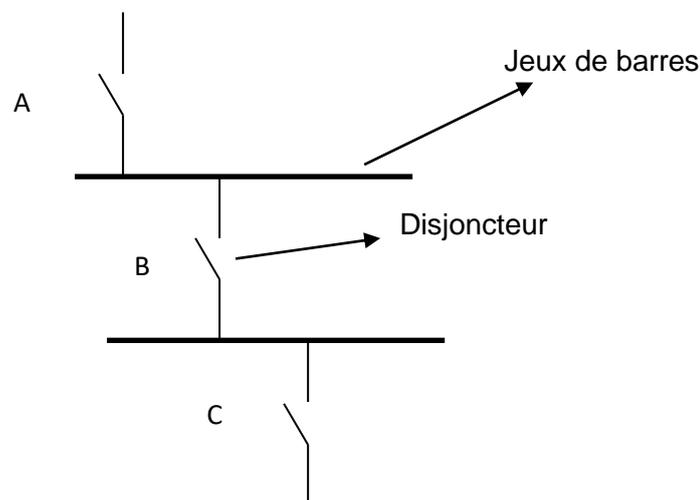


Fig.9 Sélectivité chronométrique

Le disjoncteur C est une action rapide, tandis que les autres disjoncteurs sont à action retardée (le disjoncteur B à 0.3s, le disjoncteur A à 0.6s). La différence des temps de fonctionnement t entre deux protections consécutives constitue l'intervalle de sélectivité. Il doit prendre en compte :

- Le temps de coupure du circuit T_c

- Les tolérances sur la temporisation dt
- Le temps de retour au repos de la protection tr

Le temps t vérifie de ce fait la relation $t = T_c + tr + 2dt$. Etant donné les performances actuelles des dispositifs de coupure et des relais, la valeur qui est utilisée pour t se situe entre 200 et 300 ms pour deux disjoncteurs consécutifs.

14.3. Sélectivité logique

Ce principe est utilisé lorsqu'un temps court d'élimination de défaut est exigé. L'échange de données logiques entre des protections consécutives élimine les intervalles de sélectivité. Dans des réseaux en anneau, les protections situées en amont du point de défaut sont activées alors que celles situées en aval ne le sont pas ; ceci permet de localiser clairement le point de défaut et le disjoncteur à déclencher. Chaque protection qui est activée par le défaut envoie :

- Un ordre de blocage au niveau amont (ordre qui augmente la temporisation du relais amont)
- Un ordre de déclenchement au disjoncteur concerné à moins qu'il n'ait lui-même reçu un ordre de blocage de l'aval.

La temporisation est utilisée comme secours.

15. Parties à protéger dans le réseau électrique

Les composants essentiels qu'il faut protéger dans un réseau électrique sont les générateurs, les transformateurs, les lignes, les jeux de barres, et les charges.

La protection dédiée à un de ces composants peut être différentes et spécifique. Exemple, la protection d'une ligne est différente de la protection d'un générateur. Sur la Figure. 1.1, les différentes parties d'un réseau électrique sont représentées. Si un défaut survient sur l'une des parties délimitées, alors elle doit être immédiatement isolée.

16. Connexion des relais et zones de protection

Pour achever une protection effective, la connexion des relais est réalisée autour du concept de la zone du relais (relaying zone). La zone est définie pour inclure la partie du réseau qui doit être protégée et le disjoncteur (circuit breaker) nécessaire pour isoler cette partie du reste du réseau en cas de défaut. Une allocation typique des zones est montrée toujours sur la Figure.

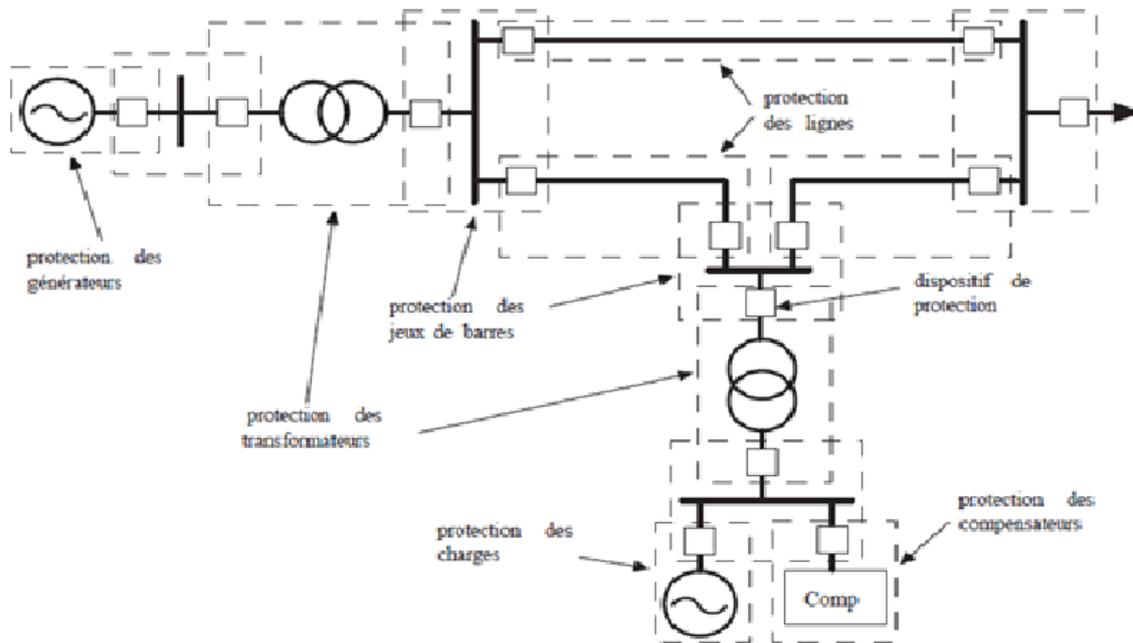


Fig.10 Différentes parties à protéger dans le réseau électrique.

17. Système relais

L'élément central dans une protection est le système relais (relaying system) ou unité de protection illustré par la Figure. Ce système est constitué au minimum de :

- Transformateur de mesure (Instrument transformer), de tension et de courant ;
- Le relais lui-même ;
- Le disjoncteur (Circuit breaker)

Le principe de fonctionnement de ce système est le suivant : Le relais connecté aux transformateurs de mesure reçoit l'information sur l'état des grandeurs électriques du réseau (courant, tension). Si la mesure reçue dépasse un certain seuil (consigne) défini par l'opérateur, le relais assume alors qu'il y a défaut et envoie au disjoncteur l'ordre d'ouvrir le circuit. Dans certain cas le relais doit d'abord calculer une nouvelle grandeur électrique à partir des mesures de tension et de courant (exemples ; impédance, puissance). Très souvent la décision d'actionner le disjoncteur est précédée par un signal visuelle indiquant à l'opérateur la présence d'un défaut.

Un système de relais parfois nécessite une alimentation spécifique, notamment lorsqu'il s'agit d'un relais électronique qui nécessite une alimentation DC. Il faut ajouter à cela aussi que parfois, un échange d'information avec d'autres relais est nécessaire pour prendre une

décision, c'est pourquoi un moyen de communication est parfois associé au système de relais.

18. Transformateurs de mesures

Le transformateur de courant (Current transformer CT) est utilisé pour baisser le niveau de courant réel à des valeurs standards (1 à 5 A, selon la norme IEC 60044) utilisés par les relais. Une protection fiable dépend de la précision de mesure du CT. Il y a deux types de classe par rapport à la précision ; Classe 5P10 (erreur de 5 % pour une courante égale 10 fois le courant nominale) et classe 10P15 (erreur de 10 % pour une courante égale 15 fois le courant nominale). Un CT doit être capable supporter le courant de court-circuit maximal pendant 1 seconde.

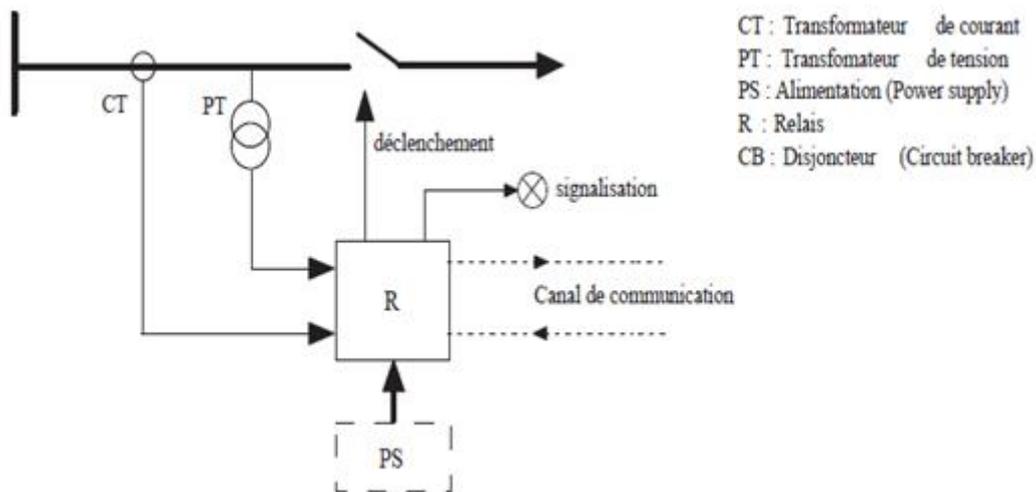


Fig.11 Les composants d'un système relais.

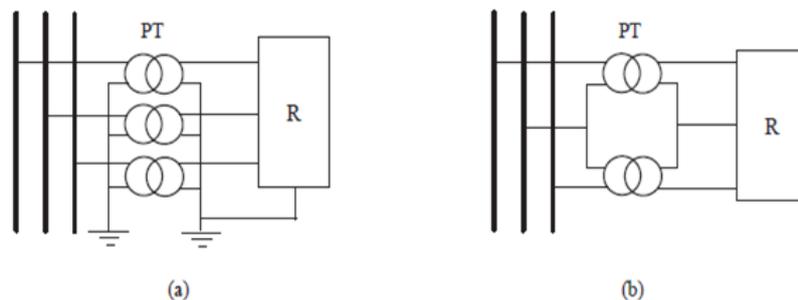


Fig.12 Les connexion des PT : (a). En étoile, (b). En V

Les transformateurs de tension, (potential transformer PT, appelés aussi capacitor coupling voltage transformer CVT) sont utilisés pour baisser le niveau de tension à des valeurs typiques de $100 ; 100/\sqrt{3}$

$100 ; 100/\sqrt{3}$, (Norme IEC 60186). Les transformateurs de tension sont couplés soit en étoile soit en V (Figure. 3).

19.Mesure de courant et tension résiduels

Les mesures de tension et de courant résiduels sont très utilisées dans la protection des réseaux à neutre isolé. La tension résiduelle caractérise le potentiel du point neutre par rapport à la terre. Ce potentiel est égal à la somme vectorielle des tensions de phase par rapport à la terre qui est égale à 3 fois la tension homopolaire (zero-sequence voltage).

$$\tilde{V}_{rsd} = 3\tilde{V}_0 = \tilde{V}_1 + \tilde{V}_2 + \tilde{V}_3$$

La mesure d'une tension résiduelle est souvent le résultat d'un défaut phase-terre. Il y a deux moyens de mesurer cette tension ; Soit par trois PT dont les primaires sont connectés en étoile et les secondaires en Δ (Figure.4(a)). Cette connexion permet de détecter directement la tension résiduelle dans le secondaire. Une deuxième solution consiste à connecter les primaires et les secondaires en étoile et le relais s'en charge de calculer la tension résiduelle (Figure.4(b)). Le courant résiduel est le résultat d'un défaut à la terre. Sa valeur est égale à la somme vectorielle des courants de phase ou 3 fois le courant homopolaire

$$\tilde{I}_{rsd} = 3\tilde{I}_0 = \tilde{I}_1 + \tilde{I}_2 + \tilde{I}_3$$

Ce courant peut être détecté soit par un seul CT qui mesure cette somme (Figure.5(a)), soit par la mesure du courant entre le neutre et la terre (si le neutre est mis à la terre comme le montre la Figure.5(b)). Le relais s'en charge dans ce cas de vérifier si ce courant dépasse la consigne.

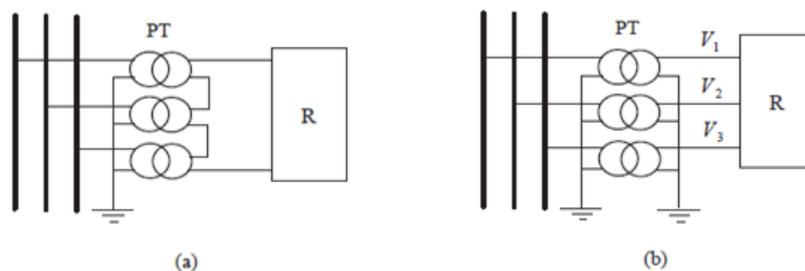


Fig.13 Mesure de tension résiduelle

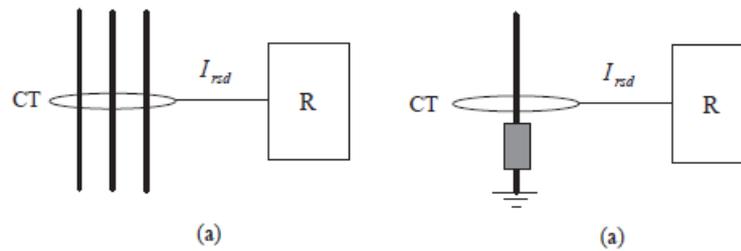


Fig.14 Mesure de courant résiduelle

20. Relais (Relay)

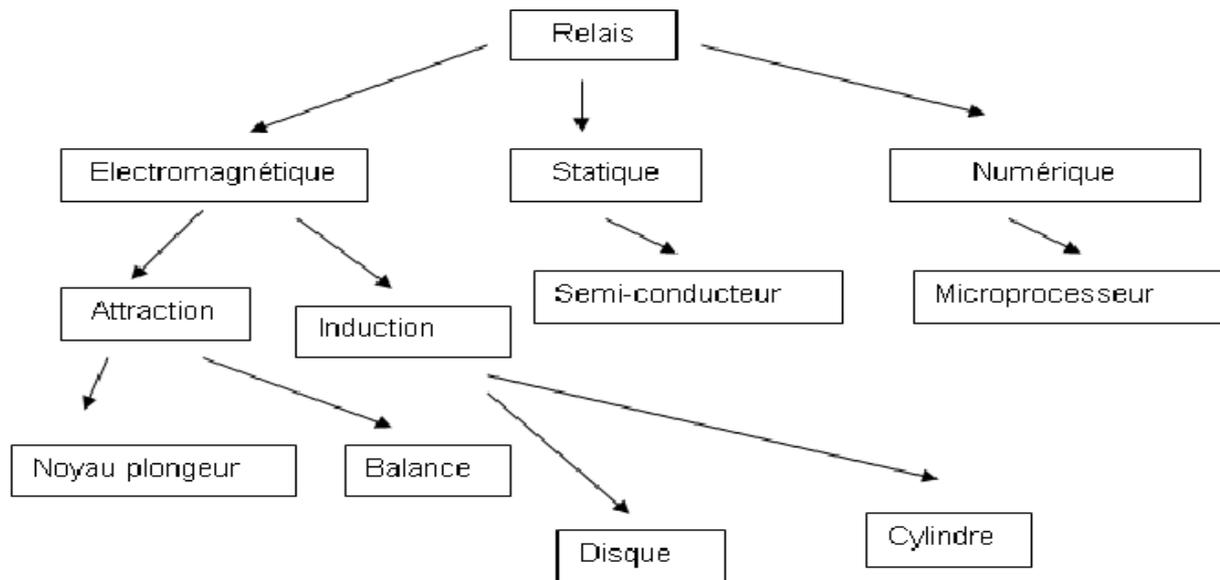
Le relais est un dispositif à action mécanique ou électrique provoquant le fonctionnement des systèmes qui isolent une certaine zone du réseau en défaut et qui décide de l'ouverture du disjoncteur ou actionnant un signal en cas de défaut ou de conditions anormales de marche (alarme, signalisation,...). Un relais reçoit des consignes (settings), généralement un seuil, et un temps de retard, et une fois ces consignes sont dépassées, il décide d'actionner le disjoncteur. Il y a plusieurs types de relais qui est désigné selon la grandeur surveillée (tension, courant, puissance, fréquence, impédance,...) :

- Relais à maximum de courant RMA ou TA
- Relais à maximum de tension RMV ou TV
- Relais à minimum d'impédance RMZ ou TZ
- Relais directionnel de puissance RDW ou TLW
- Relais à minimum de réactance RMX

21. Différents types de relais

Il existe essentiellement trois classes de relais selon l'organigramme suivant :

21.1. Constitution d'un relais



21.2. Relais électromagnétique

Un relais électromagnétique comporte une armature ou un équipage mobile sur lequel agissent les bobines ou des aimants ou des conducteurs. Ils dépendent de la conception du circuit magnétique.

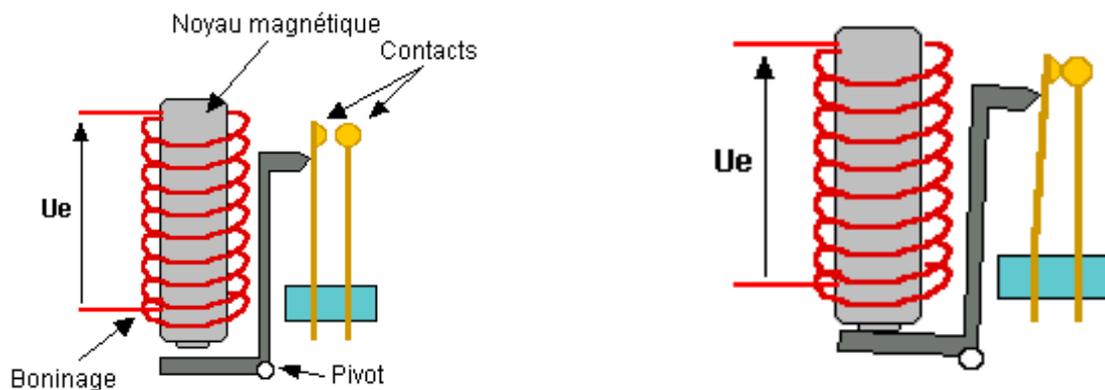


Fig. 15 Relais électromagnétique

La bobine parcourue par un courant, provoque l'aimantation du circuit magnétique dont la partie mobile se déplace.

La force d'attraction sur la partie mobile sera d'autant plus grande que l'intensité du courant sera plus élevée et l'entre fer plus faible.

Le relais électromagnétique intervient pour protéger le système contre les courants de court-circuit.

21.3. Relais thermique

Le relais thermique protège le système contre les courants de surcharge. Il est constitué par un bilame à action directe ou indirecte.

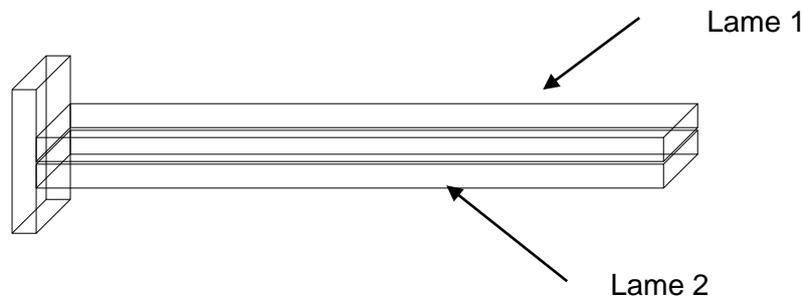


Fig. 16 Principe du relais thermique

21.4. Relais statique

Les relais statiques remplacent de plus en plus les relais électromagnétiques pour les avantages suivants :

Plus précis, plus sensibles, plus rapides, plus sélectifs, rapidité de dépannage, durée de vie plus longue, faible consommation, moins encombrants.

22. Transformateurs

Les systèmes de protections sont alimentés par des transformateurs de mesure (transformateur de tension, transformateur de courant). Les transformateurs de mesure sont destinés à ramener les tensions et les courants sur les circuits électriques à des valeurs plus faibles à :

- Mesurer
- Utiliser pour alimenter les dispositifs de comptage
- Utiliser pour alimenter les dispositifs de protections électriques

Ils ont pour but :

- D'isoler les circuits électriques
- De normaliser les grandeurs électriques
- D'assurer des fonctions annexes

22.1. Transformateurs de tension

Ils ont le même principe que les transformateurs de puissance, mais les tensions primaires et les tensions secondaires sont en phase. La tension secondaire est normalisée (100 V entre phase, 100/3).

Ils sont caractérisés par :

- Le rapport de transformation
- La classe de précision
- La puissance d'échauffement

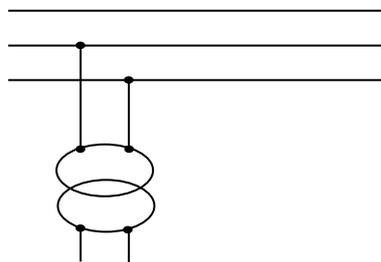


Fig. 17 Schéma de branchement

Les bornes sont repérées de telle manière que la tension secondaire soit en phase avec la tension primaire.

22.2. Transformateurs de courant

Le transformateur de courant ou d'intensité aussi appelé transformateur série, permet la réduction du courant.

Pour alimenter un dispositif de protection contre les courts-circuits, il faut que le relais de détection soit alimenté par les transformateurs de courant qui ne se sature pas au courant de défaut maximal de façon que le courant secondaire, image du courant primaire ne soit pas déformé.

23. Elimination des défauts

23.1. Fusible

Les fusibles permettent d'interrompre automatiquement un circuit parcouru par une surintensité pendant un intervalle de temps donné. L'interruption du courant est obtenue par la fusion d'un conducteur métallique calibré. Ils sont surtout efficaces pour la protection contre les courts circuits, vis-à-vis desquels ils agissent, le plus souvent, en

limiteurs de la valeur crête du courant de défaut. Le fusible est ainsi un excellent dispositif pour l'élimination des défauts mais il présente un certain nombre d'inconvénients qui limitent son utilisation : Ils exigent malheureusement d'être remplacés après chaque fonctionnement ; En régime triphasé, ils n'éliminent que les phases parcourues par un courant de défaut, ce qui peut présenter un danger pour le matériel et le personnel ; Leur calibre doit être bien adapté pour éviter un fonctionnement intempestif en cas de surcharge momentanée. Les fusibles peuvent être associés à des interrupteurs ou à des contacteurs avec lesquels ils constituent des combinés capables d'assurer automatiquement la coupure des phases saines lors du fonctionnement de l'un d'eux de façon à éviter la marche monophasée dangereuse

23.2. Disjoncteur

Un disjoncteur est destiné à établir, supporter et interrompre des courants, sous sa tension assignée. Dans les conditions normales et anormales du réseau. Il est très généralement associé à un système de protection (relais), qui détecte le défaut et envoi des ordres au disjoncteur pour éliminer automatiquement le défaut ou pour remettre en service un circuit lorsque le défaut a été éliminé. Sa fonction principale est d'interrompre le flux de courant détecté lors d'un défaut. Le disjoncteur HT est caractérisé essentiellement par la technique utilisée pour la coupure :

- Les disjoncteurs à l'huile,
- Les disjoncteurs à air comprimé,
- Les disjoncteurs utilisant le gaz SF₆,
- Les disjoncteurs à vide.

24. Qualités principales d'un système de protection

24.1. Définition

La protection est un ensemble d'organes destinés à protéger soit les équipements, soit le personnel.

24.1.1. Fonction : En règle générale pour protéger une installation il faut :

- Surveiller le fonctionnement

- Détecter un état de dysfonctionnement

24.1.2. Propriétés : Pour qu'un système de protection accomplît convenablement sa mission, il doit présenter les qualités suivantes :

24.1.3. Rapidité

Les défauts sont donc des incidents qu'il faut éliminer le plus vite possible, c'est le rôle des protections dont la rapidité de fonctionnement est des performances prioritaires. Le temps d'élimination des courts-circuits comprend deux composantes principales :

- Le temps de fonctionnement des protections (quelques dizaines de millisecondes).
- Le temps d'ouverture des disjoncteurs, avec les disjoncteurs modernes (SF6 ou à vide), ces derniers sont compris entre 1 et 3 périodes.

24.1.4. Sélectivité

Les protections constituent entre elles un ensemble cohérent dépendant de la structure du réseau et de son régime de neutre. Elles doivent donc être envisagées sous l'angle d'un système reposant sur le principe de sélectivité. Elle consiste à isoler le plus rapidement possible la partie du réseau affectée et uniquement cette partie, en laissant sous tension toutes les parties saines du réseau. Différents modes de sélectivité peuvent être mis en œuvre :

- La sélectivité ampérométrique par les courants.
- La sélectivité chronométrique par le temps.
- La sélectivité logique par échange d'informations.

La sélectivité a pour but d'assurer d'une part la continuité de service d'alimentation en énergie électrique et d'autre part la fonction secours entre les protections.

24.1.5. Sensibilité

La protection doit fonctionner dans un domaine très étendu de courants de courts-circuits entre :

- Le courant maximal qui est fixé par le dimensionnement des installations et est donc parfaitement connu,

- Un courant minimal dont la valeur est très difficile à apprécier et qui correspond à un court-circuit se produisant dans des conditions souvent exceptionnelles.

La notion de sensibilité d'une protection est fréquemment utilisée en référence au courant de court-circuit le plus faible pour lequel la protection est capable de fonctionner.

24.1.6. Fiabilité

Une protection a un fonctionnement correct lorsqu'elle émet une réponse à un défaut sur le réseau en tout point conforme. Le défaut de fonctionnement ou non fonctionnement lorsqu'une protection qui aurait de fonctionner n'a pas fonctionné. Le fonctionnement intempestif est un fonctionnement non justifié, soit en l'absence de défaut. Tandis que la sécurité est la probabilité de ne pas avoir de fonctionnement intempestif.

25. Principe de base de la protection : Un système de protection est constitué :

- **Organe de détection et de décision**
 - 1- Organe de mesure ou chaîne de mesure
 - 2- Organe de comparaison
 - 3- Organe de décision
- **Organe d'intervention**
 - 1- Organe de signalisation et de déclenchement

26. Contraintes liées à la protection

Les protections électriques ne doivent pas apporter de limitation au fonctionnement normal des réseaux électriques, en particulier :

- Elles ne doivent pas limiter la souplesse d'utilisation du réseau protégé en interdisant certains schémas d'exploitation : réseaux bouclés, ... etc.
- Elles doivent rester stables en présence de phénomène autre que les défauts : lors de manœuvres d'exploitation, pendant les régimes transitoires consécutifs à la mise sous tension ou hors tension à vide des transformateurs. Egalement, lors de variations admissibles de la tension et des fréquences et en présence de surcharges et de déséquilibres entrant dans la marge de fonctionnement des réseaux

électriques. Elle doit être aussi insensible aux oscillations résultant du régime transitoire des alternateurs.

27. Disjoncteur (Breaker)

Le disjoncteur est le dispositif qui ouvre le circuit en cas de défaut. Le disjoncteur doit être capable de réagir rapidement si un ordre est reçu de là par du relais. En haute tension (et même en moyenne tension), les disjoncteurs ouvrent le circuit dans des chambre à l'huile, ou des chambres à vide ou à gaz (SF6), pour éviter des arcs électriques. Les disjoncteurs sont parfois dotés d'un système de refermeture automatique (breaker autoreclosing system). Ce concept permet de fermer le disjoncteur après quelques secondes de son ouverture, ainsi, si le défaut a déjà disparu, alors le circuit est rétabli, si non le relais lui envoie une autre fois l'ordre d'ouvrir qu'il va re-exécuter. Si le défaut persiste, alors le disjoncteur ouvre définitivement. Ce système permet de faire la différence entre un défaut permanent et un défaut momentané ou fugitif et évite au personnel d'aller à chaque fois rétablir le circuit. Parfois, pour plus de sécurité, le disjoncteur est équipé d'un relais auxiliaire appelé défaut disjoncteur (Breaker failure BF). En cas de défaut sur le disjoncteur, ce relais sert à renvoyer l'ordre d'ouverture à un autre disjoncteur.

28. Critères d'opération

Un nombre de critères est requis pour qu'un système relais assure une bonne protection. Ces critères sont :

- a. **Rapidité (speed)** : Le relais doit être suffisamment rapide isoler la partie en défaut en un minimum de temps. Parfois, le temps de repense du relais est intentionnellement différé, et dans ce cas aussi, le relais doit respecter ce décalage.
- b. **Dépendance (Dependability)** : Le relais ou le système relais doit reconnaître et réagir tout le temps au défaut pour lequel il est désigné.

29. Protection des alternateurs et des moteurs

L'alternateur est un élément fondamental du réseau électrique et nécessite un ensemble de systèmes de protection contre les différents éventuels défauts.

29.1. Protection contre les courts-circuits à l'intérieur et sur les bornes

Pour les alternateurs dont la puissance est inférieure à 1MW :

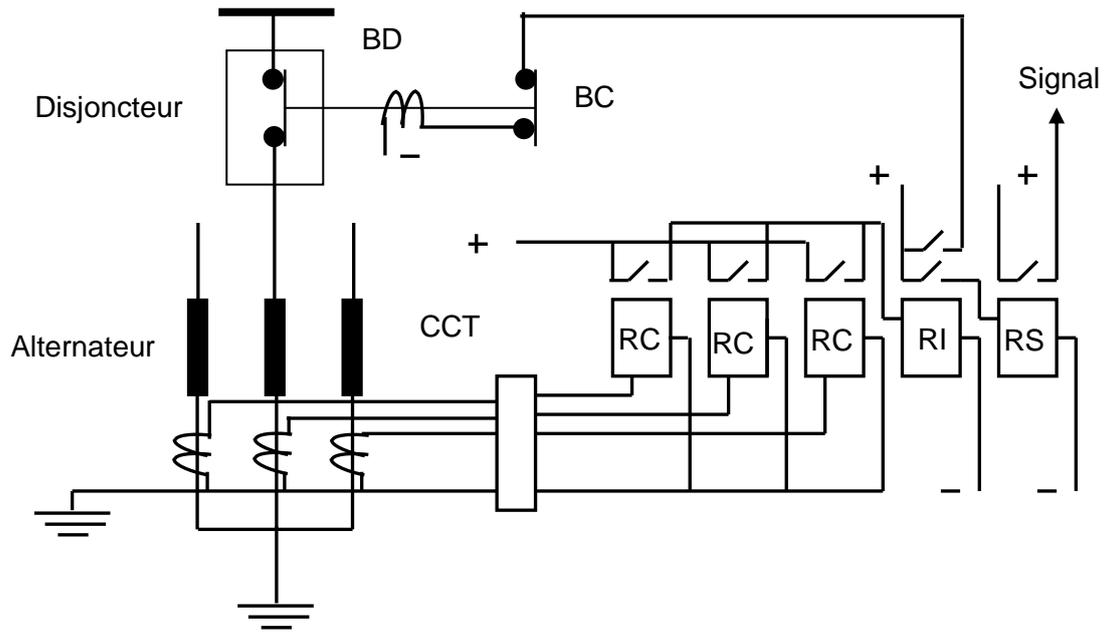


Fig.18 Protection à maximum de courant

$$I_f(p) = K_1 K_2 I_{nal} / K_r$$

$$I_f(R) = K_1 K_2 I_{nal} / K_r \eta_{TC}$$

$$K_s = I_{cc \min} / I_f(p)$$

Avec

$K_1 = 2,5 \div 3$; $K_2 = 1,1 \div 1,2$; $K_r = 0,8 \div 0,85$; Si $K_s \leq 2$
la protection différentielle s'avère obligatoire.

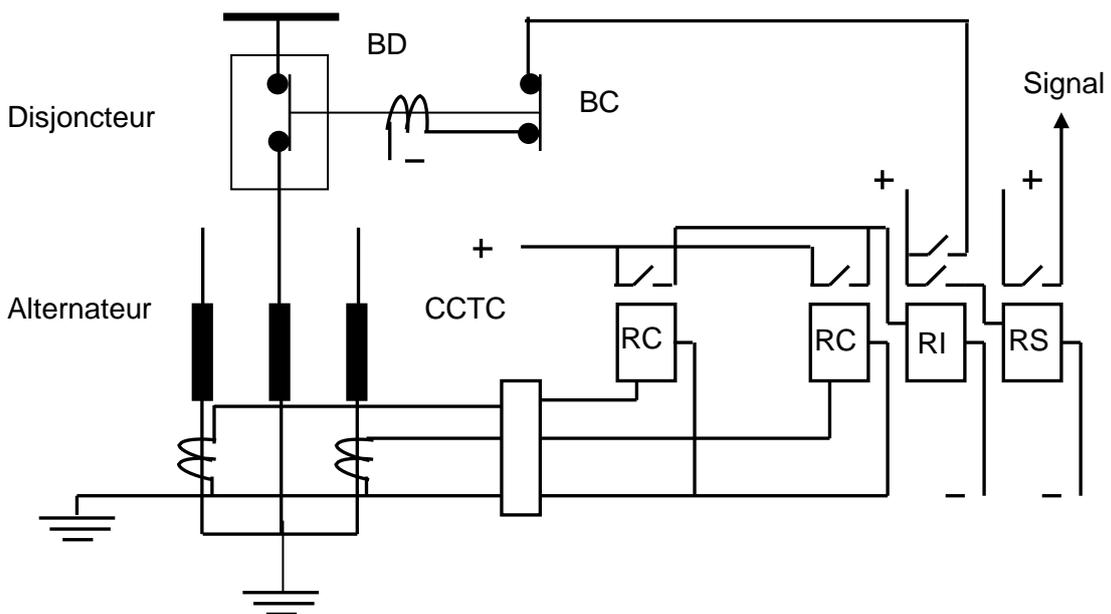


Fig.19. Protection à maximum de courant

Cette protection ne protège pas l'alternateur contre les courts-circuits monophasés.

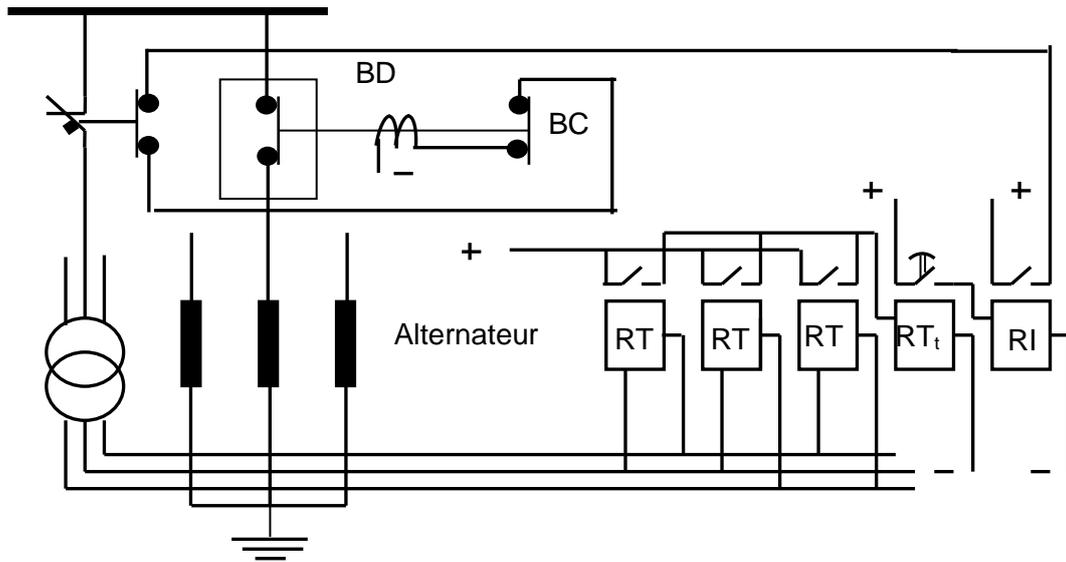


Fig.20 Protection à minimum de tension

Si le point neutre se situe à l'intérieur du stator, c'est la seule protection contre tous les défauts. La tension de fonctionnement de la protection est donnée par la relation suivante :

$$U_f(p) = (0,5 \div 0,6)U_n$$

Le temps de fonctionnement de la protection doit être supérieur à celui des moteurs et des jeux de barres.

Pour les alternateurs dont la puissance est supérieure à 1MW, on utilise la protection différentielle longitudinale :

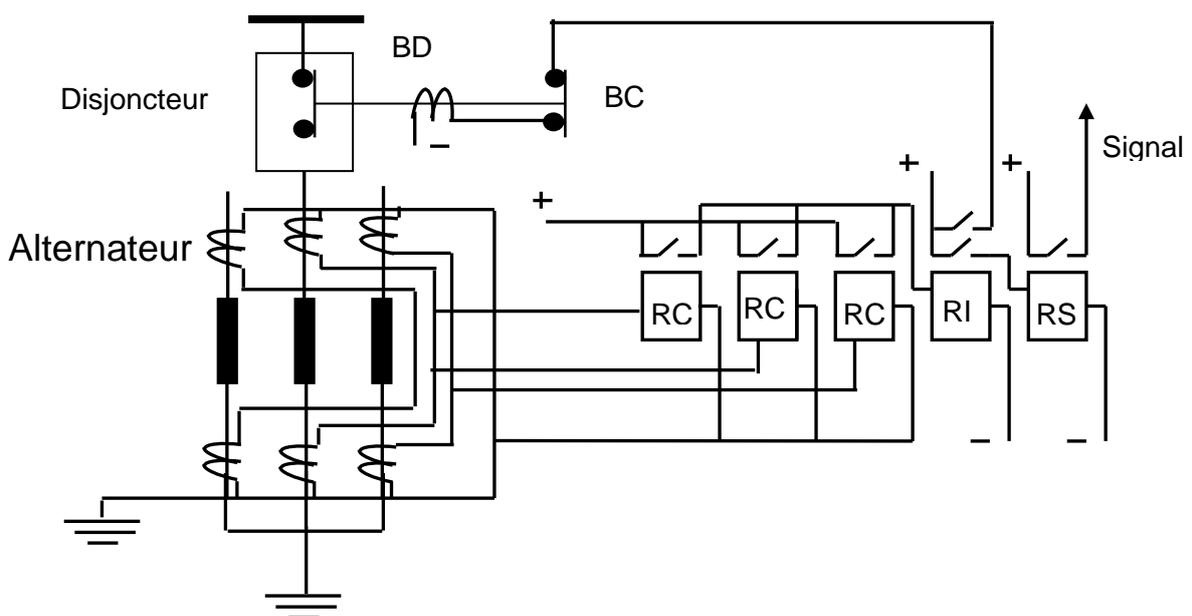


Fig.21. Protection différentielle longitudinale

Pendant le régime normal et le court-circuit est en dehors de la zone de protection, la protection ne fonctionne pas.

Le courant de fonctionnement des relais est donné par :

$$I_f(R) = K_{séc} I_{nc} \quad ; \quad K_{séc} = 1,3 \div 1,4$$

$$I_{nc} = K_t \frac{f_i \% I_{ccmax}}{100 \eta_{Tc}} \quad ; \quad K_t = 0,5 \div 1 ; \frac{f_i \%}{100} = 0,1 ; K_{mi} = \frac{I_{ccmin}}{I_f(p)} \geq 2$$

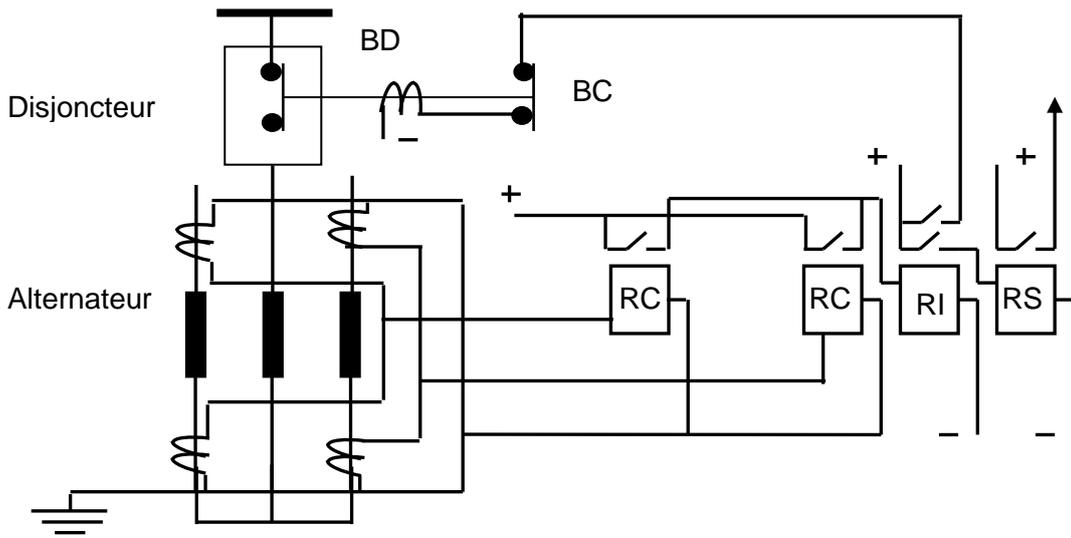


Fig. 22 Protection différentielle longitudinale

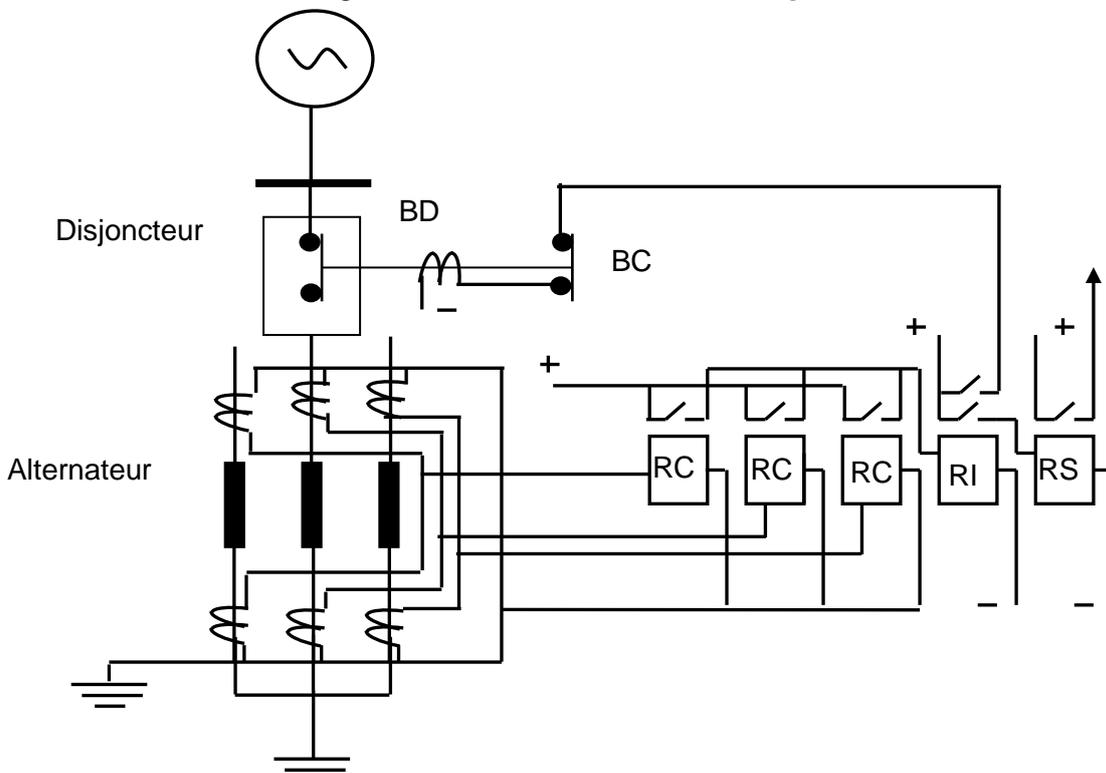


Fig. 23 Protection différentielle longitudinale

Dans le cas où l'alternateur fonctionne en parallèle avec une autre source, le courant de fonctionnement des relais est calculé par la somme des courants de court-circuit.

29.2. Protection contre les courts-circuits dans le système

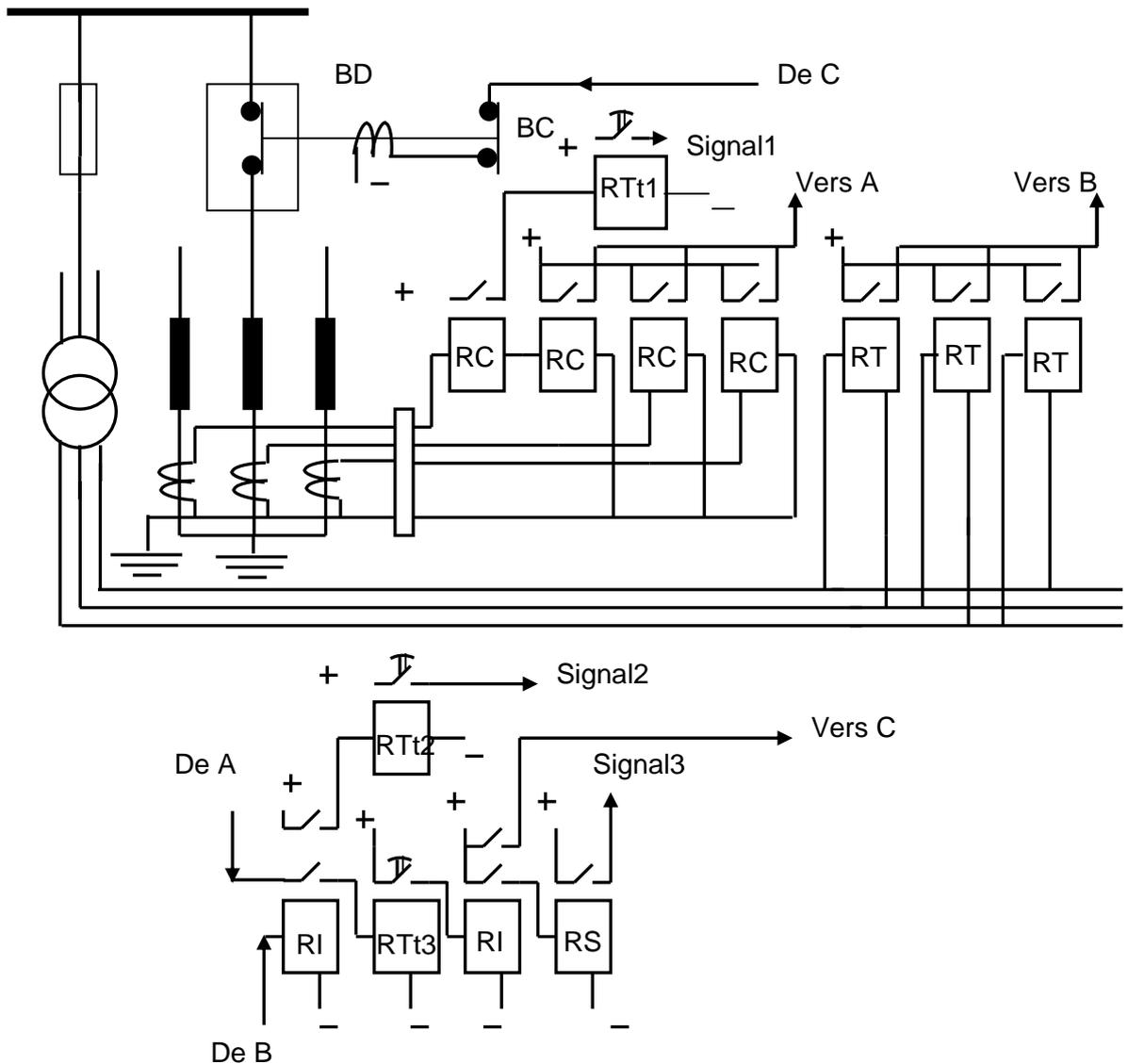


Fig. 24 Protection contre les courts-circuits dans le système

$t_f(RT_{t3}) > t_f(RT_{t1})$, doit être supérieur à la temporisation du système.

Ce schéma comprend :

- une protection à maximum de courant
- Une protection à minimum de tension
- Une protection contre les surcharges

Les relais RC et RTt3 fonctionnent pendant le court-circuit.

$t_f(RT_{t1})$ temps de fonctionnement de la protection contre le surcharge

$t_f(RT_{t3})$ temps de fonctionnement de la protection

29.3. Protection contre les surcharges

Elle est assurée par la partie comprenant le relais RTt1 de la protection (Fig. III.1.2.1).

$$I_f(p) = K_{séc} I_{nal}$$

$$I_f(R) = K_{séc} \frac{I_{nal}}{\eta_{Tc}}$$

Avec

$$K_{séc} = K_1 = K_2 = 1, 1 \div 1, 2$$

Dans un système de protection complet, on ajoute un relais auxiliaire à plusieurs contacts, pour permettre la réalisation de l'opération de délestage des consommateurs de la 3^{ème} catégorie.

29.4. Protection contre les surtensions

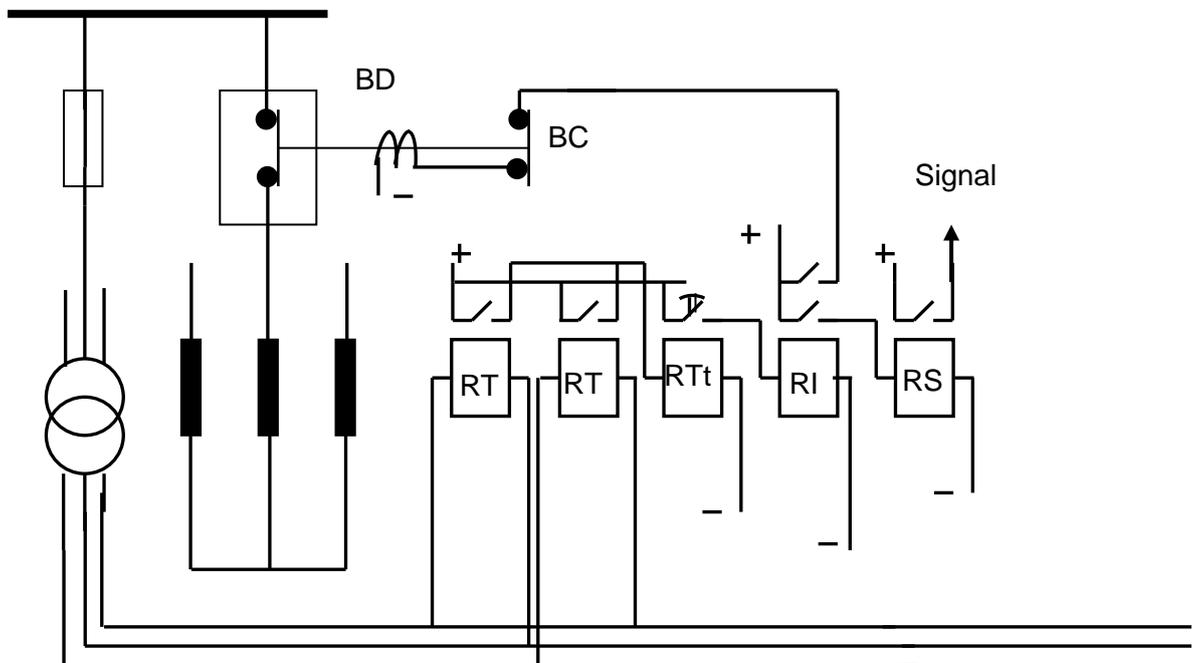


Fig.25 Protection contre les surtensions

Pendant le régime nominal, la protection ne fonctionne pas. Si la tension augmente et dépasse $U_f(P)$, la protection déclenche le disjoncteur.

$$U_f(p) = (1,5 \div 1,7)U_n$$

$$t_f(p) = (0,5 \div 1)s$$

29.5. Protection contre les courts-circuits entre les spires de même enroulement statorique

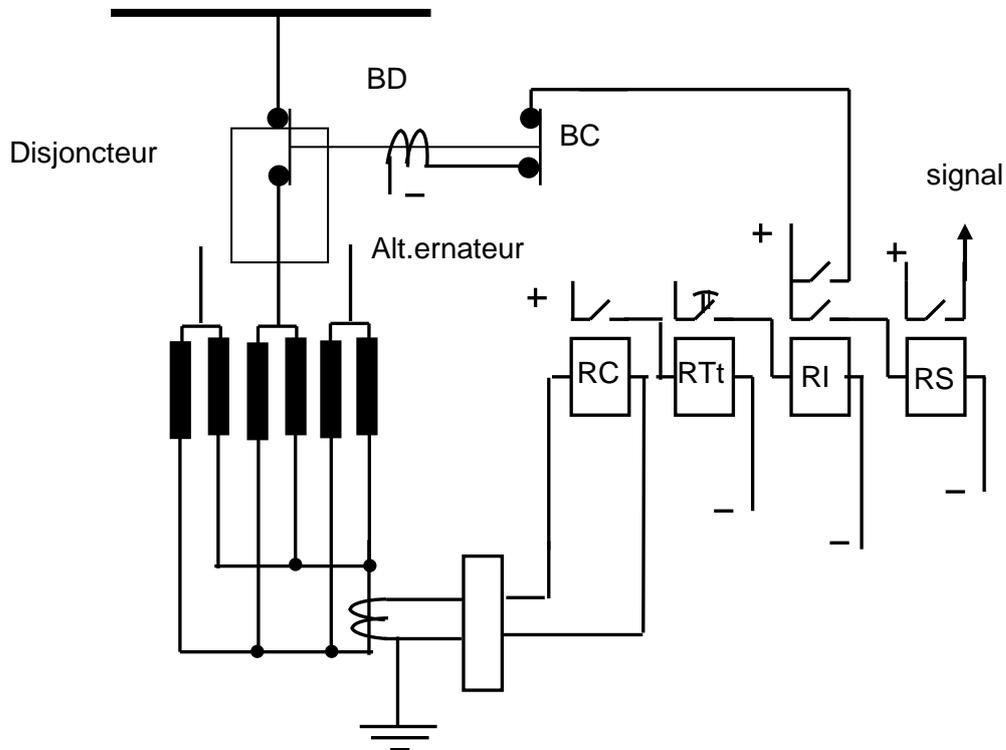


Fig. 26 Protection contre le court-circuit entre les spires de même phase

Pendant le régime normal les courants sont symétriques et un faible courant circule dans le transformateur de courant. Ce dernier, devient important lors du court-circuit et sensibilise la protection.

$$I_f(p) = (0,2 \div 0,3)I_{nal}$$

$$I_f(R) = (0,2 \div 0,3) \frac{I_{nal}}{\eta_{Tc}}$$

$$t_f(p) = (0,5 \div 1)s$$

Pour les alternateurs dont la puissance est supérieure à 50 MW, la protection est réalisée par le contrôle de la résistance des enroulements. Pour les alternateurs de faible puissance jusqu'à 50 MW, on procède à des mesures systématiques des résistances des enroulements.

29.6. Protection contre les courts-circuits à la masse d'enroulement rotorique

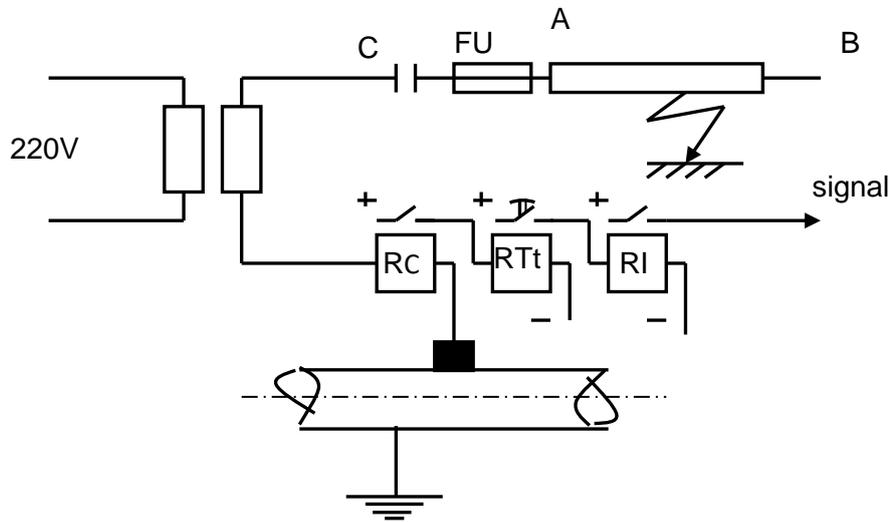


Fig. 27 Protection contre les courts-circuits à la masse d'enroulement rotorique

Pendant le défaut à la masse le courant qui traverse le relais RC est calibré expérimentalement.

29.7. Protection contre les courts-circuits à la terre de l'enroulement statorique

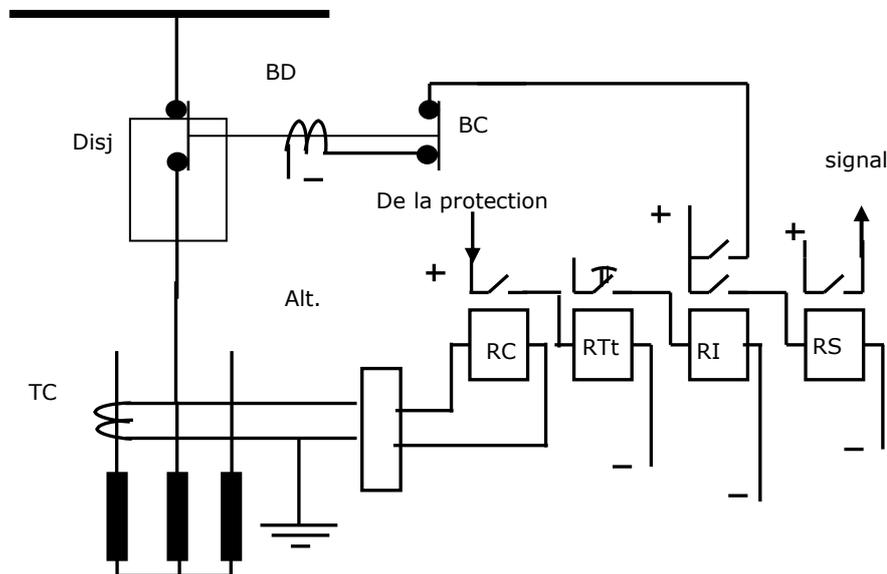


Fig. 28 Protection contre les courts-circuits à la terre de l'un des enroulements statoriques

$$I_f(p) = K_{séc} I_{cal}$$

$$I_f(R) = \frac{I_f(p)}{\eta_{TC}}$$

$$t_f(p) = (0,5 \div 1)s$$

Pendant les courts-circuits monophasés et biphasés, c'est la protection principale qui fonctionne. Le courant I_{cal} est déterminé d'après :

- 1- Caractéristique de l'alternateur
- 2- Mesure de la capacité des enroulements par rapport au stator
- 3- Formules empiriques

$$I_{cal} = 3\omega C_{cal} \frac{U_n}{\sqrt{3}} 10^3$$

$$C_{al} = \frac{KP_n}{1,2\sqrt{U_n}(1 + 0,08U_n)}$$

$K=0.0187$, P_n en Kw et U_n en Kv

La valeur du condensateur calculée est en μF .

D'après la normalisation :

$I_c < 5A$ La protection signal le défaut

$I_c > 5A$ La protection déclenche l'alternateur.

30. Protection des jeux de barres

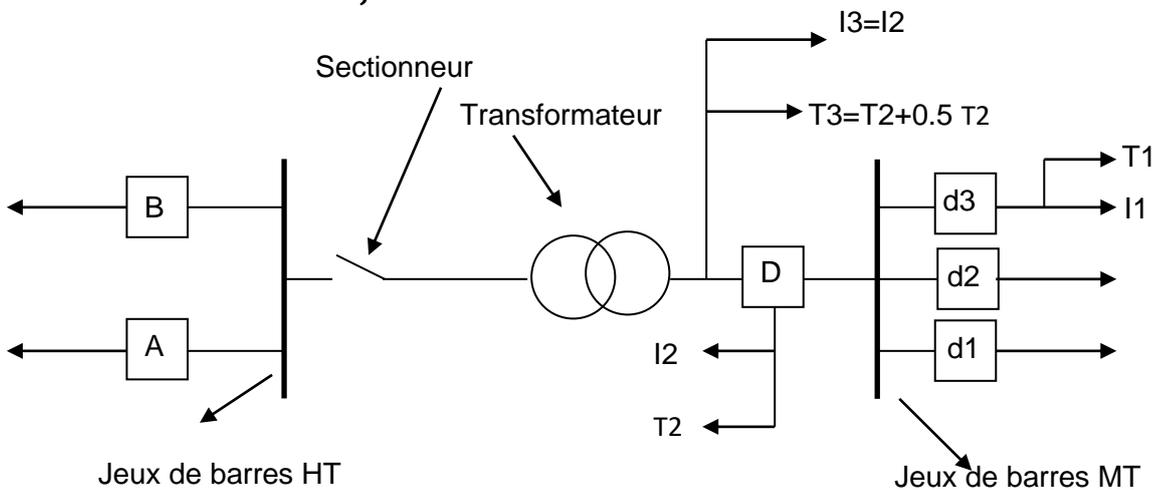


Fig.29 Protection des jeux de barres

En cas de défaut polyphasé sur un départ MT, les relais à maximum de courant qui doivent agir en provoquant l'ouverture du disjoncteur correspondant (d_1 ou d_2 ou d_3).

- Si un défaut affecte les jeux de barres, il doit être éliminé par le disjoncteur 'D' dont les seuils de réglage du courant I et le temps T sont supérieurs à ceux des départs

MT. Soit I_1 et T_1 sont les seuils de réglage les plus élevés des départs MT, les seuils de réglage I_2 et T_2 des relais de protection seront :

$$I_2 = I_1 + 0,1I_1$$

$$T_2 = T_1 + 0,5s$$

- Si un défaut affecte le câble de liaison, il doit être détecté par deux relais à maximum de courant à action temporisé, associés au transformateur HT/MT qui ouvrent les disjoncteurs A, B, C.

31. Protection des transformateurs

Les défauts qui pourront affecter le transformateur sont :

- Court-circuit entre phase à l'intérieur et l'extérieur de la cuve
- Court-circuit entre spires
- Masse cuve

Le transformateur est équipé de protections de bases suivantes :

- Protection 'BUCHHOLTZ' qui protège le transformateur contre tout défaut apparaissant à l'intérieur de la cuve.
- Protection différentielle
- Protection masse cuve

Ces protections se complètent mutuellement.

31.1. Protection par relais BUCHHOLTZ

Tout arc électrique se produisant à l'intérieur du transformateur produit un dégagement gazeux qui monte vers la surface. Suivant l'importance du défaut, se fait le basculement des flotteurs, soit en position déclenchement soit en position alarme. La nature de la couleur du gaz située dans l'accumulateur qui se trouve à la partie supérieure du relais BUCHHOLTZ peut nous renseigner sur l'origine du défaut.

- Gaz blancs proviennent de la destruction du papier
- Gaz jaunes proviennent de la destruction des pièces en bois
- Gaz noir ou gris proviennent de la détérioration de l'huile

31.2. Protection différentielle

On peut représenter chaque phase du transformateur par le schéma simplifié suivant :

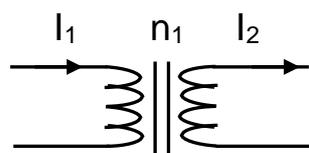


Fig. 30 Phase du transformateur

Hors défaut $I_1 = I_2$

En présence du défaut, un courant de différence apparaît

$$I_d = I_1 - I_2$$

Ce courant est comparé au courant somme

$$I = I_1 + \frac{I_2}{2}$$

Le relais fonctionne lorsque le courant I_d représente un pourcentage (P) donné du courant somme soit :

$$I_d = PI$$

- Seuil d'insensibilité (ou seuil bas)

Verrouillage de la protection en bas régime. Ce seuil de réglage est de 0.2 à 0.8 I_r (courant de réglage).

- Mesure du taux de l'harmonique 2

Un détecteur verrouille la protection lorsque la différence de courant contient plus de 15% de l'harmonique 2.

- Seuil haut

Afin d'assurer un déclenchement rapide lors des défauts importants, tout courant $I_d > 8I_r$.

31.3. Protection masse cuve

La protection ampérométrique masse cuve est utilisable pour les transformateurs HT/MT reliés à un réseau électrique dont le neutre est relié à la terre.

Pour les réseaux électriques dont le neutre est isolé, la protection masse cuve est assurée par un relais de tension homopolaire. Quand le courant de défaut dépasse la valeur de consigne, le relais bascule, et ordonne l'ouverture du disjoncteur.

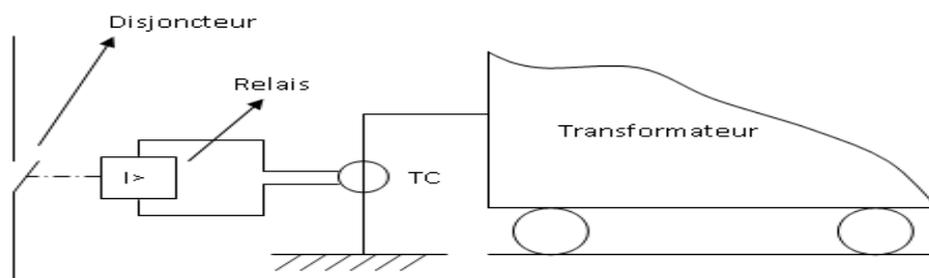


Fig. 31 Protection masse cuve

32. Protection des lignes électriques

32.1. Protection différentielle longitudinale

Cette protection est réalisée pour les lignes très courtes entre 10 et 20 km).

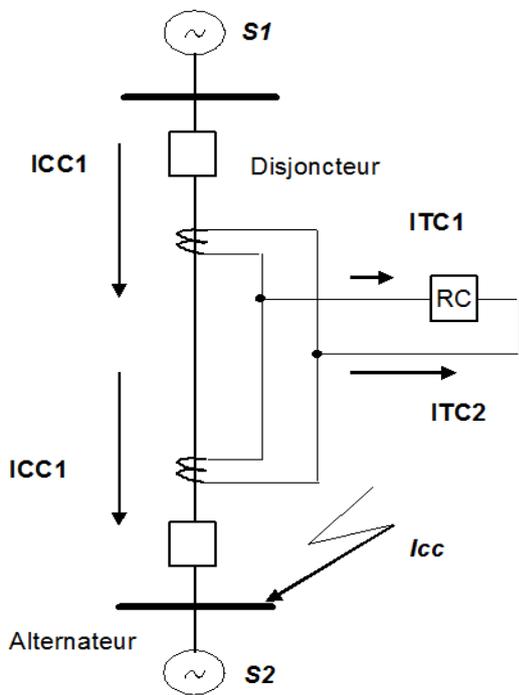


Fig. 32

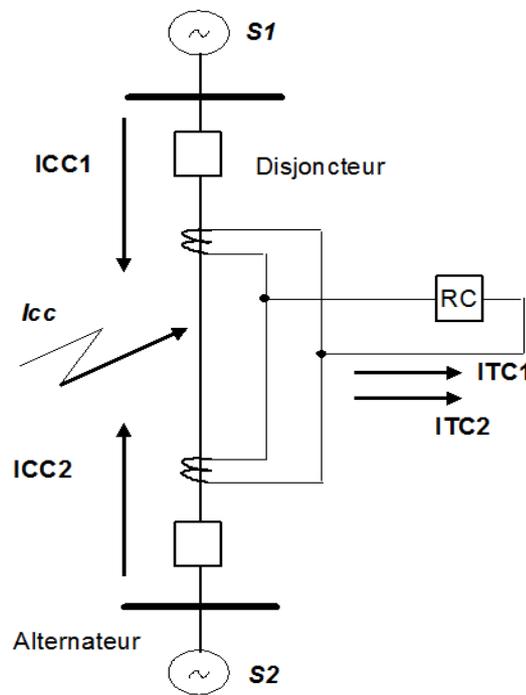


Fig. 33

Sur la figure 32 le court-circuit est sur les jeux de barres de l’alternateur S2, les courants secondaires à la sortie des transformateurs de courant sont en opposition de phase, ce que fait que le courant de fonctionnement du relais de courant RC est nul ($IRC(f)=0$). La protection différentielle reste aveugle c-à-d ne fonctionne pas.

Sur la figure 33, la protection différentielle fonctionne car le défaut se trouve dans la zone de protection, et le courant de fonctionnement du relais de courant égal à la somme des courants secondaires des transformateurs de courant ($IRC(f)= ITC1+ITC2$).

Le courant de réglage du relais de courant RC doit prendre en considération les différences des caractéristiques des transformateurs de courant dues à la conception.

$$I_f(R) = K_{séc} I_{né max}$$

Avec

$K_{séc}$ de (1,3 à 1,4) Coefficient de sécurité

$I_{né max}$ Courant non équilibré maximal

$$I_{né\ max} = K_t \frac{F_i}{100} \frac{I_{ccmax}}{\eta_{Tc}}$$

Avec

K_t de (0,5 à 1) Coefficient qui tient compte des TC

F_i (0,1) Classe de précision des TC

η_{Tc} Rapport de transformation des TC

I_{ccmax} Courant de court-circuit maximal

Le schéma global de la protection différentielle d'une ligne de transport de l'énergie électrique est le même que celui de l'alternateur (§ I.1).

32.2. Protection différentielle transversale

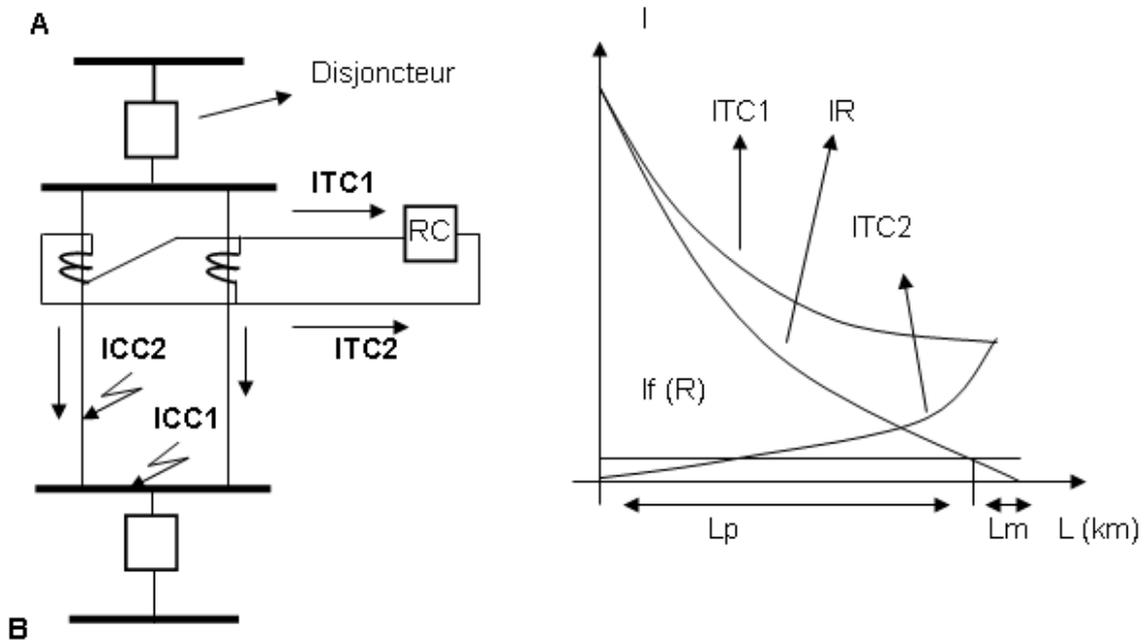


Fig. 34 Courant de court-circuit en fonction de la distance

- Au point de court-circuit N°1, le courant de fonctionnement des relais est nul.
- Au point de court-circuit N°2, le courant de fonctionnement des relais est différent de zéro parce que la distance au point de court-circuit n'est pas égale.

Le courant de fonctionnement des relais de courant est calculé par l'équation suivante :

$$I_f(R) = K_{séc} I_{néc}$$

$$I_{néc} = K_t \frac{fi}{100} \frac{I_{ccmax}}{2\eta_{TC}}$$

Avec

$$K_{séc} = 1.3 \div 1.4$$

Cette protection possède une zone morte ($l_m=10\%$ de l) où la protection n'agit pas car les courants de court-circuit sont pratiquement égaux.

32.3. Protection à maximum de courant directionnel

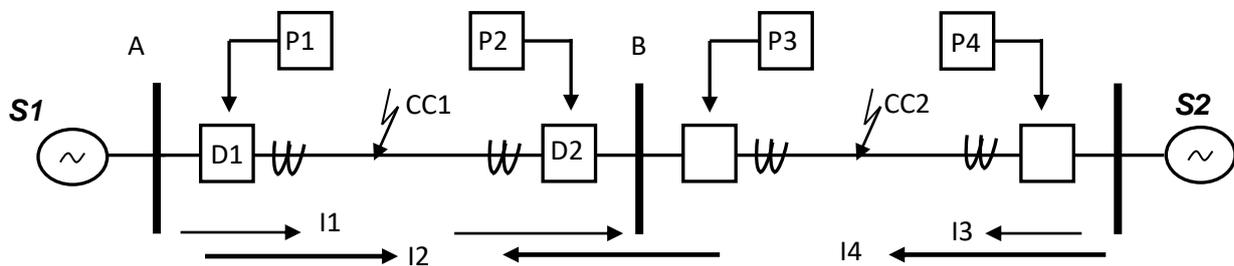


Fig. 35 Points de court-circuit

Dans ce cas, on ne peut pas utiliser une protection à maximum de courant temporisée car lors du court-circuit CC1 le temps de fonctionnement de la protection P2 est inférieur à celui de la protection P3, tandis que lors du court-circuit CC2 c'est l'inverse. Aussi, on constate au niveau des disjoncteurs D2 et D3 les courants de court-circuit sont en opposition de phase. Pour remédier cette situation, on adopte la protection à maximum de courant directionnel qui utilise un relais de puissance qui réagit en fonction du déphasage des courants de court-circuit. Pour les protections P1 Et P2 on utilise une protection à maximum de courant temporisé avec :

- Pour le court-circuit CC1, $tf(P4) > tf(P2)$
- Pour le court-circuit CC2, $tf(P1) > tf(P3)$

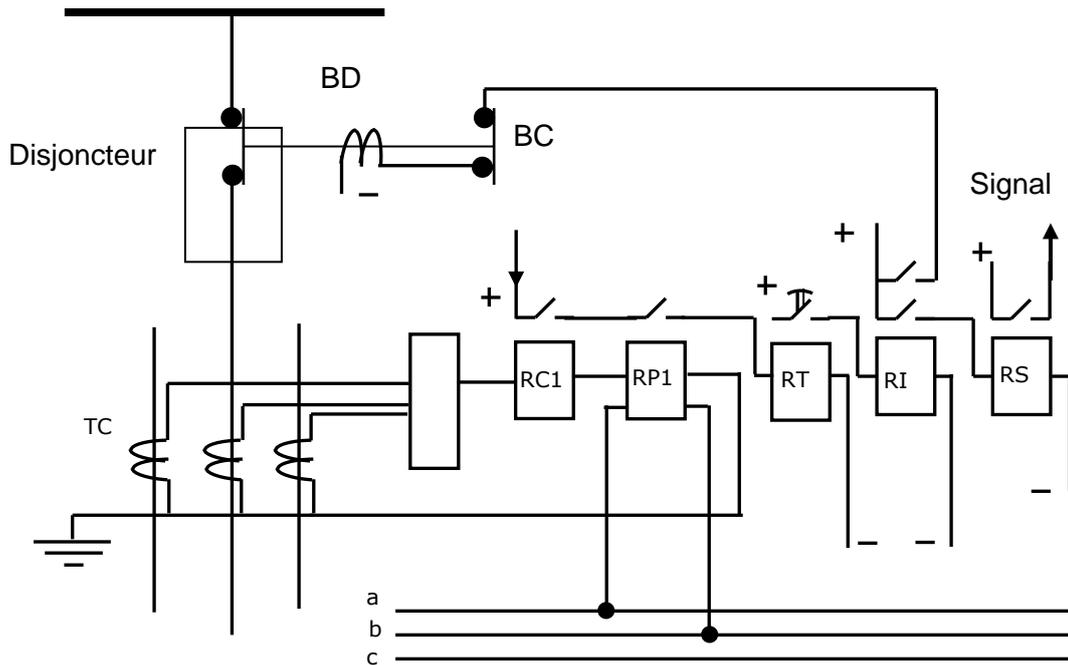
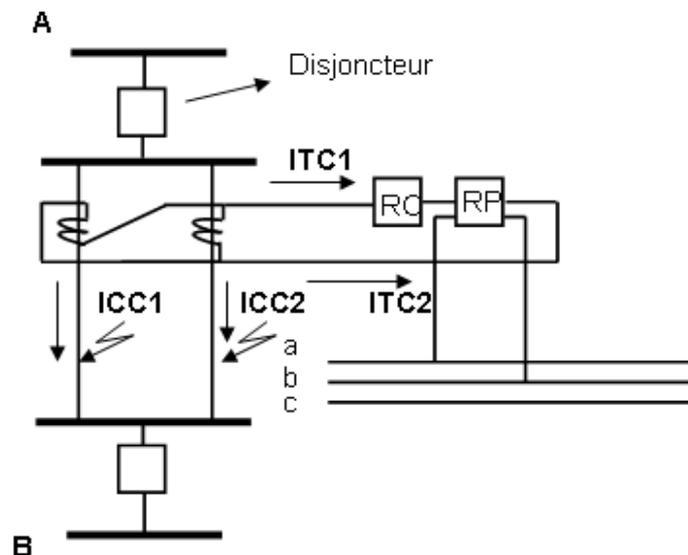


Fig. 36 Schéma de principe de la protection à maximum de courant directionnelle

Dans le circuit de chaque transformateur de courant on branche deux relais (un relais de courant et un relais de puissance). La mise en série des contacts des relais empêche le fonctionnement de la protection en régime normal et de surcharge. Pendant le court-circuit, le contact du relais de puissance se ferme selon la valeur de son couple moteur (selon le branchement du relais de puissance soit il agit pour un couple positif ou négatif).

32.4. Protection différentielle transversale directionnelle



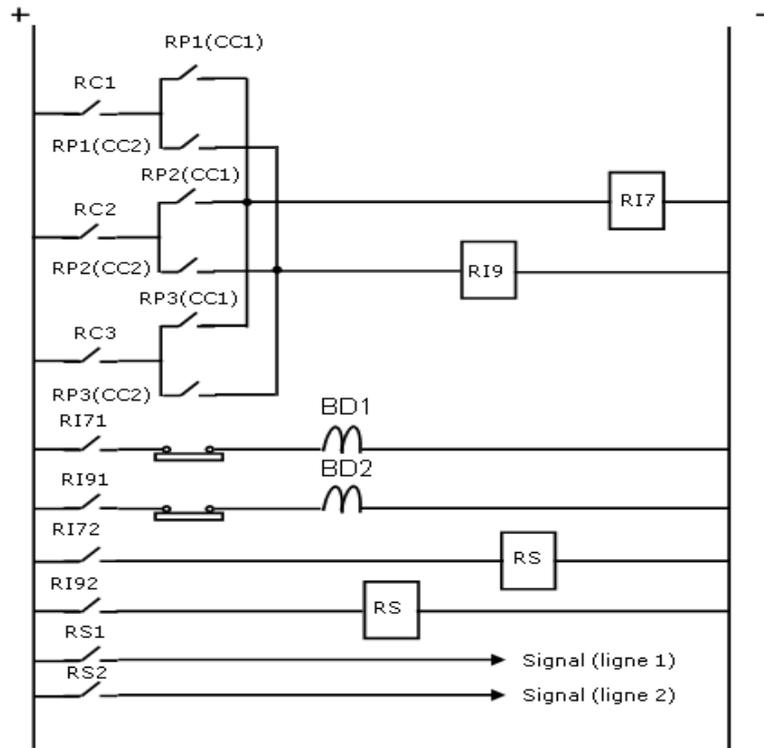


Fig. 37 Schéma de commande de la protection différentielle transversale directionnelle

Quand un court-circuit se produit au niveau de la ligne l1, le contact RC1 se ferme et le contact RP1 (CC1) se ferme si le couple moteur du relais de puissance est positif, dans ce cas c'est le disjoncteur D1 de la ligne l1 qui se déclenche. Dans le cas où c'est RP2(CC1) qui se ferme, la ligne l2 sera mise hors tension par l'ouverture du disjoncteur D2.

33. Ré enclenchement automatique des lignes électriques de transport

33.1. Ré enclenchement automatique d'une ligne électrique de transport alimentée par une seule source

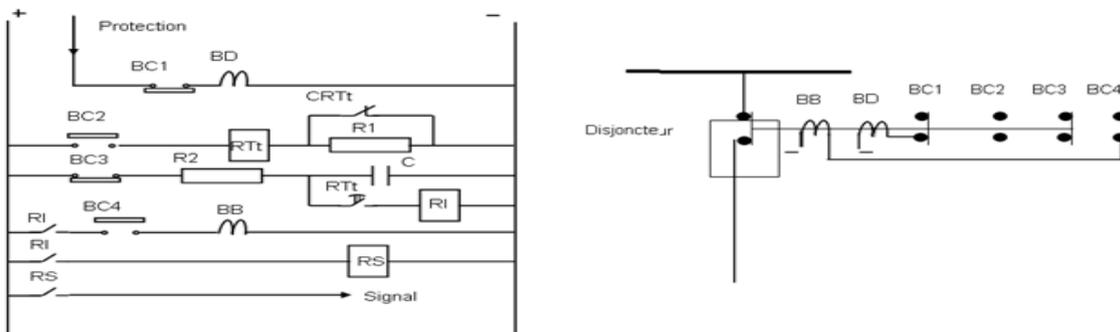


Fig. 38 Schéma de commande du ré enclenchement automatique

R₁ Résistance pour augmenter la stabilité thermique

R₂ Résistance pour régler la charge du condensateur avec $t=20$ s

Lors d'un court-circuit sur la ligne, la protection déclenche le disjoncteur et le contact BC2 se ferme. Ce dernier excite le relais temporisé RTt. Le relais intermédiaire RI sera excité par le courant de décharge du condensateur après la fermeture du contact temporisé RTt dans un temps de (0.5 - 0.7) s avec 0.2 s, temps de dés ionisation de l'air.