

Chapitre 5

Protections des réseaux électrique

CHAPITRE 5 : Protection des réseaux électriques

Introduction

L'énergie électrique est un besoin vital pour l'homme dans sa vie de tous les jours. Elle est l'œuvre de l'implication étroite du maître qu'est l'homme intelligent et la machine qu'est l'esclave. Tous les deux se protègent mutuellement. Le maître ne fait pas confiance à la bête qui est la machine et développe des dispositifs de protection qui entrent dans le cadre de la protection de personnels et de la machine.

Le réseau électrique comprend trois grandes étapes, la production de l'énergie électrique, le transport et la distribution. Chaque équipement est doté d'un ensemble de protections souvent de nature complémentaire et à caractère instantané ou différé.

L'objectif primordial de la protection est d'éliminer le défaut par l'action instantanée d'un relais électromagnétique ou retardée par un relais temporisé. Selon le type du défaut, la protection intelligente émet un signal de déclenchement du disjoncteur, et par conséquent la mise hors tension de l'installation ou un signal de signalisation pour informer les opérateurs sur la nature du défaut et de prendre les mesures adéquates.

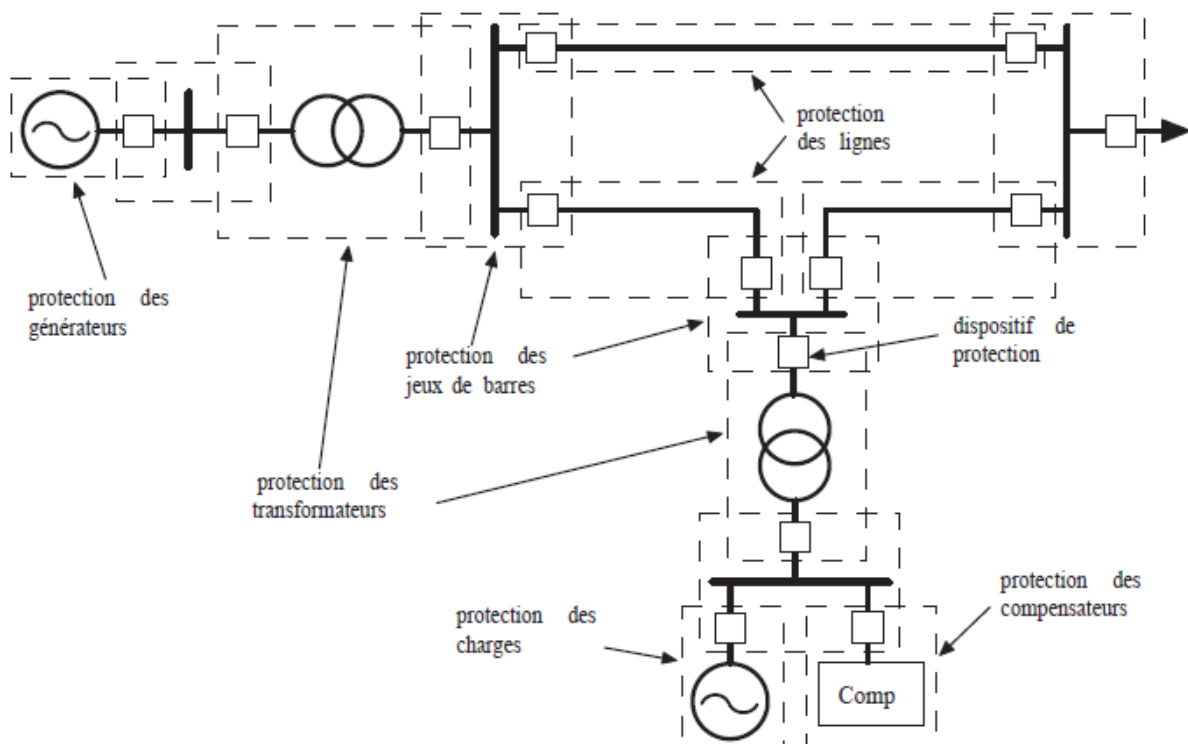


Figure 5.1 : Différentes parties à protéger dans le réseau électrique

1. Généralités sur la protection:

1.1. 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...).

1.1.1 Courant de court-circuit

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.

Les dispositifs de détection réservés à cette perturbation sont :

- Relais électromagnétiques
- Fusibles

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

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

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

- Surintensité

- Chute de tension
- Déséquilibre
- Echauffement
- Chute de fréquence
- Perte de synchronisme

1.1.2 Courant de Surcharge

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

Les causes susceptibles de produire un courant de surcharge sont :

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

Les conséquences occasionnées par un courant de surcharge sont :

- Surintensité
- Echauffement
- Déséquilibre
- Chute de fréquence

1.1.3 Perturbations transitoires

Les perturbations transitoires pourraient être divisées en deux catégories:

a- impulsive

b- oscillatoire

a- 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, moyen, et lent). Les perturbations Impulsives peuvent être des événements très rapides (5 nanosecondes)

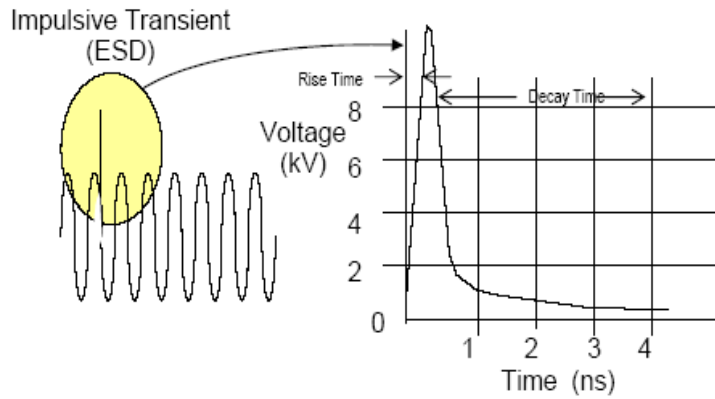


Figure 5.2 : Perturbation impulsive positive causée par une décharge électrostatique

b- Oscillatoire

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.

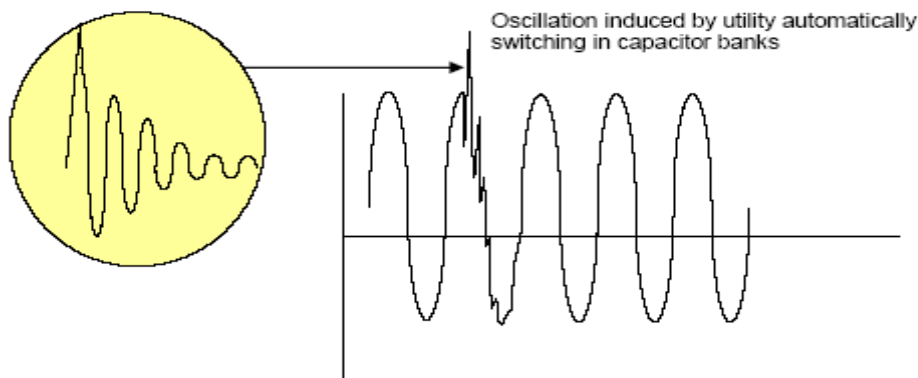


Figure 5.3 : Perturbation oscillatoire

1.1.4 Déséquilibre

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°. Le degré de déséquilibre est défini en utilisant la méthode des composantes de Fortescue par le rapport de la composante inverse U_{1i} (ou homopolaire U_{1o}) du fondamental à celui de la composante directe du fondamental U_{1d} .

$$\Delta U_i = \frac{|U_{1i}|}{|U_{1d}|} \quad \text{et} \quad \Delta U_o = \frac{|U_{1o}|}{|U_{1d}|}$$

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

Les causes susceptibles de produire un déséquilibre tension sont :

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

Les conséquences occasionnées par un déséquilibre tension sont :

- Echauffement
- Diminution du flux lumineux
- Vibration des moteurs

1.2 Propriétés de la protection

1.2.1 Définition

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

1.2.2 Fonction

En règle générale pour protéger une installation il faut :

- Surveiller le fonctionnement
- Détecter un état de dysfonctionnement

1.2.3 Propriétés

Pour qu'un système de protection accomplisse convenablement sa mission, il doit présenter les qualités suivantes :

- **Fiabilité** : Déclenchement suite à un défaut réel (décision sûre)
- **Disponibilité** : C'est la capacité de fonctionner lors de l'apparition d'un défaut, ce qui impose diverses procédures ou dispositifs pour s'assurer que la protection est en état de marche.
- **Rapidité d'action** : Pour limiter les effets néfastes du défaut
- **Sensibilité** : Détecter la moindre variation de grandeur à surveiller
- **Consommation** : Elle doit être réduite

- **Sélectivité** : Déclenchement seulement des appareils encadrants le défaut, de manière à maintenir sous tension les parties saines

1.3 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

1.3.1 Protections ampermétriques et voltmétriques

1.3.1.1 Protections ampermétriques

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.

Le 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.

a- 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).

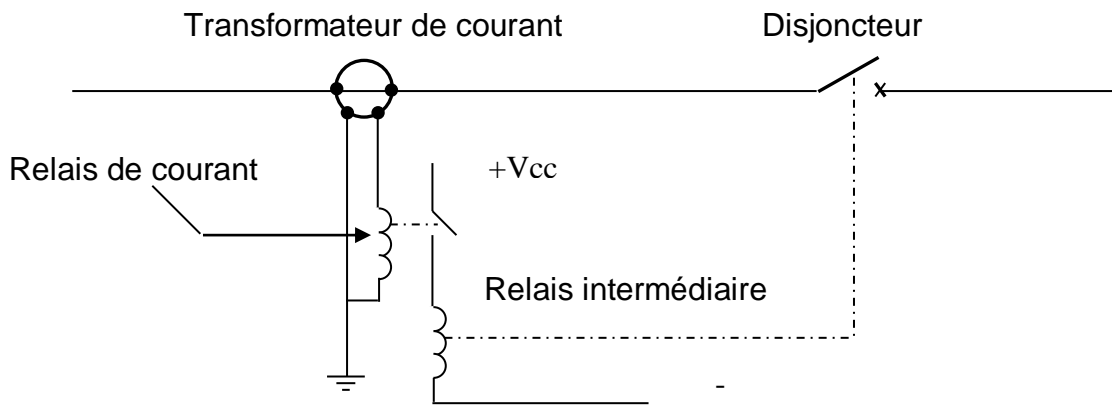


Figure 5.4 : Protection à maximum de courant à temps constant
(Schéma d'une phase)

1.3.1.2 Protection voltométrique

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.

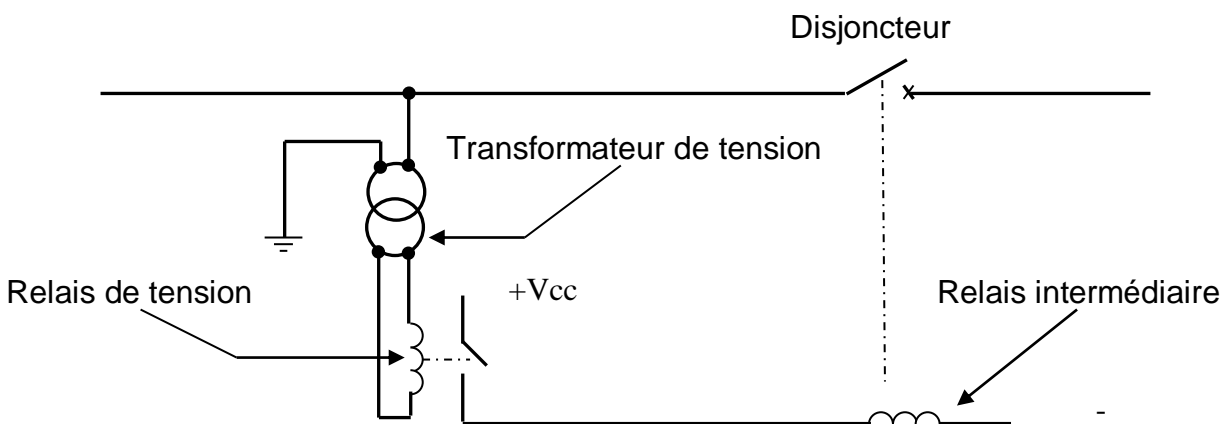


Figure 5.5 : Protection voltométrique (schéma d'une phase)

1.3.2 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.

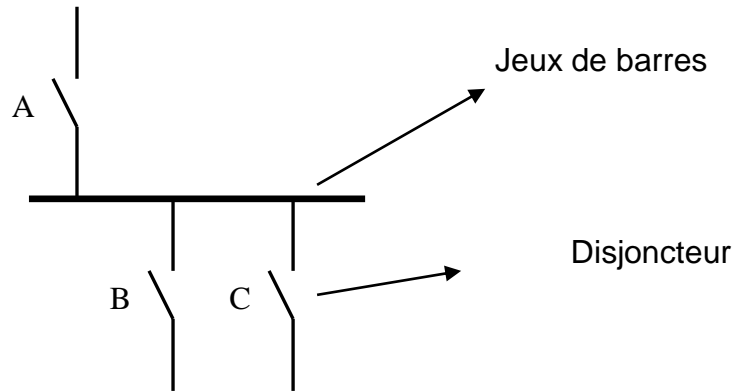


Figure 5.6 : Sélectivité totale

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

I.3.2.1 Sélectivité ampermétrique

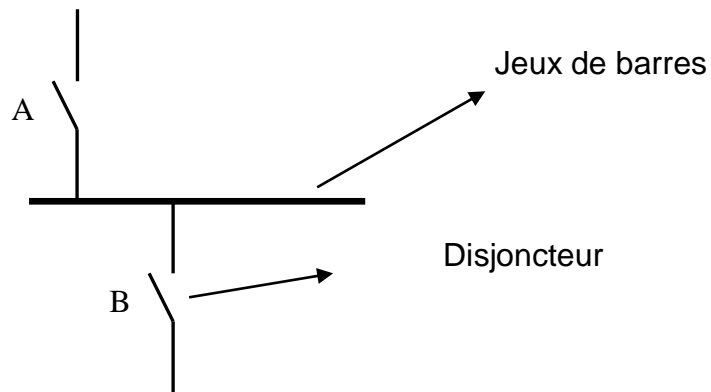


Figure 5.7 : Sélectivité ampermétrique

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

1.3.2.2 Sélectivité chronométrique

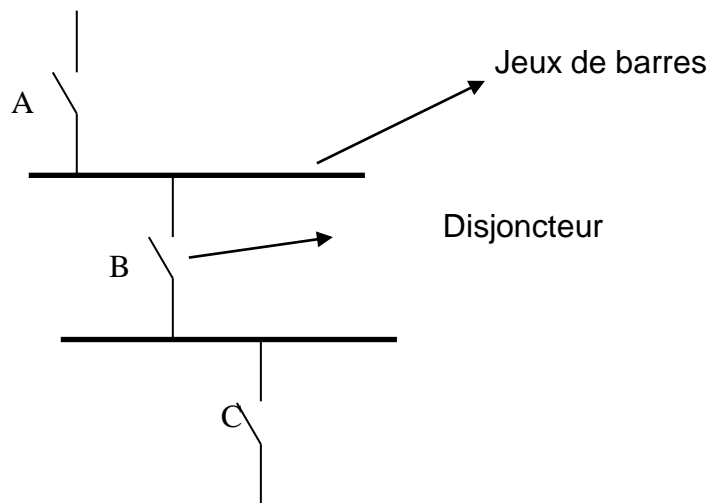


Figure 5.8: Sélectivité chronométrique

Le disjoncteur C est un disjoncteur à 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 t_r

Le temps t vérifie de ce fait la relation $t = T_c + t_r + 2dt$. 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.

1.3.2.3 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.

2. Eléments de la protection

2.1 Modèle structural de principe

Le schéma suivant représente le principe de base d'un système de protection :

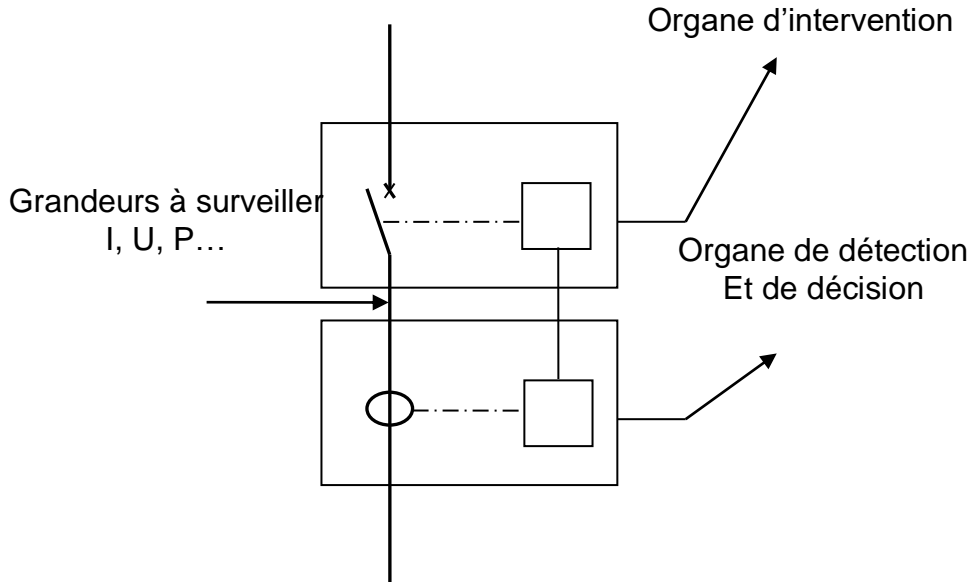


Figure 5.9 : Schéma de principe de la protection

2.2 Relais

2.2.1 Définition

Le relais est un dispositif à action mécanique ou électrique provoquant le fonctionnement des systèmes qui isolent une certaine zone du réseau en défaut ou actionnant un signal en cas de défaut ou de conditions anormales de marche (alarme, signalisation,.....).

L'élément central dans une protection est le système relais (relaying system) ou unité de protection illustré par la Figure. 5.2. 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)

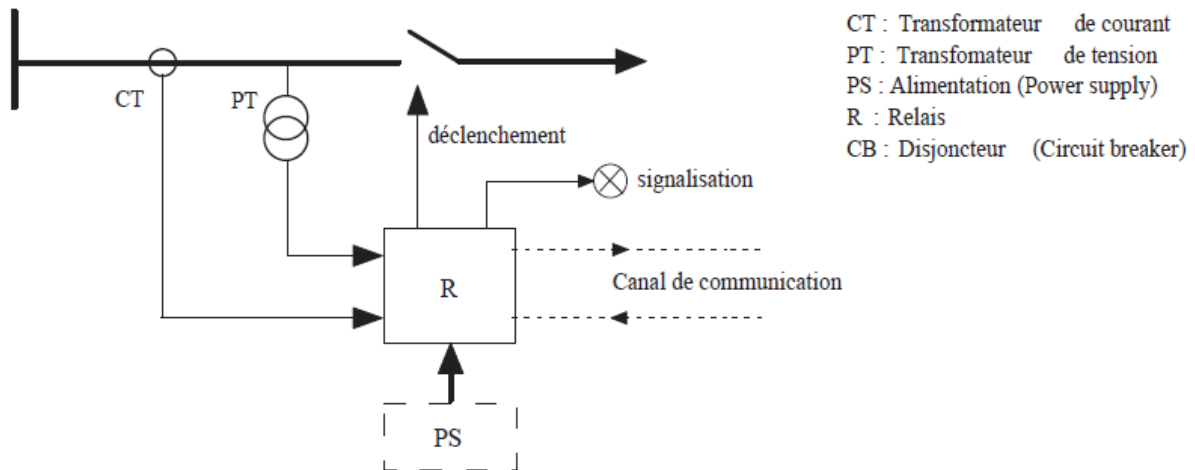


Figure 5.10 : Les composants d'un système relais

II.2.2 Désignation d'un relais

Un relais 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

II.2.3 Différents types de relais

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

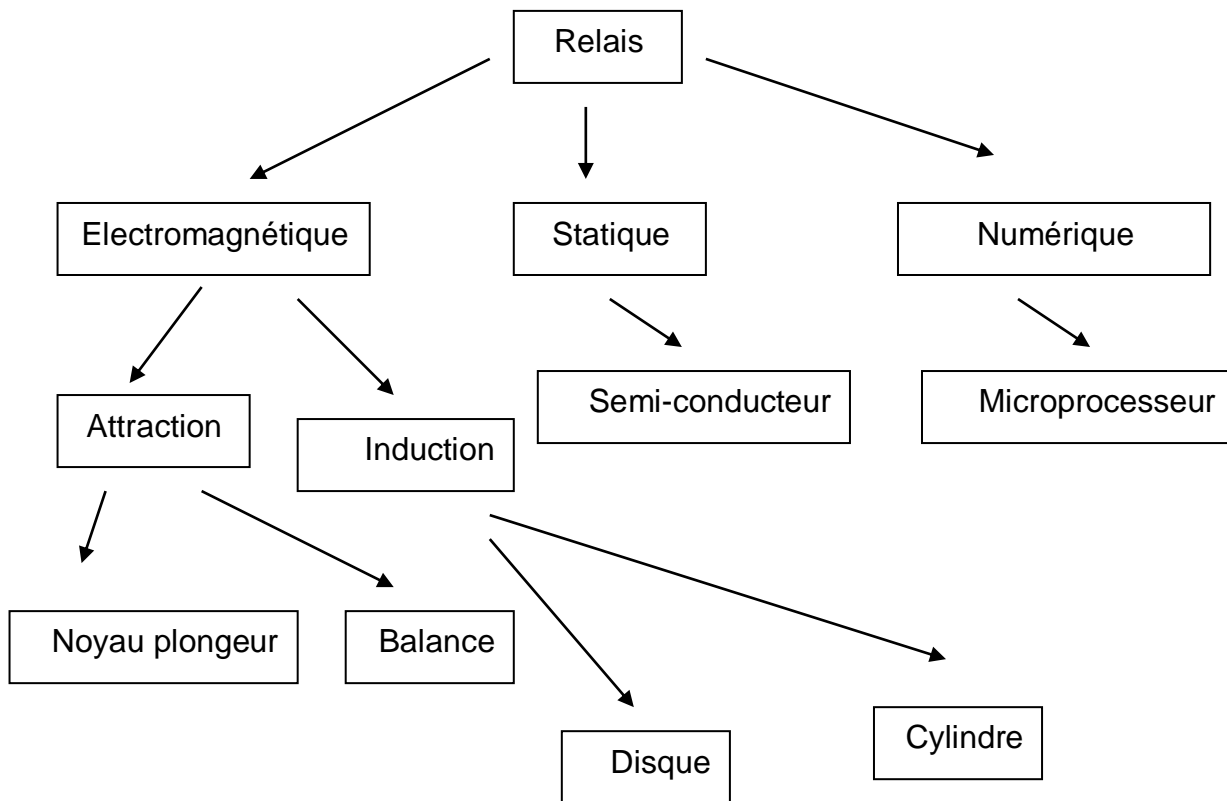


Figure 5.11 : Types de relais

2.2.4 Constitution d'un relais

2.2.4.1 relais électromagnétique

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

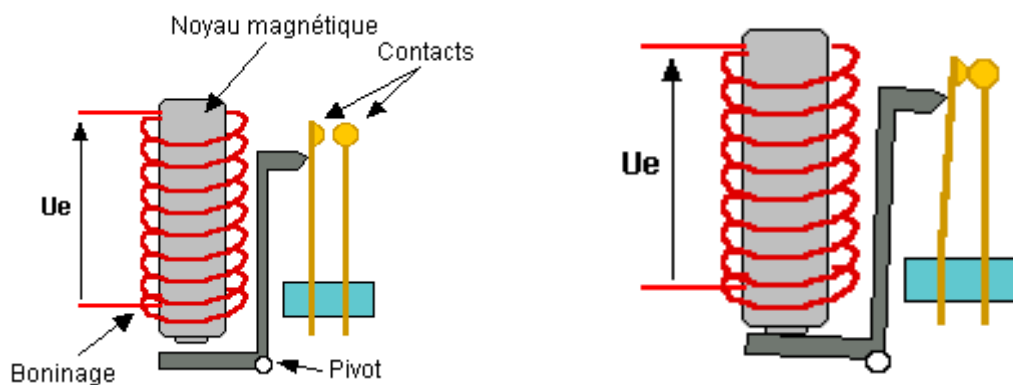


Figure 5.12 : Relais électromagnétique

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.

2.2.4.2 Relais thermique

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

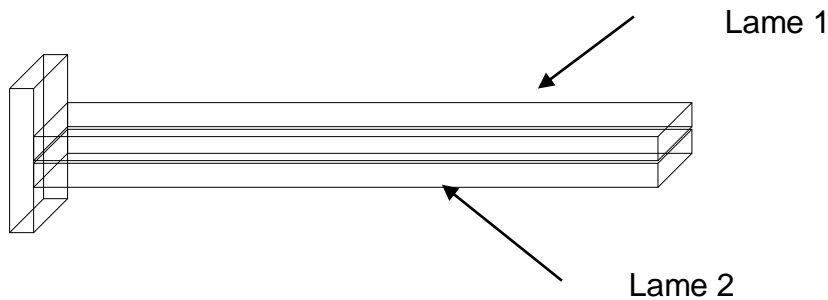


Figure 5.13 Principe du relais thermique

2.4.2.3 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.

2.3 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 annexe

2.3.1 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

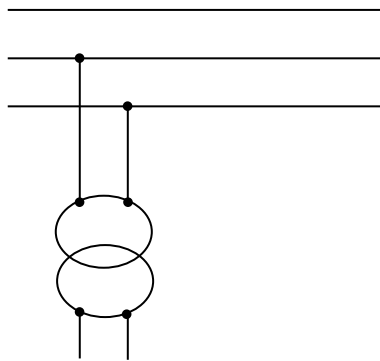


Figure 5.14 : Schéma de branchement

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

2.3.2 Transformateurs de courant

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

$$I_1 = \frac{n_2}{n_1} I_2$$

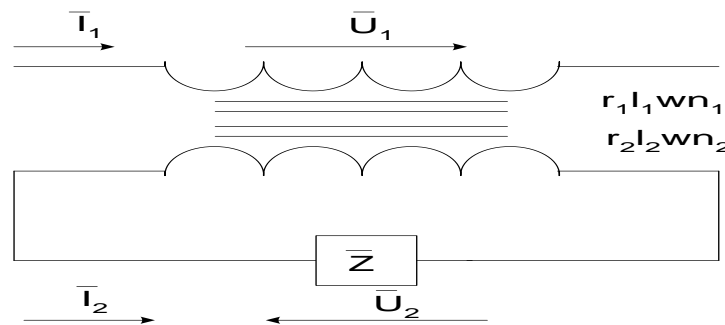


Figure 5.15 : Schéma de branchement

$$\bar{U}_2 = R\bar{I}_2 + j\bar{X}_2$$

$$\bar{E}_2 = \bar{U}_2 + r_2\bar{I}_2 + j\bar{l}_2\omega\bar{I}_2$$

$$\bar{U}_2 = R\bar{I}_2 + j\bar{X}_2$$

$$\bar{I}_1 = \bar{I}_{10} + \frac{n_2}{n_1}\bar{I}_2$$

$$\bar{E}_1 = \frac{n_1}{n_2}\bar{E}_2$$

$$\bar{U}_1 = \bar{E}_1 + r_1\bar{I}_1 + j\bar{l}_1\omega\bar{I}_1$$

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

3. Protection des éléments du réseau électrique

3.1 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.

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

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

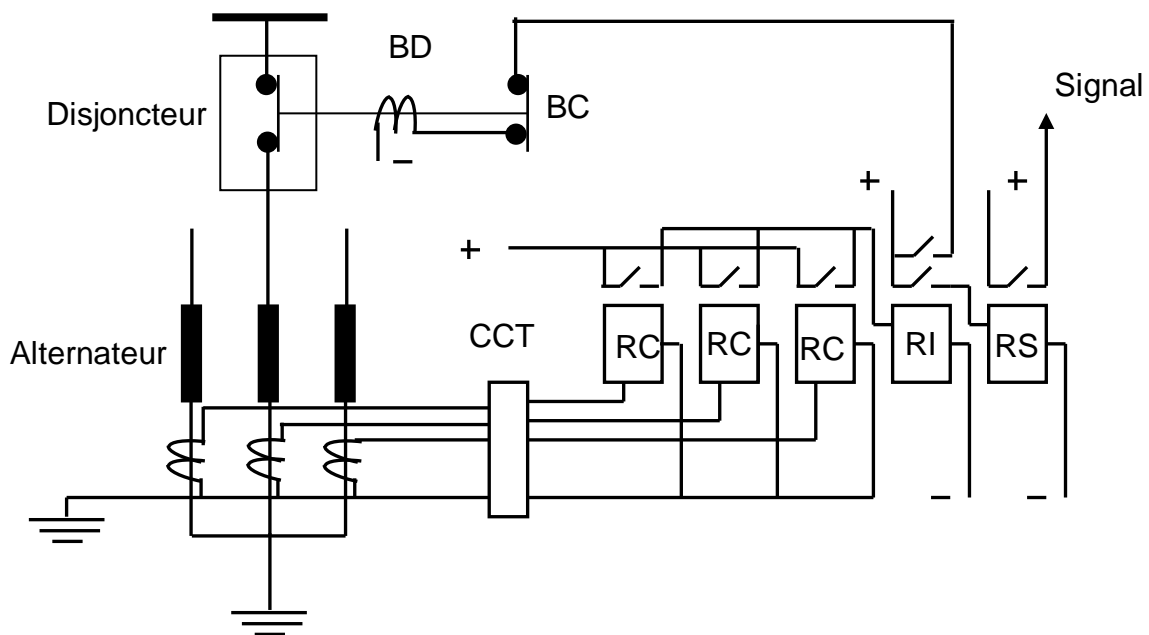


Figure 5.16 : Protection à maximum de courant

$$I_f(p) = \frac{k_1 k_2 I_{nal}}{k_r}$$

$$I_f(R) = \frac{k_1 k_2 I_{nal}}{k_r \eta_{TC}}$$

$$k_s = \frac{I_{ccmin}}{I_f(p)} > 2$$

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.

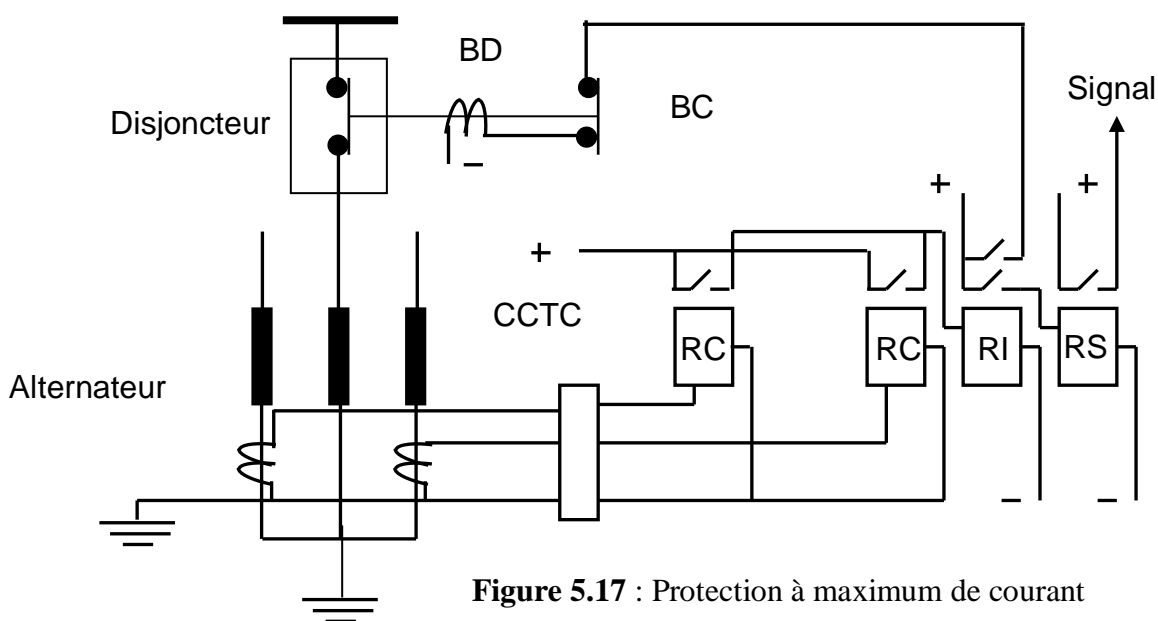


Figure 5.17 : Protection à maximum de courant

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

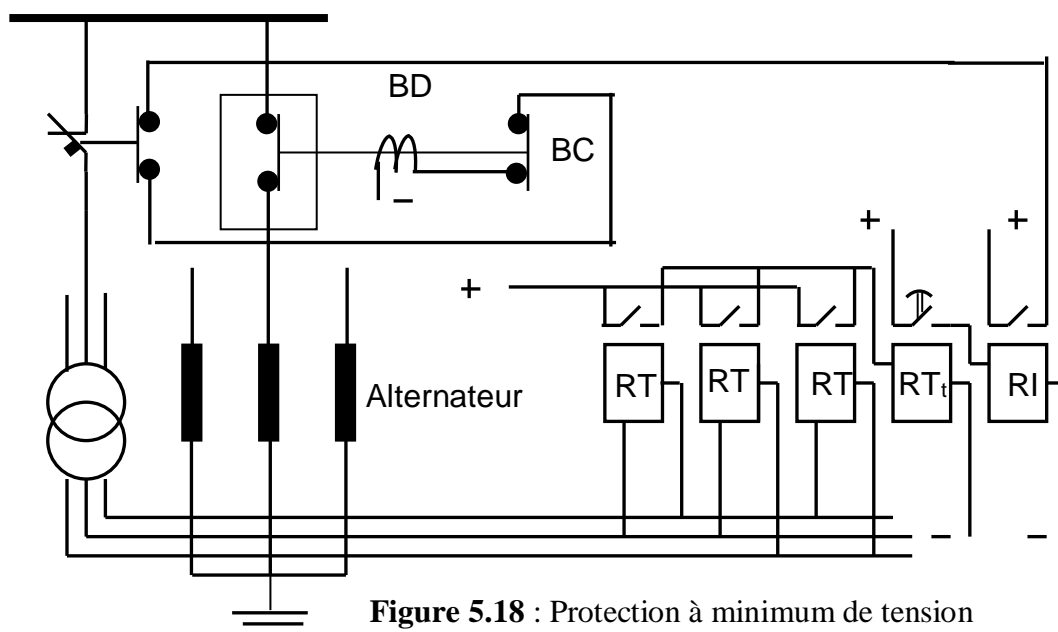


Figure 5.18 : Protection à minimum de tension

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 :

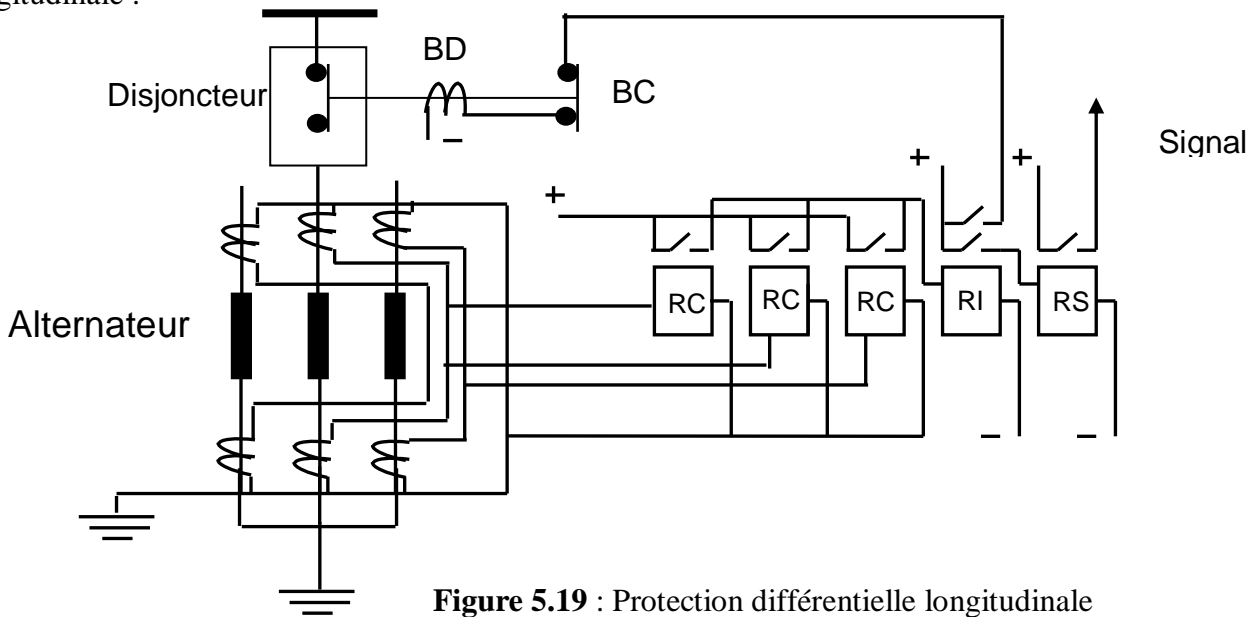


Figure 5.19 : Protection différentielle longitudinale

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 :

$$I_f(R) = k_{séc} I_{nc}; k_{séc} = 1.3 \div 1.4$$

$$I_{nc} = k_t \frac{f_i \% I_{ccmax}}{100 \eta_{TC}}; k_t = 0.5 \div 1; \frac{f_i \%}{100} = 0.1; k_{min} = \frac{I_{ccmin}}{I_f(p)} \geq 2$$

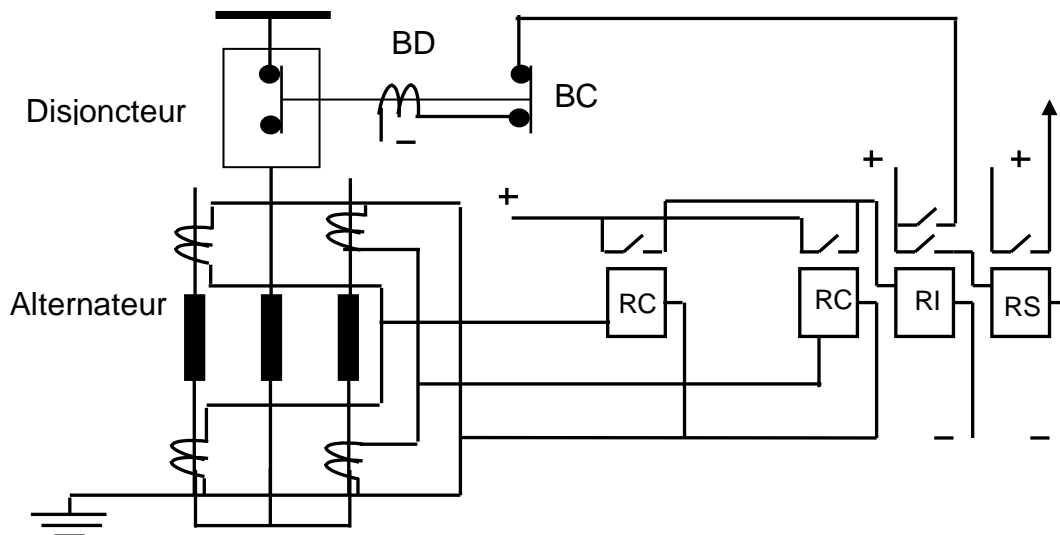


Figure 5.20 : Protection différentielle longitudinale

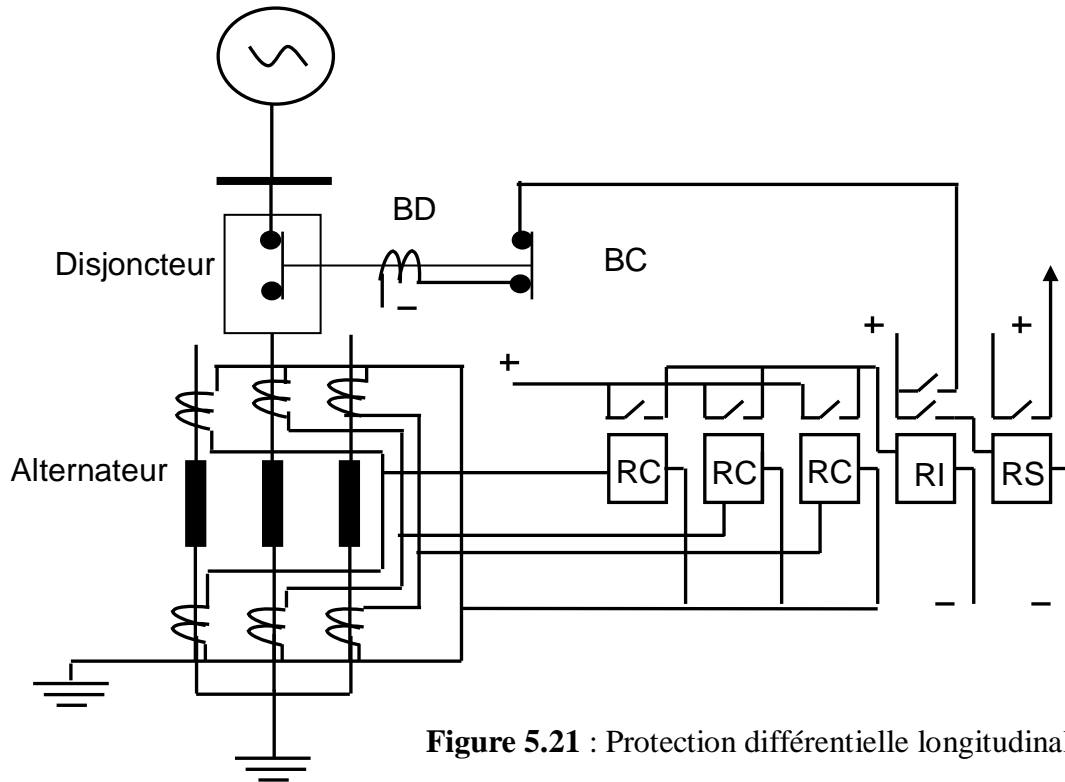
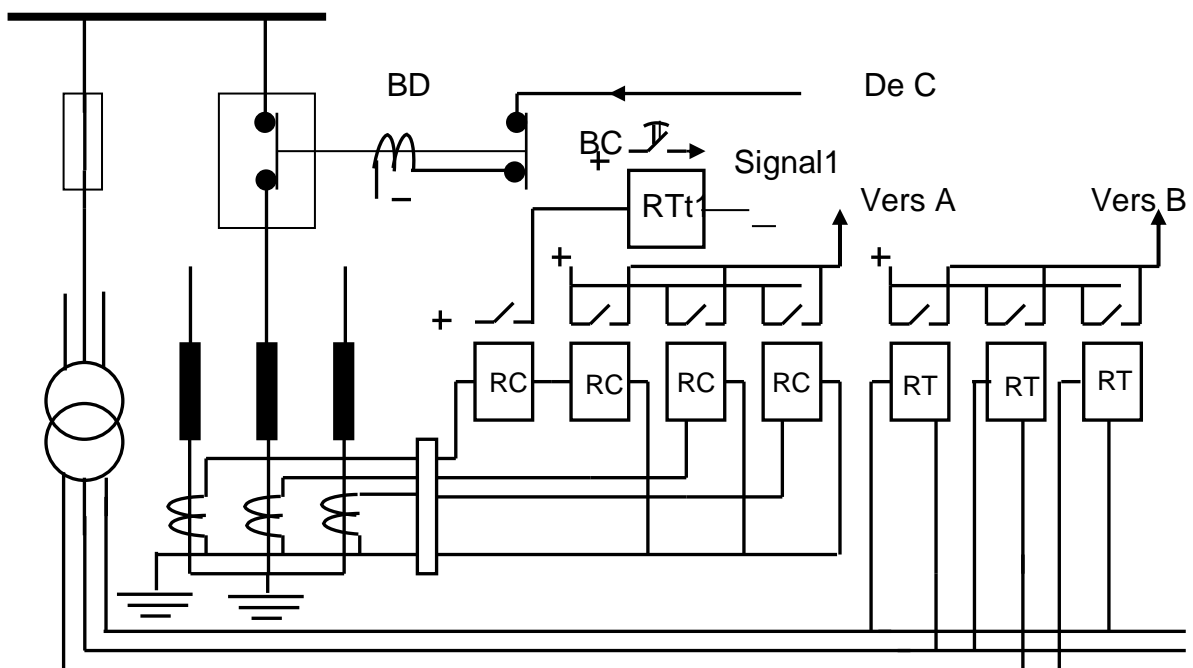


Figure 5.21 : Protection différentielle longitudinale

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.

3.1.2. Protection contre les courts-circuits dans le système



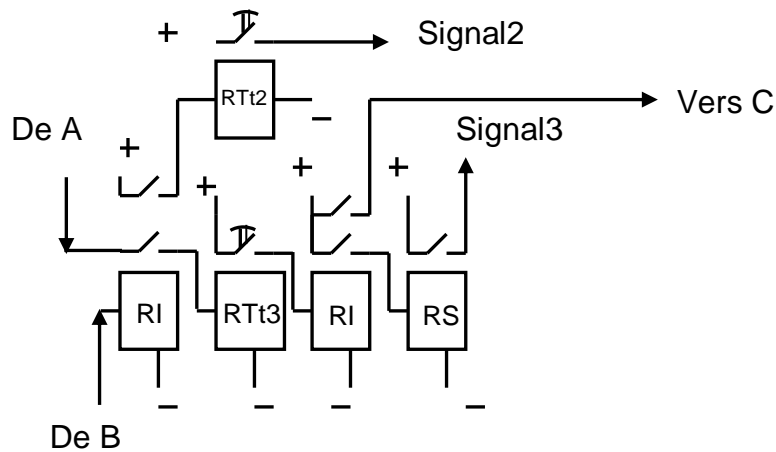


Figure 5.22 : Protection contre les courts-circuits dans le système

$t_f(RTt3) > t_f(RTt)$, 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.

$t_f(RTt1)$ temps de fonctionnement de la protection contre le surcharge

$t_f(RTt3)$ temps de fonctionnement de la protection

3.1.3. 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.

3.1.4. Protection contre les surtensions

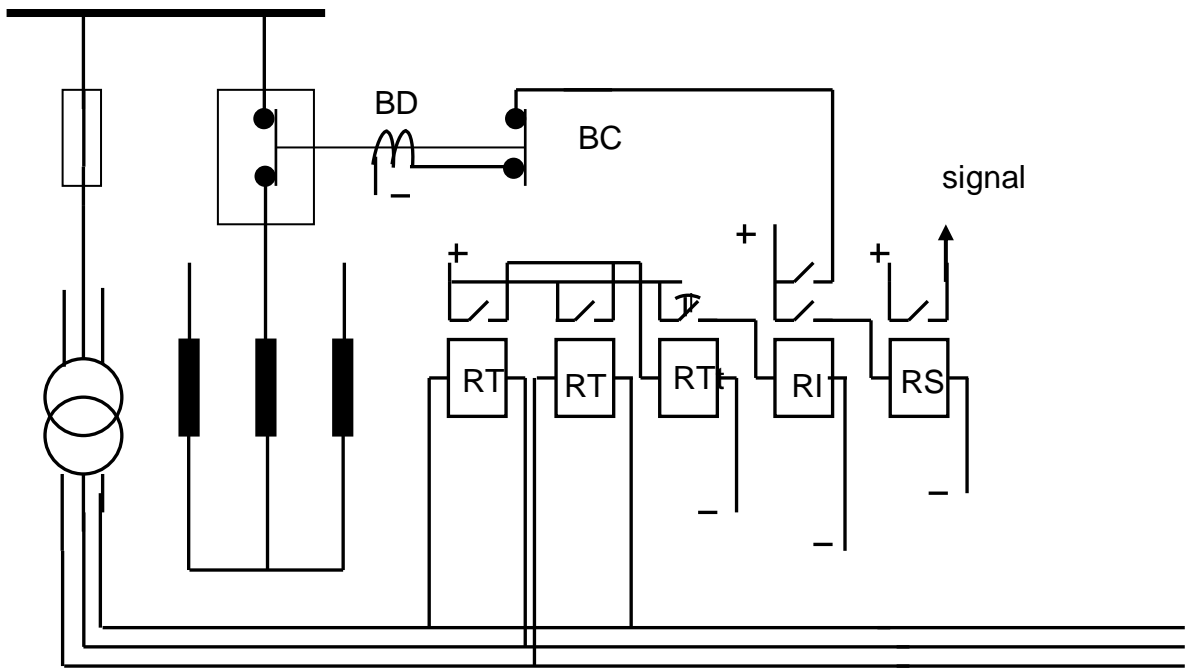


Figure 5.23 : Protection contre les surtensions

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

$$U_f(p) = (1.5 \div 1.7)U_n$$

$$t_f(p) = (0.5 \div 1)s$$

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

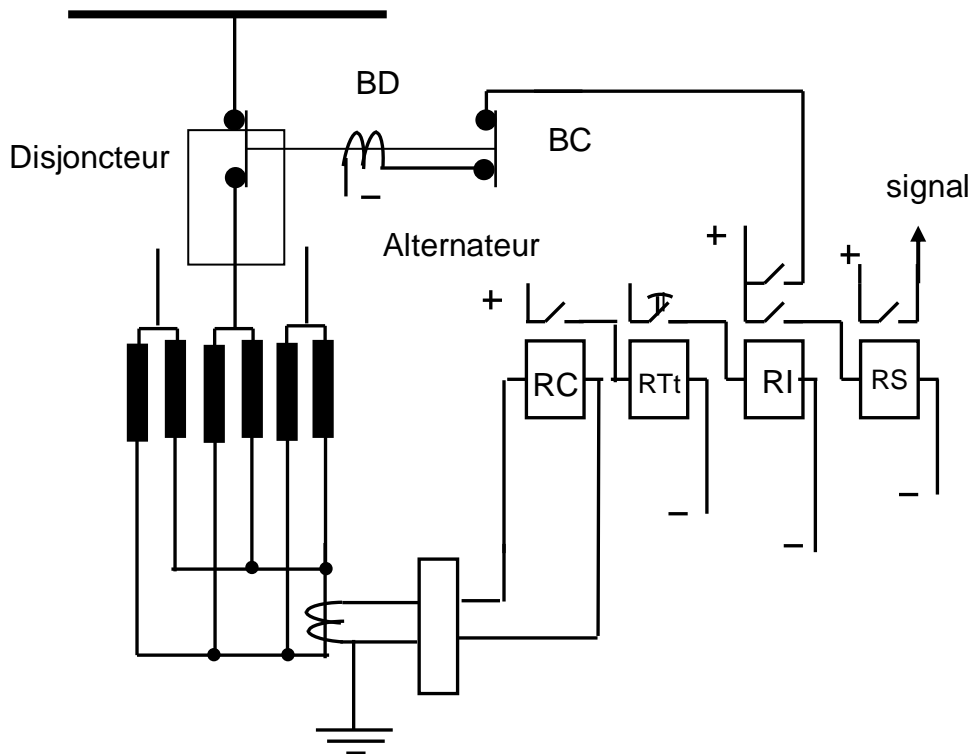


Figure 5.24 : Protection contre le court-circuit entre les spires de même phase

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.

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

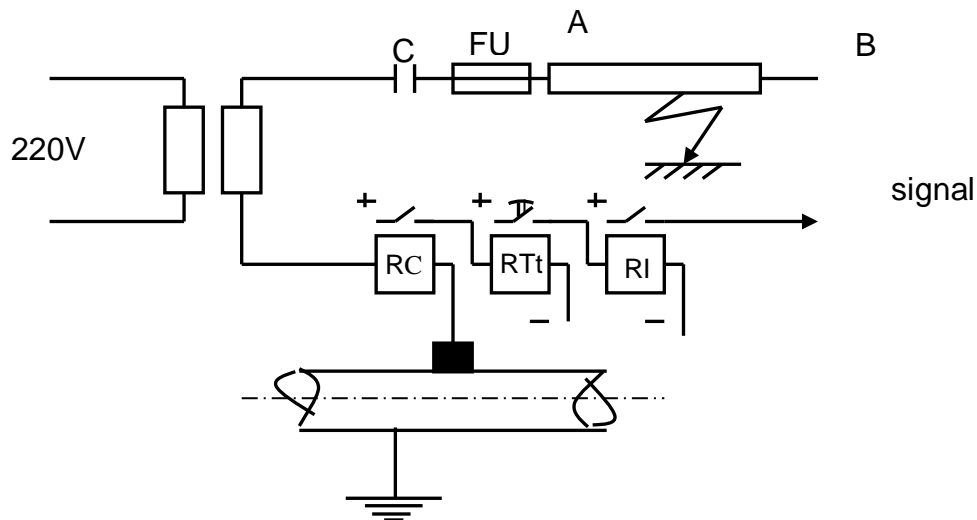


Figure 5.25 : Protection contre les courts-circuits à la masse d'enroulement rotorique

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

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

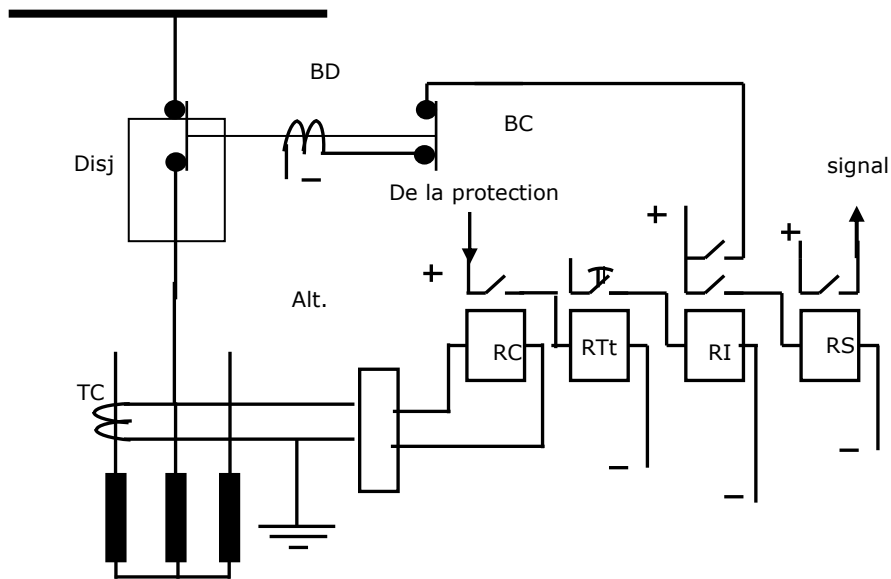


Figure 5.26 : Protection contre les courts-circuits à la terre de l'un des enroulements statoriques

$$I_f(p) = k_{séc} I_{cal}$$

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

$$t_f(p) = (0.5 \div 1)s$$

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

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

$$C_{cal} = \frac{K P_n}{1.2 \sqrt{U_n} (1 + 0.08 U_n)}$$

$K=0.0187$, 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.

3.2 Protection des jeux de barres

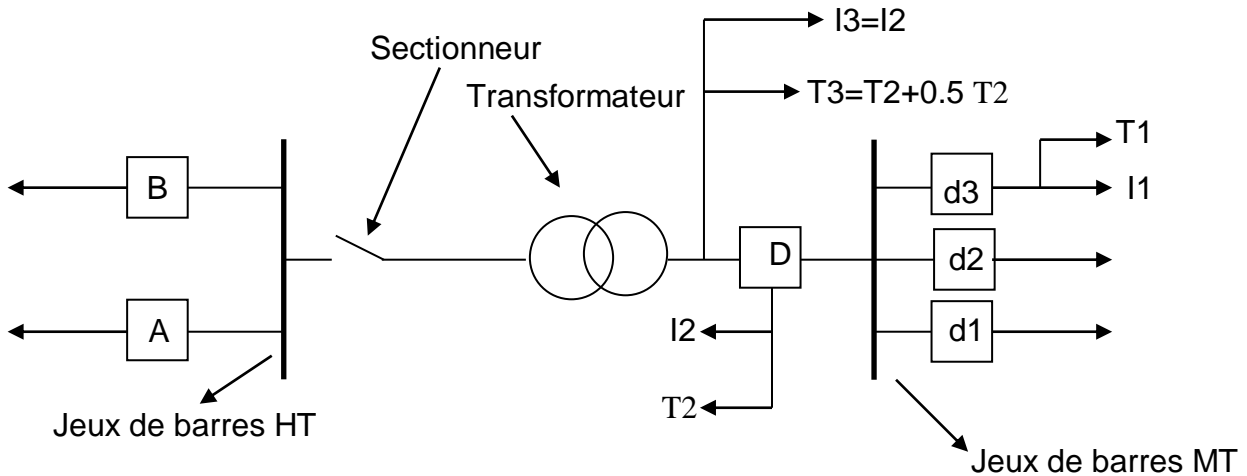


Figure 5.27 : Protection des jeux de barres

En cas de défaut polyphasé sur un départ MT, se sont les relais à maximum de courant qui doivent agir en provoquant l'ouverture du disjoncteur correspondant (d1 ou d2 ou d3).

- Si un défaut affecte le jeu 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 :

$$I_2 = I_1 + 0.1 I_1$$

$$T_2 = T_1 + 0.5 \text{ s}$$

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

3.3 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.

3.3.1 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

III.3.2 Protection différentielle

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

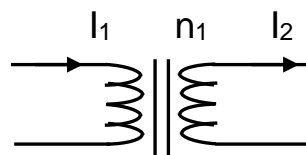


Figure 5.28 : Phase du transformateur

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 :

$$I_d = P \cdot I$$

- 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 $I_d > 8 I_r$.

3.3.3 Protection masse cuve

La protection ampermétrique 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.

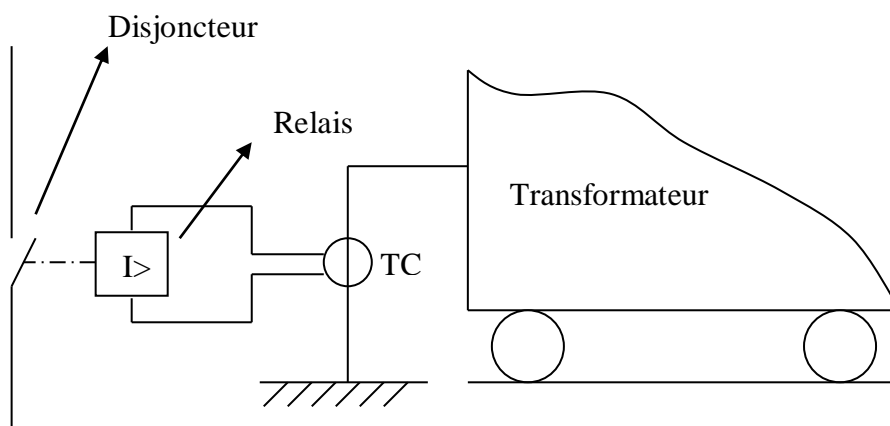


Figure 5.29 : Protection masse cuve

3.4 Protection des lignes électriques

3.4.1 Protection différentielle longitudinale

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

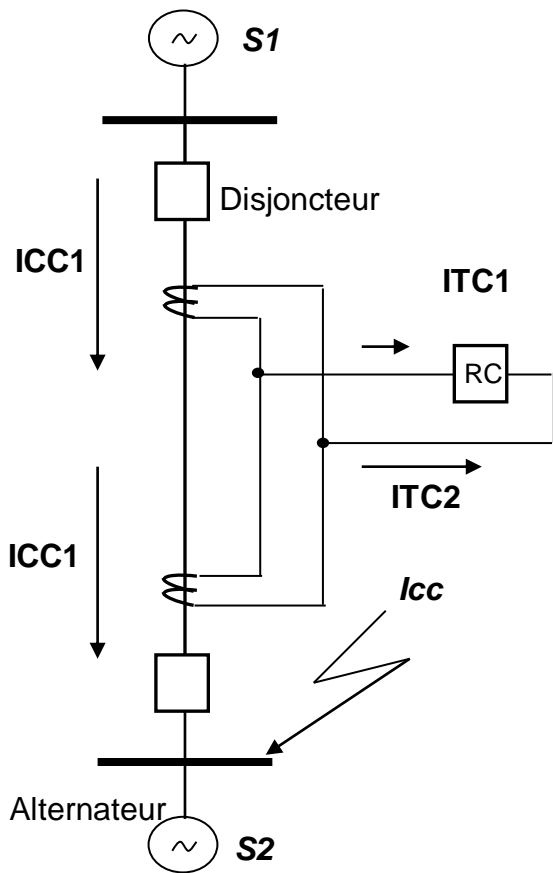


Figure 5.30

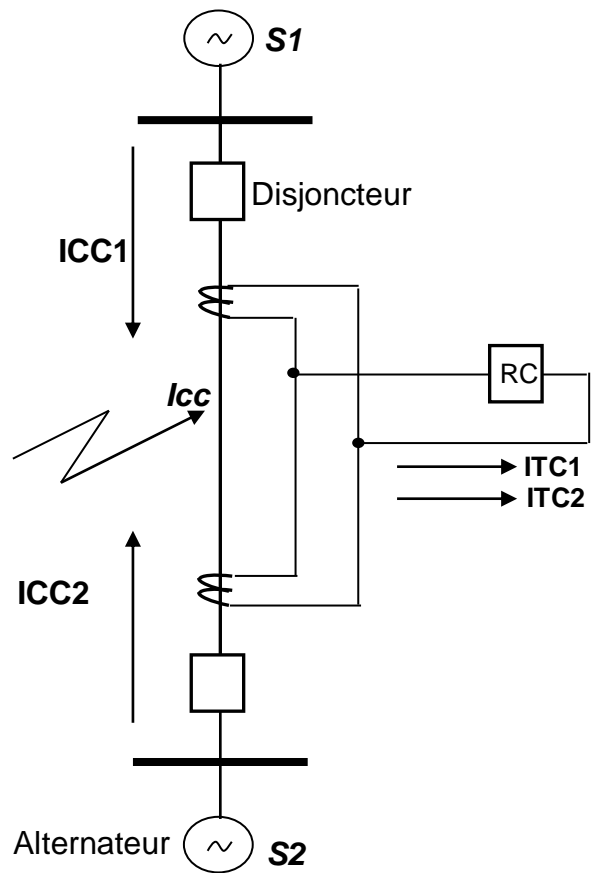


Figure 5.31

Sur la figure 3.28, le court-circuit est sur le 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 ($I(f)_{RC}=0$). La protection différentielle reste aveugle c-à-d ne fonctionne pas.

Sur la figure 3.29, 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 ($I(f)_{RC}= ITC1+ITC2$).

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.

$$I_f(R) = K_{séc} \cdot I_{né max}$$

Avec

$K_{séc}$ (de 1.3 à 1.4) Coefficient de sécurité

$I_{né max}$ Courant non équilibré maximal

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

Avec

K_t (de 0.5 à 1) Coefficient qui tient compte des TC

Fi (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 .

3.4.2 Protection différentielle transversale

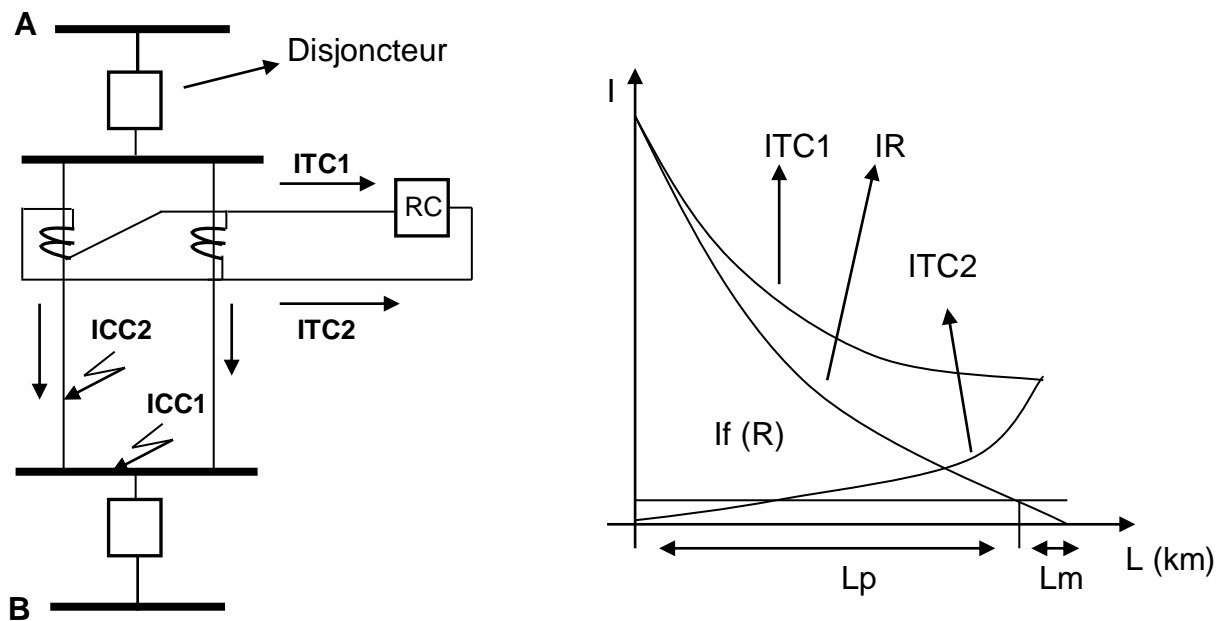


Figure 5.32 : Courant de court-circuit en fonction de la distance

- 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 ($I_m=10\%$ de I) où la protection n'agit pas car les courants de court-circuit sont pratiquement égaux.

3.4.3 Protection à maximum de courant directionnel

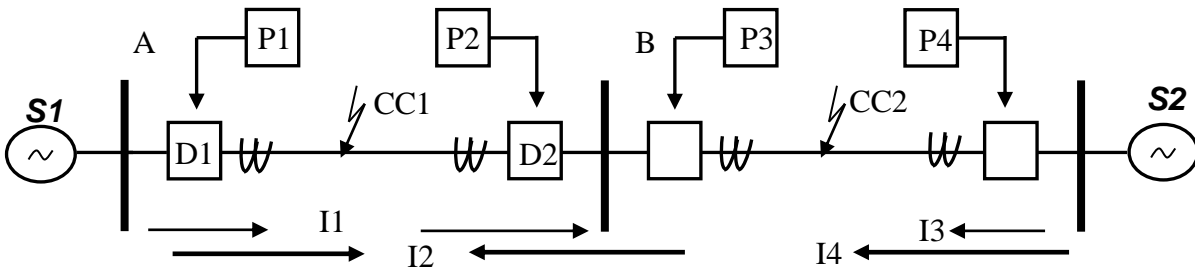


Figure 5.33 : Points de court-circuit

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

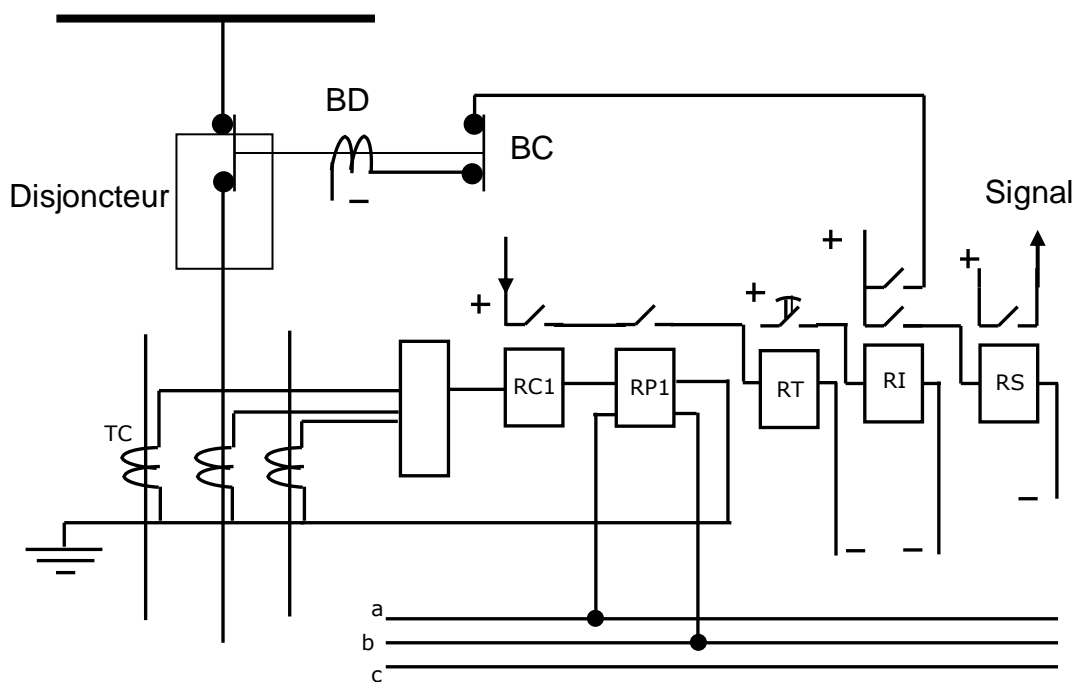


Figure 5.34 : Schéma de principe de la protection à maximum de courant directionnelle

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 agie pour un couple positif ou négatif).

3.4.4 Protection différentielle transversale directionnelle

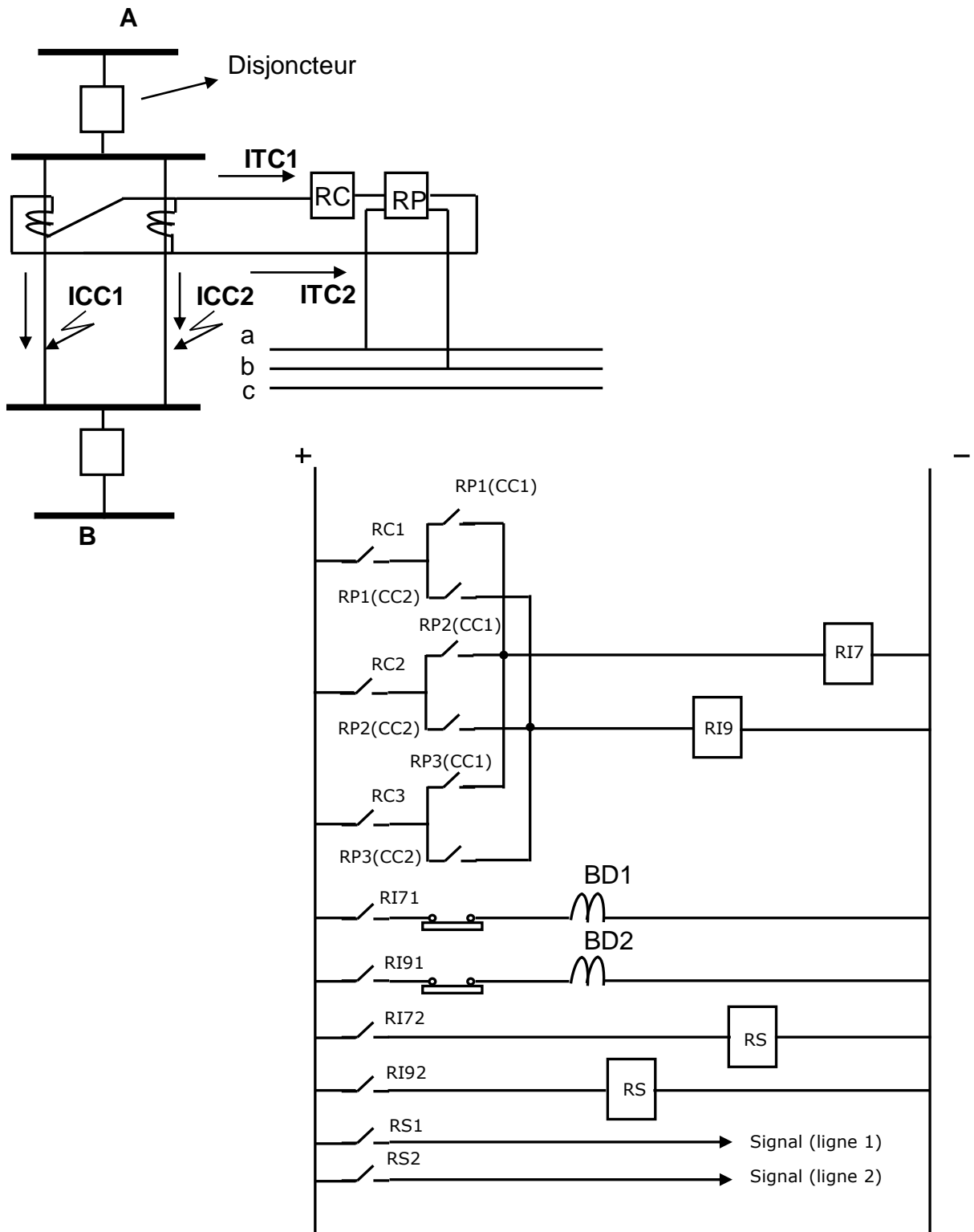


Figure 5.35 : Schéma de commande de la protection différentielle transversale directionnelle

Quand un court-circuit se produit au niveau de la ligne I1, 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 I1 qui se déclenche. Dans le cas ou c'est RP2(CC1) qui se ferme, la ligne I2 sera mise hors tension par l'ouverture du disjoncteur D2.

3.4.5 Réenclenchement automatique des lignes électriques de transport

3.4.5.1 Réenclenchement automatique d'une ligne électrique de transport alimentée par une seule source

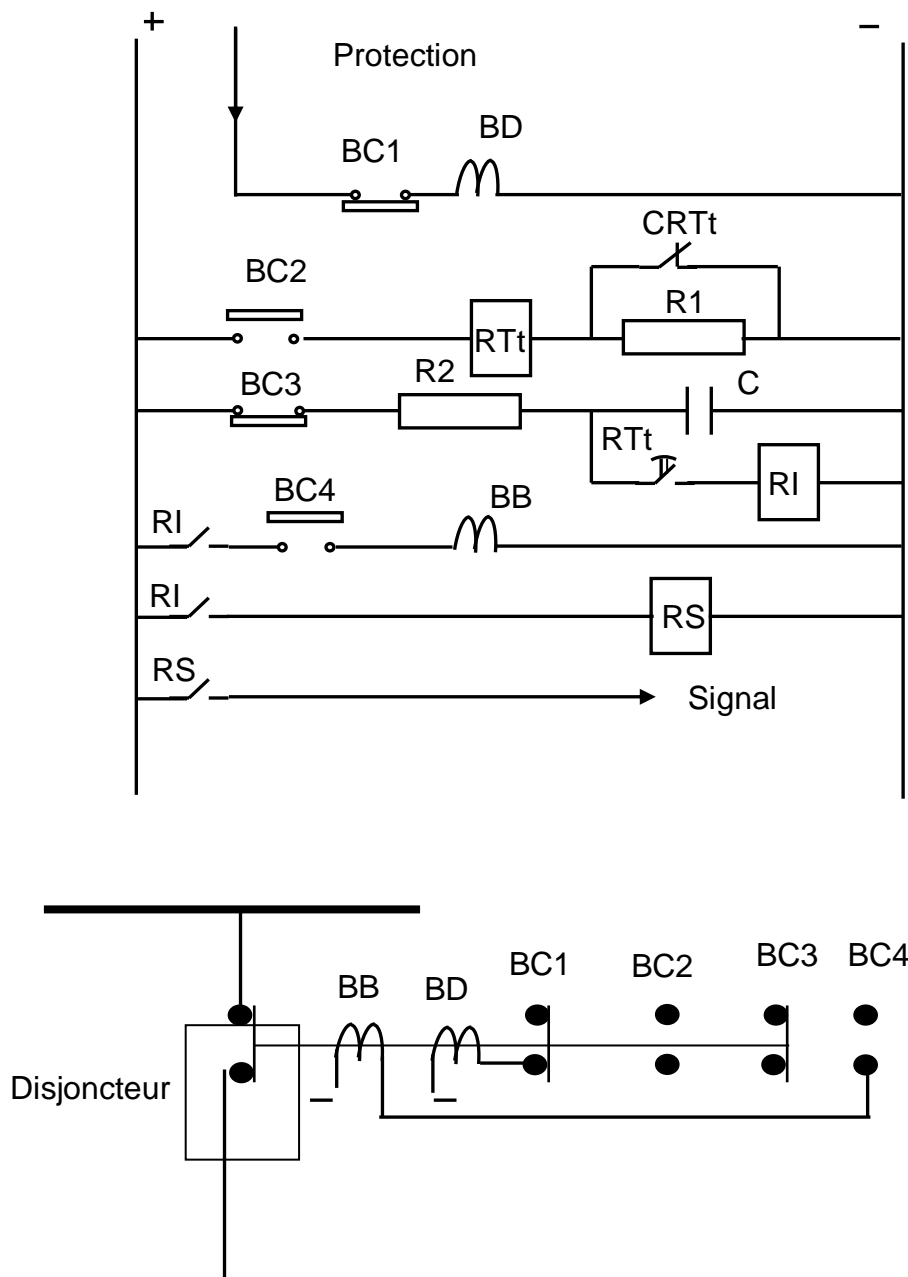


Figure 5.36 : Schéma de commande du réenclenchement automatique

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 désion