

Cahier Technique n°5

Protection des Lignes HTB



MICR O ENER

 Tel: 01 48 15 09 09 Fax : 01 43 05 08 24 info@microener.com	Les Cahiers Techniques de MICROENER PROTECTION DES LIGNES AERIENNES HTB	Cahier N°5 Rev. A Pag. 3 / 53
--	---	--

AVANT PROPOS	4
RAPPEL	4
TRANSPORT DE L'ENERGIE.....	4
EN ALTERNATIF	4
EN CONTINU.....	5
CONCLUSION	6
LES LIGNES AERIENNES	7
PROTECTIONS DE DISTANCE	9
ROLE D'UNE PROTECTION DE DISTANCE	9
DIAGRAMME TEMPS/DISTANCE	9
IMPEDANCES	11
PRINCIPAUX SCHEMAS DE TELEACTION	13
BANDE D'OSCILLATION DE PUISSANCE :	28
REGLAGE EN RESISTANCE :	28
PROTECTION DES LIGNES STRATEGIQUES	30
PRINCIPES DE MESURE	30
COMPARAISON ENTRE LES DIFFERENTS PRINCIPES DE MESURE :	32
DISPOSITIFS COMPLEMENTAIRES A LA PROTECTION DE DISTANCE.....	34
FUSION FUSIBLE	34
ENCLENCHEMENT SUR DEFAUT AVEC CONTROLE DE L'HARMONIQUE 2 DU COURANT	34
MEMOIRE DE TENSION	35
OSCILLATION DE PUISSANCE ET PERTE DE SYNCHRONISME	35
PROTECTIONS COMPLEMENTAIRES A LA PROTECTION DE DISTANCE.....	40
PROTECTION DE SECOURS PAR SURINTENSITE PHASES.....	40
PROTECTION DE SECOURS PAR SURINTENSITE PHASE-TERRE	41
PROTECTION DE SECOURS PAR SURINTENSITE DE COURANT INVERSE	52
PROTECTION A MAXIMUM DE TENSION	53
PROTECTION A MINIMUM DE TENSION	53
SUPERVISION DES CIRCUITS DE DECLENCHEMENT.....	53

 Tel: 01 48 15 09 09 Fax : 01 43 05 08 24 info@microener.com	Les Cahiers Techniques de MICROENER PROTECTION DES LIGNES AERIENNES HTB	Cahier N°5 Rev. A Pag. 4 / 53
--	--	--

Avant propos

La rédaction des éléments techniques présentée dans les pages suivantes a été faite à partir de documents faisant référence au début des années 2000. Bien qu'il n'y ait pas eu depuis cette date de modification majeure, il convient d'être prudent dans l'analyse des arguments techniques énoncés. En cas de doute ou d'ambiguïté, nous vous conseillons de vous rapprocher du gestionnaire du réseau électrique.

Rappel

En France il y a en moyenne 1 défaut par an pour 10 km de lignes.
 5% de ces défauts affectent les postes
 95% affectent les lignes
 80% sont des défauts monophasés (en France peu de fils de garde).
 10% sont des défauts triphasés
 3% sont des défauts évolutifs
 90% sont des défauts fugitifs

Les lignes HT sont protégées par des protections de distance, suivant le niveau de tension plusieurs systèmes peuvent être utilisés (Principal 1 & Principal 2).

Transport de l'énergie

En alternatif

Le niveau de tension utilisée pour le transport dépend de :

- la distance entre les postes (maximum 1 kV = 1 km)
- la puissance à transiter (maximum 600 A par conducteur en HTB)

La classification des niveaux de tension est en France

BT	MT ou HTA	HTB ou HT	THT
230-400 V	15-20 kV	63-90 kV	150-225-400 kV

Cette classification est valable dans tous les réseaux mondiaux avec leurs valeurs propres (ex THT Vénézuëla = 220-400-800 kV)

Actuellement l'énergie est transmise en courant alternatif (HT et THT) par des :

- lignes aériennes (HT et THT)
- câbles à isolement sec (HT et rares cas en THT)

A titre indicatif pour les lignes aériennes :

un conducteur Almélec 366² transite de 680 A (été) à 860 A (hiver)
 un conducteur Almélec 570² transite de 890 A (été) à 1130 A (hiver)

L'augmentation de la section ne permet pas d'augmenter proportionnellement le courant transité (effet de «périphérie»), d'où la nécessité de mettre plusieurs conducteurs par phases (en THT).

 Tel: 01 48 15 09 09 Fax : 01 43 05 08 24 info@microener.com	Les Cahiers Techniques de MICROENER PROTECTION DES LIGNES AERIENNES HTB	Cahier N°5 Rev. A Pag. 5 / 53
--	---	--

➤ Effet de « périphérie » ou pelliculaire

Lorsqu'un courant alternatif circule dans un conducteur le champ magnétique variable qu'il crée fait naître dans la masse de ce conducteur des forces électromotrices d'induction analogues à celles qui produisent les courants de Foucault.

L'effet de ces forces électromotrices d'induction est de s'opposer au passage du courant en profondeur, le courant ne passe qu'à la périphérie.

La section utile est diminuée $R_{alt} > R_{cc}$.

Cet effet pelliculaire, en Basse Fréquence, n'est sensible que pour les conducteurs à forte section.

En pratique, il n'y a pas de limitation à la longueur des lignes aériennes, la fréquence d'oscillation propre de la ligne diminuant avec l'augmentation de la longueur,

la fréquence d'oscillation de 50 Hz (qui poserait des problèmes de filtrage) n'est atteinte que pour une longueur $l > 1000$ km

De plus des dispositifs complémentaires (Réactance shunt, Compensateur d'Energie Réactive, Compensation Série) permettent de mieux adapter le transit (en tension, puissance et stabilité).

Les câbles ne sont actuellement utilisés, à quelques exceptions près, que pour le niveau de tension HT, ils ne seront évoqués ici que dans le cas des liaisons mixtes, où la longueur des câbles est très faible devant celle des lignes.

En continu

Les problèmes liés au courant alternatif disparaissent :

- capacité de transit supérieure
- maîtrise des échanges d'énergie entre réseaux
- indépendance des réseaux qu'elles interconnectent (différentes fréquences)
- possibilité d'utiliser des câbles de grande longueur
- coût de réalisation de la liaison plus réduite

De plus la technique de réalisation de telles liaisons est bien maîtrisée.

Par contre le coût de réalisation des stations de conversion en limite l'utilisation à des cas spécifiques :

- dos à dos pour réseau non synchrone (ex : Itaïpu, Brésil en 60 Hz, Paraguay en 50 Hz).
- liaison par câbles impératifs de forte puissance (ex : IFA 2000 France- Angleterre).
- interconnexion de 2 Réseaux alimentés par des liaisons très longues en alternatif (ex : Chandrapur en Inde).

 Tel: 01 48 15 09 09 Fax : 01 43 05 08 24 info@microener.com	Les Cahiers Techniques de MICROENER PROTECTION DES LIGNES AERIENNES HTB	Cahier N°5 Rev. A Pag. 6 / 53
--	--	--

Conclusion

Avec les contraintes actuelles, on peut supposer que durant la prochaine décennie, la transmission de l'énergie continuera à se faire par liaison à courant alternatif, les lignes aériennes seront largement utilisées, les câbles secs seront limités à une tension maximum correspondant à la «HT» (sauf cas particuliers).

On peut penser que pour des raisons écologiques l'utilisation des câbles se généralisera pour $U < 100 \text{ kV}$.

➤ Valeurs d'impédances à mémoriser

Bien que la section du conducteur intervienne, ainsi que la configuration géométrique du pylône, pour les calculs d'ordre de grandeur, les valeurs ci-dessous pour les lignes aériennes pourront être retenues.

En valeur HT :

$Z_d = 0.1 + j 0.4 \Omega/\text{km}$ (impédance directe)

$Z_o/Z_d = 3$ (rapport de l'impédance homopolaire sur l'impédance directe)

L'impédance HT d'une ligne de longueur, exprimée en km, sera donc :

$Z_{dl} = [(0.1 + j 0.4) \times \text{long}] \Omega$

Elle devra de plus pouvoir servir de secours pour les protections «adjacentes»

MICROENER Tel: 01 48 15 09 09 Fax : 01 43 05 08 24 info@microener.com	Les Cahiers Techniques de MICROENER PROTECTION DES LIGNES AERIENNES HTB	Cahier N°5 Rev. A Pag. 7 / 53
---	--	--

Les lignes aériennes

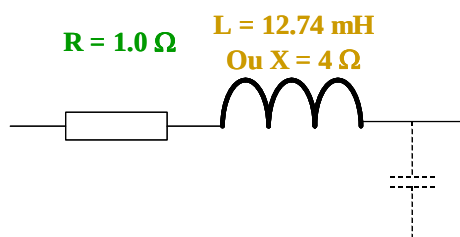
Par simplification, la ligne aérienne est modélisée par une résistance et une inductance, les 3 phases sont supposées être identiques (capacité et isolement par rapport à la terre négligée) :

➤ Exemple :

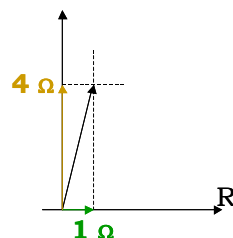
Ligne de 10 km et de caractéristiques $Z_d = 0.1 + j 0.4 \Omega/\text{km}$, soit une Résistance de 1Ω et une Réactance de 4Ω (ou inductance à 50 Hz de 12.74 mH). La capacité par rapport au sol est négligée.

La ligne est schématisée par :

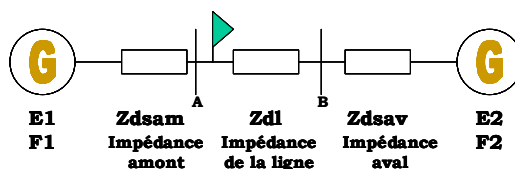
a) Schéma équivalent



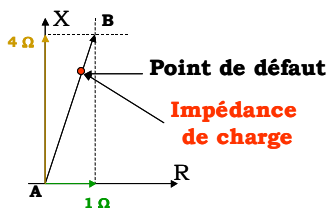
b) Diagramme RX



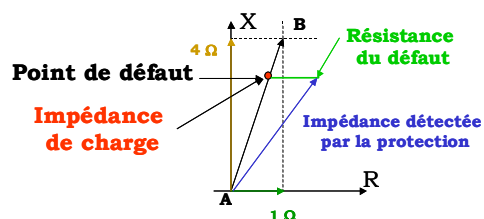
c) Par rapport au Réseau



➤ Détection d'un défaut non résistant sur une ligne :



➤ Détection d'un défaut résistant sur une ligne :



 Tel: 01 48 15 09 09 Fax : 01 43 05 08 24 info@microener.com	Les Cahiers Techniques de MICROENER PROTECTION DES LIGNES AERIENNES HTB	Cahier N°5 Rev. A Pag. 8 / 53
--	--	--

➤ Longueur de ligne :

Intuitivement, on comprend qu'une ligne de :

- quelques kilomètres est «courte».
- une cinquantaine de kilomètres est «normale».
- deux cents kilomètres est «longue».
- cinq cents kilomètres est «très longue».

Electriquement, la classification est plus précise : elle fait appel à des valeurs HT ou BT :

- Une ligne est «courte» lorsqu'il faut prendre des précautions au niveau :
 - Du réglage BT de la Zone 1.
 - Du ratio Impédance de source / Réglage Zone 1 (S.I.R.).
 - Des résistances d'arc et défaut détectables.
- Une ligne est «normale» lorsqu'il ne faut pas prendre de précautions spéciales.
- Une ligne est «longue» lorsqu'il faut prendre des précautions au niveau :
 - Du réglage de la Zone Oscillation de Puissance.
 - De l'impédance de service.
- Une ligne est «très longue» lorsqu'il faut prendre des précautions au niveau :
 - De la stabilité du réseau.
 - Des réglages des Zones et de la sensibilité de la protection de distance.
- Une ligne très longue amène à l'utilisation d'une compensation :

➤ Ligne aérienne compensée « série »

Dans le cas de lignes très longues, pour réduire «fictivement» la réactance de ligne permettant une meilleure stabilité (et modifier la constante de propagation et la fréquence propre d'oscillation de la ligne, $f_0 = 1 / (2 \pi \sqrt{LC})$) on dispose en série avec la ligne des capacités.

Celles-ci sont généralement placées à chaque extrémité de ligne et «compensent» chacune entre 15 & 30 % de la réactance de ligne, soit une «compensation» totale de 30 à 60 %.

Ce cas ne sera plus évoqué par la suite, contrairement aux précautions à prendre qui feront l'objet de chapitres particuliers.

 Tel: 01 48 15 09 09 Fax : 01 43 05 08 24 info@microener.com	Les Cahiers Techniques de MICROENER PROTECTION DES LIGNES AERIENNES HTB	Cahier N°5 Rev. A Pag. 9 / 53
--	--	--

Protections de distance

Rôle d'une protection de distance

Alimentée localement par des réducteurs de mesure qui lui fournissent l'image du réseau, en cas de présence de défaut électrique dans sa zone de surveillance, le rôle d'une protection est de détecter celui-ci et de commander le disjoncteur qui éliminera le défaut.

Les défauts ont des causes diverses :

- Foudre
- Conditions climatiques
- Séismes
- Feux de brousse
- Mécaniques (chute d'un pylône)
- Vieillessement du matériel
- Thermiques

Il sera demandé à la protection de distance d'être :

- Sélective (éliminer le seul tronçon en défaut)
- Rapide (protéger le matériel et poursuivre la continuité de service), avec l'assistance d'éléments extérieurs (téléaction)
- Fiable (en permanence disponible ou signaler, le cas échéant, sa défaillance)
- Fidèle (conserver dans le temps ses caractéristiques)
- Précise (connaissance de sa marge d'erreur)
- Indépendante de la configuration du réseau (qui est modifiable de par son exploitation) donc adaptable.
- Insensible aux anomalies du réseau auxquelles elle n'est pas destinée (ex : surcharge)
- La plus sensible possible (courant de défaut faible)
- La moins exigeante possible en ce qui concerne son alimentation par les TC & TP (régime transitoire)

Diagramme Temps/Distance

➤ Définitions :

C'est la relation entre la distance du défaut et le temps de déclenchement de la protection

Pour les protections de distance, on ne parle plus de temps de fonctionnement mais de **stade**.

Mesure des distances : L'impédance d'une ligne est directement proportionnelle à sa longueur :

$$Z_d = l \times z_d$$

En l'absence de défaut, les réducteurs de mesure mesurent l'impédance de service :

$$Z_s = U_s / I_s$$

En cas de défaut, l'impédance mesurée correspond au point de défaut et est égale au rapport entre la tension de la boucle en défaut et le courant de défaut.

$$Z_f = U_f / I_f$$

Pour un défaut isolé ab : $Z_{ab} = U_{ab} / I_{ab}$

MICROENER Tel: 01 48 15 09 09 Fax : 01 43 05 08 24 info@microener.com	Les Cahiers Techniques de MICROENER PROTECTION DES LIGNES AERIENNES HTB	Cahier N°5 Rev. A Pag. 10 / 53
---	--	---

En HT, la notion de distance est remplacé par la notion de **zone** (nb= 4 pour chaque type de défaut soit 24 éléments)

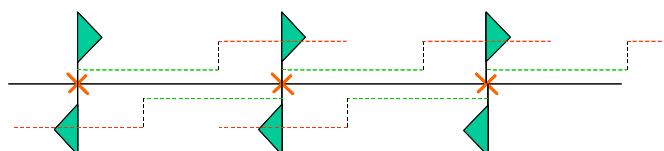
➤ Avantage de mesurer l'impédance:

La protection de distance est sensible aux défauts inférieurs au courant de service (charge) de la ligne.

➤ Inconvénient de mesurer l'impédance:

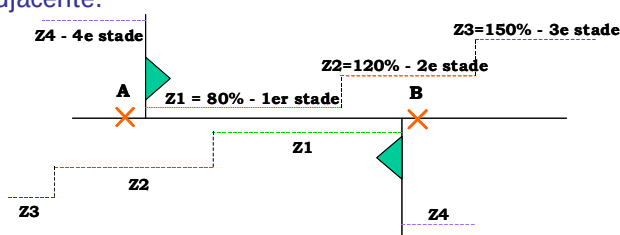
L'impédance de service limite la possibilité de détection des défauts résistants (50 à 300 Ω HT)

➤ Exemple 1 : diagramme Temps/Distance



Sélectivité :

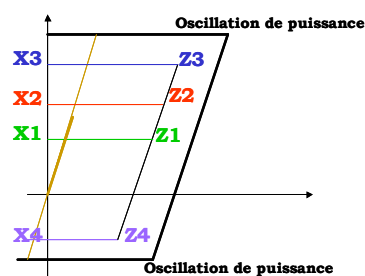
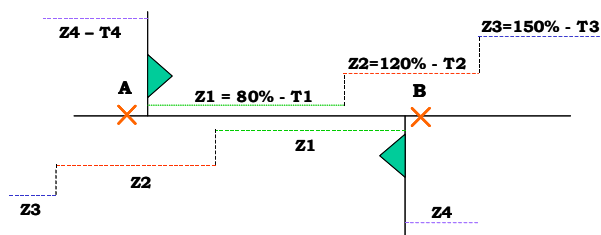
Chaque protection est le secours de la protection adjacente.



➤ Exemple 2 diagramme Temps/Distance

Temps = Stade

Distance = Zone



 Tel: 01 48 15 09 09 Fax : 01 43 05 08 24 info@microener.com	Les Cahiers Techniques de MICROENER PROTECTION DES LIGNES AERIENNES HTB	Cahier N°5
		Rev. A Pag. 11 / 53

Impédances

➤ Impédance de service Zs :

Les TC et TP mesurent en permanence des courants et tension correspondant à la charge normale de la ligne. La protection de distance doit être insensible à Zs (Zs doit être à l'extérieur de la caractéristique de limitation de la protection de distance).

$$Z_s = \text{impédance minimale de service} = U_{\text{mini}} / (\sqrt{3}) \times I_{\text{maxi}}$$

En absence de valeur, on prendra $U_{\text{mini}} = 0.85 U_n$ et $I_{\text{maxi}} = 2 I_n$ (report de charge)

➤ Impédance BT :

La valeur de référence de ligne de $0.1 + j 0.4 \Omega/\text{km}$ est une valeur HT (réseau), relativement indépendante du niveau de tension. Le réglage des zones (à minimum d'impédance) se fera en valeur BT, en tenant compte des rapports TC & TP.

$$\text{Rapport d'impédance : } K_Z = K_U / K_I$$

Dans laquelle :

K_U = rapport de transformation tension.

K_I = rapport de transformation courant.

➤ Exemple :

Ligne 60 kV de longueur 10 km et d'impédance

$$Z = 0.1 + j 0.4 \Omega/\text{km},$$

$$\text{rapport de TP} = (60000 / \sqrt{3}) / (100 / \sqrt{3}) \text{ V},$$

$$\text{rapport de TC} = 500 / 1 \text{ A}$$

Impédance HT de la ligne :

$$\begin{aligned} Z_{HT} &= 10 \times (0.1 + j 0.4) \\ &= \sqrt{1^2 + 4^2} \\ &= 4.123 \Omega \end{aligned}$$

Rapports de transformation :

$$K_U = 60000 / 100 = 600$$

$$K_I = 500 / 1 = 500$$

$$K_Z = 600 / 500 = 1.2$$

Impédance BT de la ligne :

$$\begin{aligned} Z_{BT} &= Z_{HT} / K_Z \\ &= 4.123 / 1.2 \\ &= 3.436 \Omega \end{aligned}$$

Les réglages de Zones seront pris par rapport à cette valeur.

 Tel: 01 48 15 09 09 Fax : 01 43 05 08 24 info@microener.com	Les Cahiers Techniques de MICROENER PROTECTION DES LIGNES AERIENNES HTB	Cahier N°5
		Rev. A Pag. 12 / 53

La protection de distance mesure une impédance Z_d (impédance directe), cette référence est satisfaisante pour les défauts triphasés mais doit être corrigée pour les défauts à la terre.

➤ Coefficient de terre K_o :

Soit un défaut monophasé ϕA mesuré par la protection :

La protection étant auto-polarisée, elle mesure la tension V_1 et le courant I_1 pour la phase A, par application des composantes symétriques :

$$V_1 = V_d + V_i + V_o \\ = Z_d I_d + Z_i I_i + Z_o I_o$$

$$I_1 = I_d + I_i + I_o$$

$$\text{d'où } I_d + I_i = I_1 - I_o$$

$$I_r = 3 I_o, \text{ et pour une ligne } Z_d = Z_i$$

$$V_1 = Z_d (I_d + I_i) + Z_o I_o \\ = Z_d (I_1 - I_o) + Z_o I_o \\ = Z_d [I_1 - (I_r/3)] + Z_o (I_r/3) \\ = Z_d [(I_1 - I_r/3) + Z_o (I_r/3Z_d)] \\ = Z_d [I_1 + I_r (Z_o - Z_d) / 3Z_d]$$

En posant :

$$K_o = (Z_o - Z_d) / 3 Z_d$$

$$V_1 = Z_d [I_1 + K_o I_r]$$

D'où

$$Z_d = V_1 / (I_1 + K_o I_r)$$

L'expression se généralise sous la forme :

$$Z_d = V_{\text{phase-neutre}} / (I_{\text{phase}} + K_o I_r)$$

ou suivant la formule de certains constructeurs :

$$Z_d = V_{\text{phase-neutre}} / (I_{\text{phase}} + 3 K_o I_o)$$

Nota: Certains constructeurs de protection expriment les défauts à la terre avec :

$$K_o = Z_o / Z_d \\ = (Z_o - Z_d) / 3 Z_d \\ = (Z_o / 3 Z_d) - (Z_d / 3 Z_d) \\ = 1/3 [(Z_o/Z_d) - 1]$$

Pour une ligne aérienne (sans fil de garde)

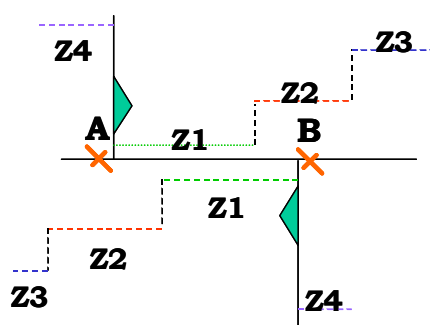
$$Z_o \cong 3 Z_d, \text{ d'où } K_o \cong 0.67$$

MICROENER Tel: 01 48 15 09 09 Fax : 01 43 05 08 24 info@microener.com	Les Cahiers Techniques de MICROENER PROTECTION DES LIGNES AERIENNES HTB	Cahier N°5 Rev. A Pag. 13 / 53
---	--	---

Principaux schémas de téléaction

Schéma de base

➤ Pas de schéma de téléaction (ou dispositif de téléaction inopérant).



Le défaut est exprimé en % de la ligne AB à partir de A

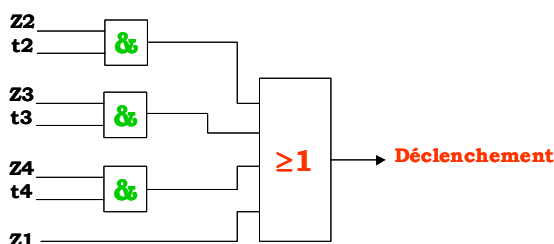
Défaut < à 20% : Déclenchement en A en 1^{er} stade, Déclenchement en B en 2^{ème} stade.

Défaut entre 20% et 80% : Déclenchement en A en 1^{er} stade, Déclenchement en B en 1^{er} stade.

Défaut > à 80% : Déclenchement en A en 2^{ème} stade, Déclenchement en B en 1^{er} stade.

Défaut extérieur à la ligne AB : Déclenchement par protections adjacentes en principal et par les protections de la ligne AB en stade de secours (2^{ème} stade, 3^{ème} stade, 4^{ème} stade).

Logique de déclenchement :



$$\text{Déclenchement} = Z1 + Z2t2 + Z3t3 + Z4t4$$

Avantages :

Système sélectif indépendant
 Protections servant de secours pour les protections des lignes adjacentes

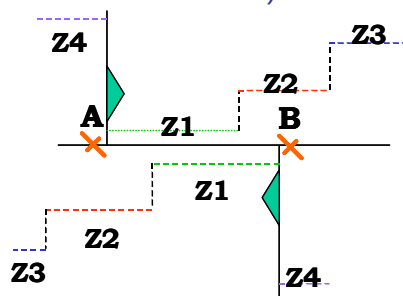
Inconvénient :

Déclenchement séquentiel (stade 1 ou 2) suivant position de défaut

MICROENER Tel: 01 48 15 09 09 Fax : 01 43 05 08 24 info@microener.com	Les Cahiers Techniques de MICROENER PROTECTION DES LIGNES AERIENNES HTB	Cahier N°5 Rev. A Pag. 14 / 53
---	--	---

Schéma PUTT

➤ «Permissive Under-reaching Direct intertripping»
 (Autorisation, réglage $Z1 < Z_{\text{ligne}}$, interdéclenchement direct)



Le défaut est exprimé en % de la ligne AB à partir de A

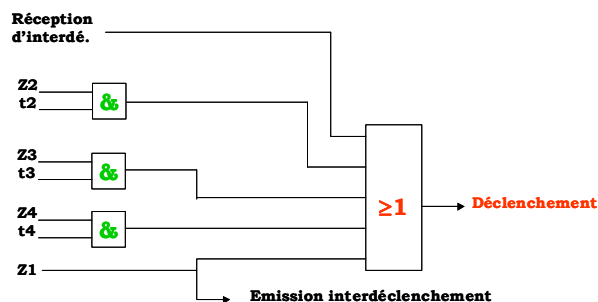
Défaut < à 20% : Déclenchement en A en 1^{er} stade, envoi d'un ordre direct de déclenchement en B.
 Déclenchement en B à réception du signal de déclenchement de A.

Défaut entre 20% et 80% : Déclenchement en A en 1^{er} stade, envoi d'un ordre direct de déclenchement en B.
 Déclenchement en B en 1^{er} stade, envoi d'un ordre direct de déclenchement en A.

Défaut > à 80% : Déclenchement en B en 1^{er} stade, envoi d'un ordre direct de déclenchement en A.
 Déclenchement en A à réception du signal de déclenchement de B.

Défaut extérieur à la ligne AB : Déclenchement par protections adjacentes en principal et par les protections de la ligne AB en stade de secours (2^{ème} stade, 3^{ème} stade, 4^{ème} stade).

Logique de déclenchement :



$\text{Déclenchement} = Z1 + Z2t2 + Z3t3 + Z4t4 + \text{Réception ordre interdéclenchement}$

Avantages :

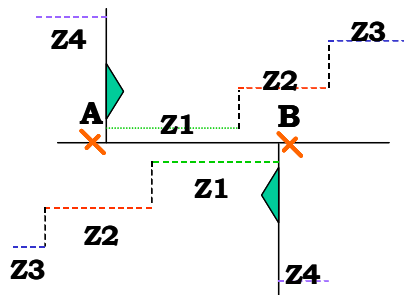
Fonctionnement non dégradé en cas d'anomalie de transmission.
 Insensible à l'alimentation autre extrémité.

Inconvénients :

Pas de contrôle local de l'ordre (risque d'intempestifs).
 Utilisation délicate sur schémas particuliers de réseau (poste en T).
 Utilisation impossible sur lignes très courtes (POTT nécessaire).
 Emission de l'ordre d'interdéclenchement sur la ligne en défaut.

MICROENER Tel: 01 48 15 09 09 Fax : 01 43 05 08 24 info@microener.com	Les Cahiers Techniques de MICROENER PROTECTION DES LIGNES AERIENNES HTB	Cahier N°5 Rev. A Pag. 15 / 53
---	--	---

➤ «Permissive Under-reaching Permissive intertripping»
 (Autorisation, réglage $Z1 < Z_{\text{ligne}}$, interdéclenchement contrôlé)



Le défaut est exprimé en % de la ligne AB à partir de A

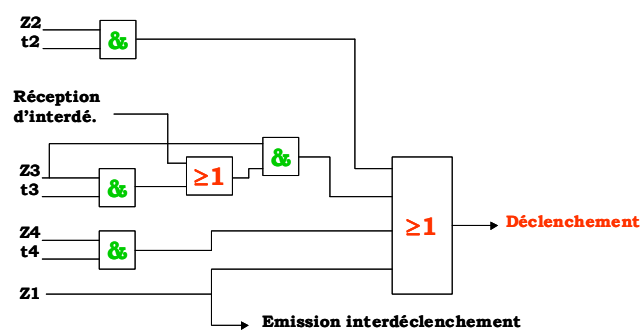
Défaut < à 20% : Déclenchement en A en 1^{er} stade, ordre direct de déclenchement en B. Déclenchement en B en 1^{er} stade + temps de téléaction, si réception de l'ordre direct de déclenchement de A et mise en route Z3 de B.

Défaut entre 20% et 80% : Déclenchement en A en 1^{er} stade, envoi d'un ordre direct de déclenchement en B. Déclenchement en B en 1^{er} stade, envoi d'un ordre direct de déclenchement en A.

Défaut > à 80% : Déclenchement en B en 1^{er} stade, envoi d'un ordre direct de déclenchement en A. Déclenchement en A en 1^{er} stade + temps de téléaction, si réception de l'ordre direct de déclenchement de B et mise en route Z3 de A.

Défaut extérieur à la ligne AB: Déclenchement par protections adjacentes en principal et par les protections de la ligne AB en stade de secours (2^{ème} stade, 3^{ème} stade, 4^{ème} stade).

Logique de déclenchement :



$$\text{Déclenchement} = Z1 + Z2t2 + Z3(\text{Réception ordre interdéclenchement} + t3) + Z4t4$$

Avantages :

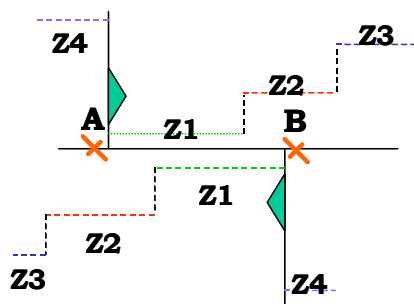
Fonctionnement non dégradé en cas d'anomalie de transmission.
 Insensible à l'alimentation autre extrémité.
 Contrôle local de l'ordre.

Inconvénients :

Utilisation délicate sur schémas particuliers de réseau (poste en T).
 Utilisation impossible sur lignes très courtes (POTT nécessaire).
 Emission de l'ordre d'interdéclenchement sur la ligne en défaut.

MICROENER Tel: 01 48 15 09 09 Fax : 01 43 05 08 24 info@microener.com	Les Cahiers Techniques de MICROENER PROTECTION DES LIGNES AERIENNES HTB	Cahier N°5 Rev. A Pag. 16 / 53
---	--	---

➤ «Permissive Under-reaching Step acceleration»
 (Autorisation, réglage $Z1 < Z_{\text{ligne}}$, accélération de stade)



Le défaut est exprimé en % de la ligne AB à partir de A

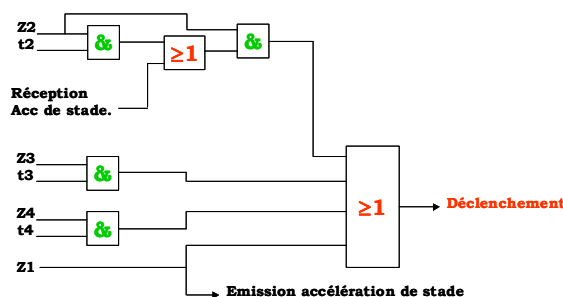
Défaut $< \text{à } 20\%$: Déclenchement en A en 1^{er} stade, envoi d'un ordre d'accélération de stade en B. Déclenchement en B en 1^{er} stade + temps de téléaction, à réception de l'ordre d'accélération de stade de A, qui court-circuitera $t2$ de B.

Défaut entre 20% et 80% : Déclenchement en A en 1^{er} stade, envoi d'un ordre d'accélération de stade en B, qui court-circuitera $t2$ de B. Déclenchement en B en 1^{er} stade, envoi d'un ordre d'accélération de stade en A, qui court-circuitera $t2$ de A.

Défaut $> \text{à } 80\%$: Déclenchement en B en 1^{er} stade, envoi d'un ordre d'accélération de stade en A. Déclenchement en A en 1^{er} stade + temps de téléaction, à réception de l'ordre d'accélération de stade de B, qui court-circuitera $t2$ de A.

Défaut extérieur à la ligne AB: Déclenchement par protections adjacentes en principal et par les protections de la ligne AB en stade de secours (2^{ème} stade, 3^{ème} stade, 4^{ème} stade).

Logique de déclenchement :



Déclenchement = $Z1 + Z2(\text{Réception ordre accélération de stade} + t2) + Z3t3 + Z4t4$

Avantages :

Fonctionnement non dégradé en cas d'anomalie de transmission.
 Insensible à l'alimentation autre extrémité.
 Contrôle local de l'ordre

Inconvénients :

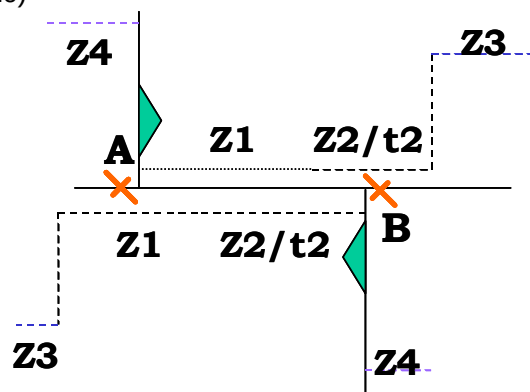
Utilisation délicate sur schémas particuliers de réseau (poste en T).
 Utilisation impossible sur lignes très courtes (POTT nécessaire).
 Emission de l'ordre d'interdéclenchement sur la ligne en défaut.

MICROENER Tel: 01 48 15 09 09 Fax : 01 43 05 08 24 info@microener.com	Les Cahiers Techniques de MICROENER PROTECTION DES LIGNES AERIENNES HTB	Cahier N°5 Rev. A Pag. 17 / 53
---	--	---

Schéma POTT

➤ « Permissive Over-reaching Transfer Trip »

(Autorisation, réglage $Z1 > Z_{\text{ligne}}$)



Le défaut est exprimé en % de la ligne AB à partir de A

Défaut < à 20% : Déclenchement en A en 1^{er} stade + temps de téléaction après réception d'autorisation de B, envoi d'un ordre d'autorisation de déclenchement en B.

Déclenchement en B en 1^{er} stade + temps de téléaction après réception d'autorisation de A, envoi d'un ordre d'autorisation de déclenchement en B.

Défaut entre 20% et 80% : Déclenchement en A en 1^{er} stade + temps de téléaction après réception d'autorisation de B, envoi d'un ordre d'autorisation de déclenchement en B.

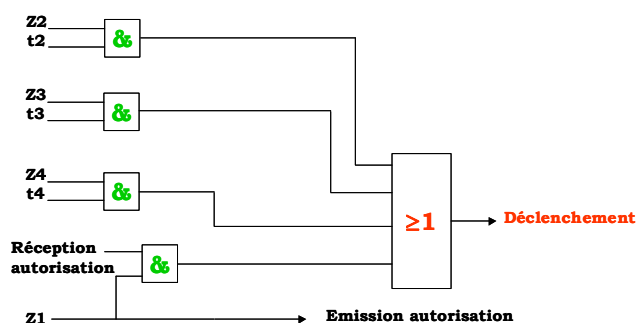
Déclenchement en B en 1^{er} stade + temps de téléaction après réception d'autorisation de A, envoi d'un ordre d'autorisation de déclenchement en A.

Défaut > à 80% : Déclenchement en B en 1^{er} stade + temps de téléaction après réception d'autorisation de A, envoi d'un ordre d'autorisation de déclenchement en A.

Déclenchement en A en 1^{er} stade + temps de téléaction après réception d'autorisation de B, envoi d'un ordre d'autorisation de déclenchement en B.

Défaut extérieur à la ligne AB : Déclenchement par protections adjacentes en principal et par les protections de la ligne AB en stade de secours (2^{ème} stade, 3^{ème} stade, 4^{ème} stade).

Logique de déclenchement :



Déclenchement = $Z1 \cdot \text{Réception ordre autorisation} + Z2t2 + Z3t3 + Z4t4$

 Tel: 01 48 15 09 09 Fax : 01 43 05 08 24 info@microener.com	Les Cahiers Techniques de MICROENER PROTECTION DES LIGNES AERIENNES HTB	Cahier N°5 Rev. A Pag. 18 / 53
--	---	---

Avantages :

Utilisation pour lignes très courtes ou réduire S.I.R (Z1 sera réglée pour $SIR < 30$).

Utilisation pour lignes très courtes à résistance d'arc élevée.

Utilisation sur réseaux à incertitude de caractéristiques (impédances, longueur).

Même temps d'élimination pour tous les défauts sur la ligne.

Insensible à l'indétermination des caractéristiques (67N).

Inconvénients :

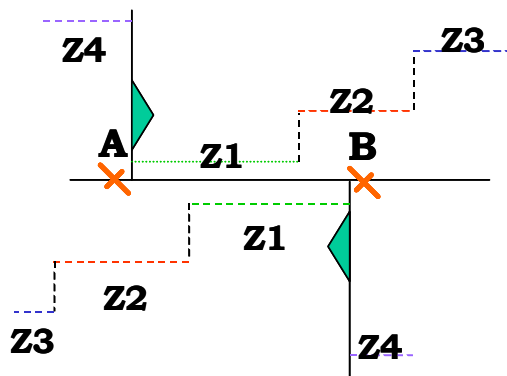
Tributaire de la liaison, quelle que soit la position du défaut.

Sensible à l'alimentation autre extrémité («weak infeed»).

Emission sur la ligne en défaut.

MICROENER Tel: 01 48 15 09 09 Fax : 01 43 05 08 24 info@microener.com	Les Cahiers Techniques de MICROENER PROTECTION DES LIGNES AERIENNES HTB	Cahier N°5 Rev. A Pag. 19 / 53
---	--	---

➤ « Permissive Over-reaching by zone 2, Independant Z1 »
 (Autorisation par Z2, réglage indépendant Z1 < Zligne)



Le défaut est exprimé en % de la ligne AB à partir de A

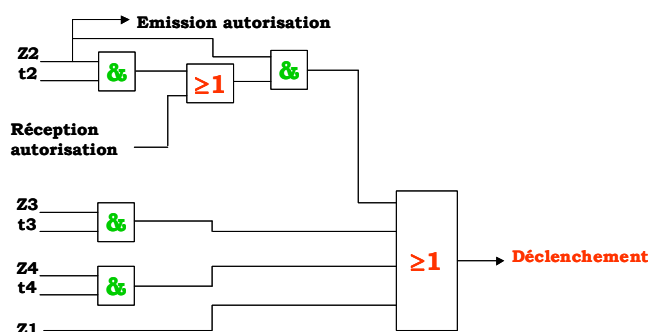
Défaut < à 20% : Déclenchement en A en 1^{er} stade, envoi d'un ordre d'autorisation par Z2 de A en B.
 Déclenchement en B en 1^{er} stade + temps de téléaction, à réception de l'ordre d'autorisation de A, qui validera Z2 de B.

Défaut entre 20% et 80% : Déclenchement en A en 1^{er} stade, envoi d'un ordre d'autorisation par Z2 de A en B.
 Déclenchement en B en 1^{er} stade, envoi d'un ordre d'autorisation par Z2 de B en A.

Défaut > à 80% : Déclenchement en B en 1^{er} stade, envoi d'un ordre d'autorisation par Z2 de B en A.
 Déclenchement en A en 1^{er} stade + temps de téléaction, à réception de l'ordre d'autorisation de B, qui validera Z2 de A.

Défaut extérieur à la ligne AB : Déclenchement par protections adjacentes en principal et par les protections de la ligne AB en stade de secours (2^{ème} stade, 3^{ème} stade, 4^{ème} stade).

Logique de déclenchement :



$\text{Déclenchement} = Z1 + Z2(\text{Réception ordre autorisation} + t2) + Z3t3 + Z4t4$

Avantages :

Même temps d'élimination pour tous les défauts sur la ligne.
 Insensible à l'indétermination des caractéristiques (67N).
 N'est pas tributaire de la liaison, pour certaines positions du défaut.

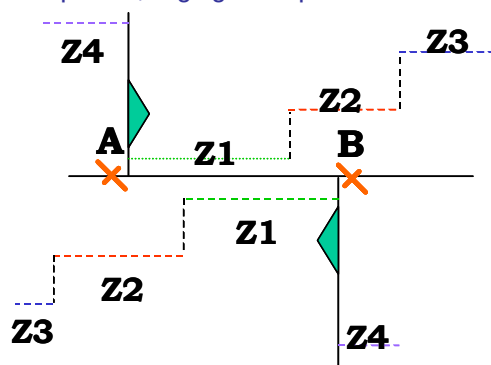
Inconvénients :

Sensible à l'alimentation autre extrémité («weak infeed»).
 Emission sur la ligne en défaut

MICROENER Tel: 01 48 15 09 09 Fax : 01 43 05 08 24 info@microener.com	Les Cahiers Techniques de MICROENER PROTECTION DES LIGNES AERIENNES HTB	Cahier N°5 Rev. A Pag. 20 / 53
---	--	---

Comparaison Directionnelle (Schéma POTT)

➤ Permissive Over-reaching by zone 3, Independent Z1
(Comparaison directionnelle, Autorisation par Z3, réglage indépendant Z1 < Zligne)



Le défaut est exprimé en % de la ligne AB à partir de A

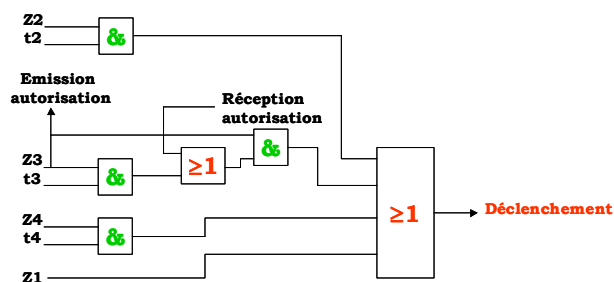
Défaut < à 20% : Déclenchement en A en 1^{er} stade, envoi d'un ordre d'autorisation par Z3 de A en B.
Déclenchement en B en 1^{er} stade + temps de téléaction, à réception de l'ordre d'autorisation de A, qui validera Z3 de B.

Défaut entre 20% et 80% : Déclenchement en A en 1^{er} stade, envoi d'un ordre d'autorisation par Z3 de A en B.
Déclenchement en B en 1^{er} stade, envoi d'un ordre d'autorisation par Z3 de B en A.

Défaut > à 80% : Déclenchement en B en 1^{er} stade, envoi d'un ordre d'autorisation par Z3 de B en A.
Déclenchement en A en 1^{er} stade + temps de téléaction, à réception de l'ordre d'autorisation de B, qui validera Z3 de A.

Défaut extérieur à la ligne AB, : Déclenchement par protections adjacentes en principal et par les protections de la ligne AB en stade de secours (2^{ème} stade, 3^{ème} stade, 4^{ème} stade).

Logique de déclenchement :



$$\text{Déclenchement} = Z1 + Z2t2 + Z3(\text{Réception ordre autorisation} + t3) + Z4t4$$

Avantages :

Même temps d'élimination pour tous les défauts sur la ligne.
Insensible à l'indétermination des caractéristiques (67N).
N'est pas tributaire de la liaison, pour certaines positions du défaut.

Inconvénients :

Sensible à l'alimentation autre extrémité («weak infeed»).
Emission sur la ligne en défaut.

 Tel: 01 48 15 09 09 Fax : 01 43 05 08 24 info@microener.com	Les Cahiers Techniques de MICROENER PROTECTION DES LIGNES AERIENNES HTB	Cahier N°5 Rev. A Pag. 22 / 53
--	--	---

Avantages :

Utilisation pour lignes très courtes ou réduire S.I.R. (Z1 sera réglée pour $SIR < 30$).
 Utilisation pour lignes très courtes à résistance d'arc élevée.
 Utilisation sur réseaux à incertitude de caractéristiques (impédances, longueur).
 Même temps d'élimination pour tous les défauts sur la ligne.
 Insensible à l'indétermination des caractéristiques (67N).
 Insensible à l'alimentation autre extrémité (weak infeed).
 Emission sur la ligne saine.

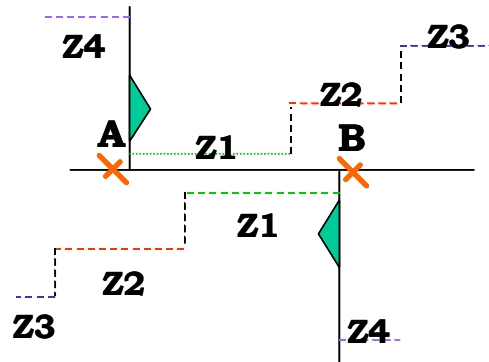
Inconvénients :

Tributaire de la liaison, quelle que soit la position du défaut.
 Temps d'élimination des défauts systématiquement retardé (attente d'un ordre éventuel de blocage).

MICROENER Tel: 01 48 15 09 09 Fax : 01 43 05 08 24 info@microener.com	Les Cahiers Techniques de MICROENER PROTECTION DES LIGNES AERIENNES HTB	Cahier N°5 Rev. A Pag. 23 / 53
---	--	---

Blocking scheme (Blocage, réglage Z1 < Zligne)

➤ Blocking Over-reaching Transfer Trip (Independant Z1)
(Blocage, réglage Z1 < Zligne)



Le défaut est exprimé en % de la ligne AB à partir de A

L'ordre de blocage est émis lorsque les protections en A ou B détectent le défaut dans leurs zones amont (Z4).

Défaut < à 20% : Déclenchement en A en 1^{er} stade, non-envoi d'un ordre de blocage en B.

Déclenchement en B en 1^{er} stade + temps d'attente de téléaction pour non réception d'ordre de blocage de A, sur information Z4 de A, non-envoi d'un ordre de blocage en A.

Défaut entre 20% et 80% : Déclenchement en A en 1^{er} stade, non-envoi d'un ordre de blocage en B.

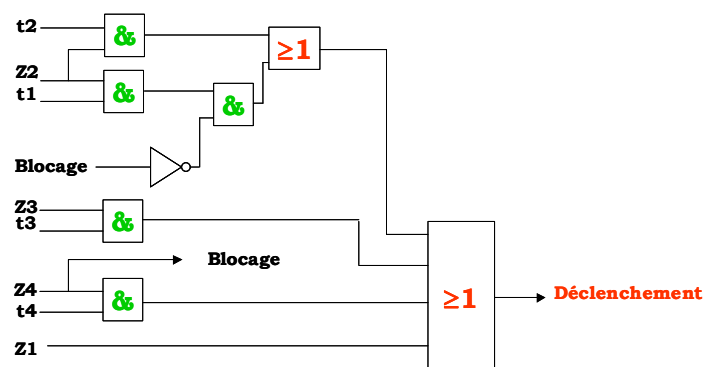
Déclenchement en B en 1^{er} stade, non-envoi d'un ordre de blocage en A.

Défaut > à 80% : Déclenchement en B en 1^{er} stade, non-envoi d'un ordre de blocage en A.

Déclenchement en A en 1^{er} stade + temps d'attente de téléaction pour non réception d'ordre de blocage de B, sur information Z4 de B, non-envoi d'un ordre de blocage en B.

Défaut extérieur à la ligne AB, envoi d'un ordre de blocage pour les protections de la ligne AB, déclenchement par protections adjacentes en principal et par les protections de la ligne AB en stade de secours (2^{ème} stade, 3^{ème} stade, 4^{ème} stade).

Logique de déclenchement :



Déclenchement = Z1 + Z2* Réception ordre de blocage* to + t2 + Z3t3 + Z4t4

 Tel: 01 48 15 09 09 Fax : 01 43 05 08 24 info@microener.com	Les Cahiers Techniques de MICROENER PROTECTION DES LIGNES AERIENNES HTB	Cahier N°5 Rev. A Pag. 24 / 53
--	---	---

Avantages :

Même temps d'élimination pour tous les défauts sur la ligne.
 Insensible à l'indétermination des caractéristiques (67N).
 Insensible à l'alimentation autre extrémité (weak infeed).
 Emission sur la ligne saine.
 N'est pas tributaire de la liaison, pour certaines positions du défaut.

Inconvénients :

Temps d'élimination des défauts systématiquement retardé (attente d'un ordre éventuel de blocage).

MICROENER Tel: 01 48 15 09 09 Fax : 01 43 05 08 24 info@microener.com	Les Cahiers Techniques de MICROENER PROTECTION DES LIGNES AERIENNES HTB	Cahier N°5 Rev. A Pag. 25 / 53
---	--	---

Schémas particuliers :

➤ «Unblocking» (déblocage)

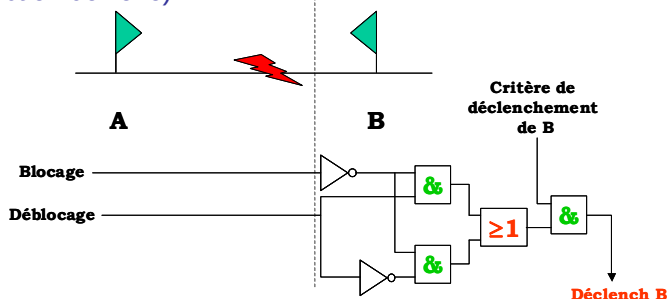
Ce schéma est un complément aux différents schémas de téléaction à autorisation (PUTT ou POTT), dont le principal inconvénient est l'émission d'un signal de téléaction sur une ligne en défaut.

En absence de mise en route, la protection de distance émet vers l'autre extrémité un signal de blocage.

Lors de la mise en route, suite à un défaut, la protection de distance cesse d'émettre le signal de blocage, et émet un signal de déblocage vers l'autre extrémité.

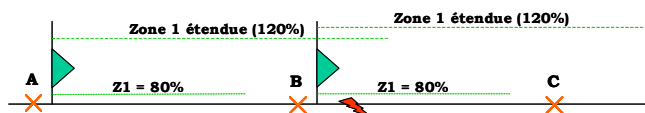
Cette logique (cessation de réception du signal de blocage et réception d'un signal de déblocage) est interprétée comme un signal de téléprotection. Si ce signal de déblocage est interrompu ou si l'absence des 2 signaux de blocage et déblocage sont détectés, on considère qu'il y a une anomalie de transmission et sur décision de la protection de l'autre extrémité, la décision de déclenchement est prise.

➤ «Extension Zone» (Réduction de zone) :



Ce schéma n'est utilisé, qu'en absence de moyens de téléaction ou en secours lorsque ceux-ci sont signalés défaillants.

Ils sont généralement réservés au niveau inférieur de la HTB (60 kV).



Les protections de distance comportent une zone 1 étendue à 120%.

En cas de défaut sur la ligne AB et au début de la zone BC, les protections en A et B (si le défaut est situé en extrémité de ligne AB ou sur la ligne BC) déclenchent et donnent un ordre au réenclencheur.

A l'expiration du temps d'attente, les réenclencheurs donnent un ordre de refermeture aux disjoncteurs et à la protection de distance, cette dernière commute le réglage en Zone 1 à 80%

Si le défaut est fugitif, le réenclenchement est réussi.

Si le défaut est persistant et situé en Zone 1, la protection en A déclenchera définitivement en un temps de stade 1.

Si le défaut est entre 80 et 100% de AB, la protection en A déclenchera définitivement en un temps de stade 2.

Si le défaut est entre 100 et 120% de AB, la protection en B déclenchera définitivement en un temps de stade 1.

Il existe plusieurs variantes de ce schéma suivant les constructeurs de protection.

Ce schéma n'est pas utilisé sur les réseaux THT et HT «supérieur» à cause du fonctionnement du disjoncteur adjacent non nécessaire en cas de défaut au début de la ligne adjacente (usure prématurée du disjoncteur, perte supplémentaire d'une ligne).

 Tel: 01 48 15 09 09 Fax : 01 43 05 08 24 info@microener.com	Les Cahiers Techniques de MICROENER PROTECTION DES LIGNES AERIENNES HTB	Cahier N°5 Rev. A Pag. 26 / 53
--	--	---

Conclusion

Le principal inconvénient des schémas à autorisation (PUTT & POTT) est d'émettre sur une ligne en défaut, inconvénient que n'a pas le schéma à Blocage.

Les ensembles de téléactions signalent une anomalie de transmission, le contact mis à disposition peut servir d'interprétation comme quoi l'anomalie de transmission est due au défaut sur la ligne, et que même si l'autorisation n'est pas donnée ce contact peut valider l'autorisation.

Certains constructeurs de protections utilisent une entrée logique. Une logique extérieure peut être réalisée pour cette fonction.

 Tel: 01 48 15 09 09 Fax : 01 43 05 08 24 info@microener.com	Les Cahiers Techniques de MICROENER PROTECTION DES LIGNES AERIENNES HTB	Cahier N°5 Rev. A Pag. 27 / 53
--	---	---

Récapitulatif des réglages de zones et stades

Dans ce qui suit ZI est l'impédance de ligne.

➤ Zone 1 :

Schémas de téléactions en réglage de portée inférieure à ZI («Under-reach») ou Z1 indépendant («Over-reach») ou Base :

$Z1 = 80\% \text{ ZI}$

Schémas de téléactions en réglage de portée supérieure à ZI («Over-reach») :

$Z1 = 120 \text{ à } 250\% \text{ ZI}$, de manière à obtenir $S.I.R. \leq 30$, 120% étant la valeur minimum.

➤ Stade 1 :

Schémas de téléactions à autorisation («Permissive Under-reach» ou «Permissive Over-reach») ou Base :

$t1 = 0$ (instantané)

Schémas de téléactions à blocage («Blocking Over-reach») :

$t1 = 30 \text{ ms} + \text{temps de téléaction}$ (temps total de l'ordre de 50ms)

➤ Zone 2 :

Schémas de téléactions en réglage de portée inférieure à ZI («Under-reach») ou Z1 indépendant («Over-reach») ou Base :

$Z2 = 120 \text{ à } 130\% \text{ ZI}$

Schémas de téléactions en réglage de portée supérieure à ZI («Over-reach») :

$Z2 = Z1 = 120 \text{ à } 250\% \text{ ZI}$, e à obtenir $S.I.R. \leq 30$, 120% étant la valeur minimum.

Nota : Le réglage de Zone 2 ne devra pas dépasser 50% de la longueur de la ligne la plus courte et couvrir au moins 20% de la longueur de la ligne la plus longue.

En cas d'impossibilité de respecter cette règle, dû à la disparité de la longueur des lignes adjacentes, un compromis sera recherché, le schéma : «Base» (sans téléaction) sera évité.

➤ Stade 2 :

$t2 = 0.3 \text{ à } 0.5 \text{ s}$

Zone 3 (aval) :

Schémas de téléactions en réglage de portée inférieure à ZI («Under-reach») ou Z1 indépendant («Over-reach») ou Base :

$Z3 = 120\% \text{ de la longueur ZI} + \text{longueur de la ligne adjacente la plus longue.}$

Schémas de téléactions en réglage de portée supérieure à ZI («Over-reach») :

$Z3 = Z2 \times 120\%$, 150% étant la valeur minimum.

 Tel: 01 48 15 09 09 Fax : 01 43 05 08 24 info@microener.com	Les Cahiers Techniques de MICROENER PROTECTION DES LIGNES AERIENNES HTB	Cahier N°5 Rev. A Pag. 28 / 53
--	--	---

Nota : La valeur minimum de réglage de Zone 3 est de 150% de la longueur de la ligne ZI.

➤ **Stade 3 :**

$t_2 = 0.8 \text{ à } 1 \text{ s}$

➤ **Zone 4 (amont) :**

Schémas de téléactions en réglage de portée inférieure à ZI («Under-reach») ou Z1 indépendant («Over-reach») ou Base :

Z4 = 25% de la longueur ZI.

Schémas de téléactions en réglage de portée supérieure à ZI («Over-reach») :

Z4 = 50% de la longueur ZI.

➤ **Stade 4 :**

$t_2 = 1.1 \text{ à } 1.3 \text{ s}$

Bande d'oscillation de puissance :

Le réglage de la Bande d'oscillation de puissance ΔP dépend du temps de variation Δt imposé par le constructeur de protection (de 5 à 30ms).

Il s'agit d'un réglage empirique, la méthode décrite dans le chapitre «oscillation de puissance» est valable mais nécessite la connaissance de paramètres du réseau qui ne sont pas obligatoirement disponible.

Réglages proposés par constructeur :

- $\Delta P = 50\% Z_3$ ($\Delta t = 25 \text{ ms}$)
- $\Delta P = 0.08 Z_s$ ($\Delta t = 5 \text{ ms}$) avec minimum de 2Ω (en 1 A)

Z_s étant l'impédance de service = $0.85 U_n / (\sqrt{3} \times I_{max})$

Réglage en Résistance :

La résistance de défaut détectable, dans le cas de principe de protection de distance à minimum d'impédance ou réactance devra être la plus grande possible.

Dans le cas des relais MHO, elle est imposée par la caractéristique du relais mais devra répondre, néanmoins à la même exigence de limitation :

Résistance limite $< (0.8 Z_s) - \Delta P$

Dans le cas de principe de protection de distance à minimum d'impédance ou réactance, le rapport entre Résistance limite / Réglage de Zone est limité à 5

Exemple :

$U_n = 100 \text{ V}$, $I_{max} = 2 \text{ A}$, réglages de zone : $Z_1 = 2 \Omega$, $Z_2 = 3.2 \Omega$, $Z_3 = 4 \Omega$

Calculs :

$Z_s = (0.85 \times 100) \times (\sqrt{3} \times 2) = 24.5 \Omega$

$\Delta P = 0.08 Z_s = 2 \Omega$

Résistance limite théorique $< (0.8 Z_s) - \Delta P < (0.8 \times 24.5) - 2 < 17.6 \Omega$

 Tel: 01 48 15 09 09 Fax : 01 43 05 08 24 info@microener.com	Les Cahiers Techniques de MICROENER PROTECTION DES LIGNES AERIENNES HTB	Cahier N°5 Rev. A Pag. 29 / 53
--	--	---

Résistance pratique $Z1 = 2 \times 5 = 10 \Omega$

Résistance pratique $Z2 = 3.2 \times 5 = 16 \Omega$

Résistance pratique $Z3 = 4 \times 5 = 20 \Omega$, Résistance limite théorique $< 17.6 \Omega$, valeur retenue 17Ω

Nota : Pour les défauts entre phases, il devra être possible de détecter un défaut triphasé dont la résistance est le double de la résistance d'arc calculée suivant la formule de Van Warrington (voir chapitre : résistance d'arc).

En ce qui concerne les défauts phase-terre, il est nécessaire de relativiser le problème, la protection de distance risquant de ne pas détecter le défaut car :

* la résistance à la terre d'un pylône peut atteindre 50Ω

* un défaut résistant peut atteindre de 50 à 300Ω

Pour ces valeurs, seule la protection 67N sera sensible, il faut alors la considérer comme protection complémentaire pour défaut résistant et non comme protection de secours.

Dans le cas des relais MHO, la résistance de défaut détectable est imposée par la caractéristique du relais mais devra répondre, néanmoins à la même exigence de limitation :

Résistance limite $< (0.8 Z_s) - \Delta P$

Cette caractéristique de relais MHO est modifiable par le réglage du rapport a/b (voir chapitre de «caractéristiques de limitation» ci-après).

$a/b < 1$ Caractéristique en lentille

$a/b = 1$ Caractéristique circulaire

$a/b > 1$ Caractéristique en «tomate»

Pour ce type de relais (MHO), où la résistance de défaut détectable est moindre que celle détectée en utilisant une protection à principe à minimum de réactance, il est impératif d'utiliser la fonction complémentaire 67N.

MICROENER Tel: 01 48 15 09 09 Fax : 01 43 05 08 24 info@microener.com	Les Cahiers Techniques de MICROENER PROTECTION DES LIGNES AERIENNES HTB	Cahier N°5 Rev. A Pag. 30 / 53
---	--	---

Protection des lignes stratégiques

Les lignes stratégiques, THT par exemple, sont en général protégées par 2 protections de distance :

- EDF utilise 2 protections de même constructeur et de même schéma de téléaction, 1 en protection principale et 1 en secours temporisée par rapport à la principale.

- A l'exportation on utilise 2 protections principales, suivant les pays les modèles sont de même constructeur mais de principes différents ou de même principe ou de constructeurs différents, les schémas de téléaction sont en général différents.

Les schémas préférentiels sont :

Protection Principale 1 : PUTT (accélération de stade ou contrôle par Z3).

Protection Principale 2 : POTT (Z1 indépendant, émission par Z2).

Lorsque les lignes sont trop courtes (ou S.I.R. > 30), les schémas retenus seront de préférence :

Protection Principale 1 : POTT (émission par Z1).

Protection Principale 2 : BLOCKING MODE (Z1 en dépassement de zone, émission par Z4).

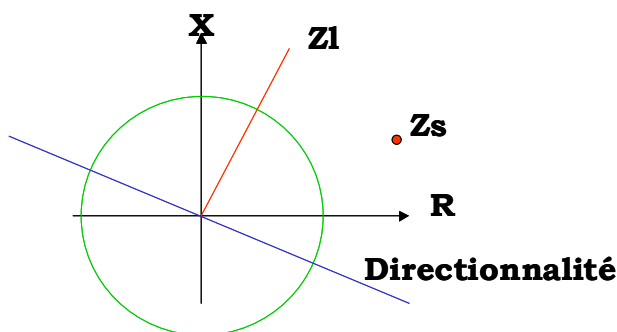
Ces jeux de protection doivent être raccordés sur des secondaires différents, il est souhaitable d'utiliser un certain nombre d'éléments différents : batterie, bobines de déclenchement etc.

Principes de mesure

Exemple sur Zone 1 :

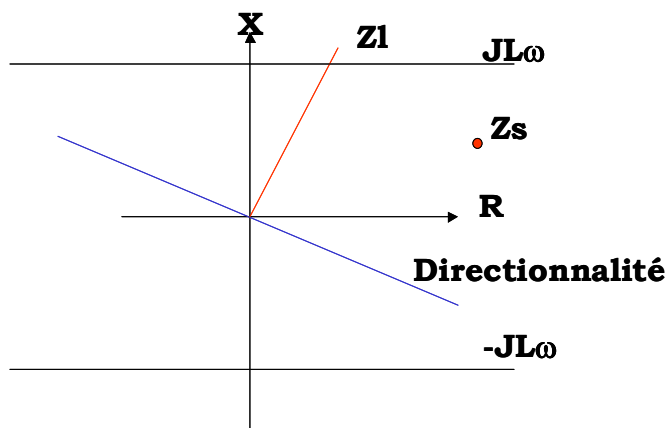
❖ Minimum d'impédance:

Caractéristiques naturelles :
Circulaire fermée, Centrée,
Non directionnelle



❖ Réactances:

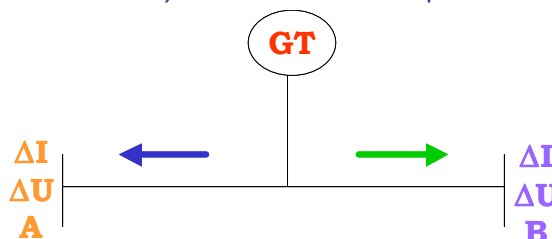
Caractéristiques naturelles :
2 Droites parallèles à l'axe des R
1 Droite correspond à inductance = $j L\omega$
1 Droite correspond à capacitance = $-j / C\omega$
Non fermée
Non directionnelle



MICROENER Tel: 01 48 15 09 09 Fax : 01 43 05 08 24 info@microener.com	Les Cahiers Techniques de MICROENER PROTECTION DES LIGNES AERIENNES HTB	Cahier N°5 Rev. A Pag. 31 / 53
---	--	---

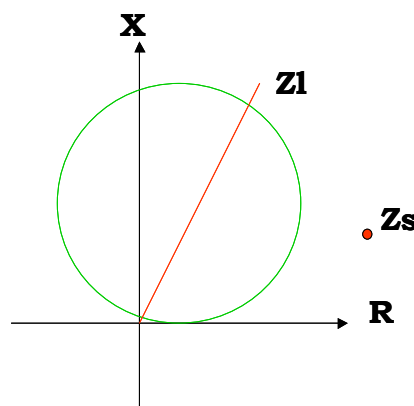
❖ **Grandeurs de transition:**

Le défaut est générateur de transition ($\Delta I > 20\%$ et $\Delta U > 10\%$) dont le sens est comparé entre A et B.



❖ **Relais MHO :**

Caractéristiques naturelles :
Circulaire passant par le centre,
Fermée, Auto-directionnel



Algorithmes de fonctionnement :

RELAIS AUTO-POLARISE (qui utilise la ou les tensions de la ou des phases en défaut et le ou les courants de la ou des phases en défaut).

MESURE ANGLE θ (angle caractéristique du relais Mho) entre 2 Vecteurs

$$A = I (Z_{set} - V)$$

$$B = V_{réf}$$

V = tension au moment du défaut (phase-terre pour les défauts monophasés et phase-phase pour les défauts polyphasés)

I = courant mesuré ($I = I_\phi + K_o I_r$ pour les défauts monophasés, $K_o = Z_o - Z_d / 3 Z_d$ et $I = I_{\phi\phi}$ pour les défauts polyphasés)

Zset = impédance de réglage

Vréf = tension directe mémorisée

L'angle caractéristique d'un relais Mho est réglable de 70° à 140°

70° correspond à une caractéristique «TOMATE» (rapport $b/a < 1$)

90° correspond à une caractéristique «CIRCULAIRE» (rapport $b/a = 1$)

90° à 140° correspondent différentes caractéristiques «ELLIPTIQUE» (rapport $b/a > 1$, croissant avec la croissance de l'angle)

Différentes «POLARISATIONS» du relais MHO :

❖ **«OFFSET MHO» :**

Relais MHO dont la caractéristique est décalé par rapport à l'origine

❖ **«POLARISATION» :**

Signal servant de référence pour donner une directionnalité à un autre signal

❖ **«SELF POLARIZED MHO» :**

 Tel: 01 48 15 09 09 Fax : 01 43 05 08 24 info@microener.com	Les Cahiers Techniques de MICROENER PROTECTION DES LIGNES AERIENNES HTB	Cahier N°5 Rev. A Pag. 32 / 53
--	---	---

Auto-polarisation du relais MHO en utilisant pour effectuer la mesure du défaut les tensions et courants affectant le défaut.

Ex : défaut ϕ A-Terre = courant Ia «polarisé» par la tension Va, par l'intermédiaire d'un comparateur de phases. Ce relais a une très bonne sélection de phase en défaut mais une mauvaise sensibilité de directionnalité pour les défauts proches du poste (Mémoire tension indispensable).

❖ **«CROSS POLARIZATION» :**

On utilise pour permettre la directionnalité du relais la phase courant du défaut et une tension non affectée par le défaut

Ex : défaut ϕ A-Terre = courant Ia «polarisé» par la tension croisée Ubc, par l'intermédiaire d'un comparateur de phases.

2 Types de polarisation croisée :

❖ **«FULLY CROSS POLARIZED MHO» :**

On utilise la polarisation complète la phase courant du défaut et une tension non corrigée, non affectée par le défaut

Exemple :

Défaut ϕ A-Terre = courant Ia «polarisé» par la tension croisée non corrigée Ubc, par l'intermédiaire d'un comparateur de phases.

Cette solution permet une meilleure couverture de résistance de défaut, une meilleure directionnalité mais dispose d'une moins bonne sélection de phase en défaut.

❖ **«PARTIALLY CROSS POLARIZED MHO» :**

Compromis entre «SELF POLARIZED» (Défaut A-T = Ia + Va) et «FULLY CROSS POLARIZED MHO» (Défaut A-T = Ia + Ubc), la tension de polarisation est Ubc + % Va, (% = 10 à 20 %).

Cette solution permet de corriger les différentes faiblesses sans trop pénaliser les points forts.

Comparaison entre les différents principes de mesure :

PAS DE MAUVAIS PRINCIPE.

Relais à minimum d'impédance :

➤ **Avantages :**

Solution éprouvée tenant compte des caractéristiques de ligne.
Avec solutions numériques le principal inconvénient est gommé (courant de charge).

➤ **Inconvénients :**

Sensible au courant de charge.
Obligation de fonction complémentaire de directionnel.
Peu utilisé mondialement dans technologie statique donc peu prescrit dans cahier des charges.

Relais de réactance :

➤ **Avantages :**

Théoriquement moins sensible à la résistance de défaut (lorsque Zamont a même argument que Zaval avec courant de défaut très important devant le courant de charge, ou ligne radiale sans courant de charge).
Notoriété technique.

Moins sensible au courant de charge et à la longueur de la ligne.

➤ **Inconvénients :**

 Tel: 01 48 15 09 09 Fax : 01 43 05 08 24 info@microener.com	Les Cahiers Techniques de MICROENER PROTECTION DES LIGNES AERIENNES HTB	Cahier N°5 Rev. A Pag. 33 / 53
--	---	---

Moins rapide que relais MHO.

Obligation de fonction complémentaire de directionnel.

Sensible à la phase des courants de défaut fournis par les 2 extrémités en cas de défaut résistant à la terre (provoquant de l' «Under-reach»).

Mauvais fonctionnement sur défauts simultanés sur lignes doubles.

Relais MHO :

➤ **Avantages :**

Notoriété mondiale.

Rapidité.

Auto-directionnalité.

Fonctionnement amélioré sur défauts simultanés sur lignes doubles.

➤ **Inconvénients :**

Zone morte autour du poste (0).

Détection de défaut résistant sur ligne courte.

Emploi sur ligne longue fortement chargée.

Relais à grandeurs de transition :

➤ **Avantages :**

Innovation technique.

Rapidité.

➤ **Inconvénients :**

1 seule Zone.

N'est actuellement utilisé qu'en complément des algorithmes classiques, ceux-ci définissant les limites du principe.

 Tel: 01 48 15 09 09 Fax : 01 43 05 08 24 info@microener.com	Les Cahiers Techniques de MICROENER PROTECTION DES LIGNES AERIENNES HTB	Cahier N°5 Rev. A Pag. 34 / 53
--	--	---

Dispositifs complémentaires à la protection de distance

Fusion fusible

Vérifier qu'une baisse de tension est la conséquence d'un défaut et non de l'absence de tension transmise au relais (fusion fusible, coupure d'une connexion).

Ce dispositif doit être rapide car il doit bloquer la protection avant le déclenchement de celle-ci.

➤ Principe de détection :

U_{ligne} < 75 % U_n

I_{ligne} > 0.2 I_n dans au moins une phase

Absence de défaut détecté par dVd/dt, dId/dt, Id >, Io >

Si 3 critères : Fusion Fusible

➤ Avantage :

Fonctionne même avec MCB tri (disparition des 3 tensions) sans nécessité de rapatrier l'information du MCB.

➤ Autres principes de détection :

Dans un réseau électrique, les impédances directe, inverse et homopolaire sont définies, ce qui signifie que la présence d'une tension de composante symétrique (directe, inverse ou homopolaire) s'accompagne d'un courant de composante symétrique (directe, inverse ou homopolaire).

1^{er} principe :

- présence de tension homopolaire et absence de courant homopolaire est significative de la fusion de 1 ou 2 fusibles (inopérant en cas de la fusion de 3 fusibles).

2^{ème} principe :

- présence de tension inverse et absence de courant inverse est significative de la fusion de 1 ou 2 fusibles (inopérant en cas de la fusion de 3 fusibles).

Enclenchement sur défaut avec contrôle de l'harmonique 2 du courant

«SWITCH ON TO FAULT» ou «DEAD LINE PICK-UP»

Défaut provoqué par l'oubli de la tresse de sécurité de mise à la terre du jeu de barres pendant des travaux.

Avant Enclenchement = tension nulle sur les TP ligne (contrôler par 27 Vd actif pendant un temps court : 2 s par exemple)

Pendant enclenchement si I > ou Io > il y a enclenchement sur défaut.

Pour éviter les déclenchements intempestifs provoqués par la mise sous tension d'une réactance ou d'un transformateur d'un poste en T, un détecteur d'harmonique 2 doit bloquer la protection.

Le déclenchement par la fonction «Enclenchement sur défaut» se fait donc pour :

27 Vd + présence d'un courant de quelques % sur 1 des 3 phases pendant un temps de monostable + existence d'un défaut détecté par I > ou Io > + non-verrouillage sur présence H2.

MICROENER Tel: 01 48 15 09 09 Fax : 01 43 05 08 24 info@microener.com	Les Cahiers Techniques de MICROENER PROTECTION DES LIGNES AERIENNES HTB	Cahier N°5
		Rev. A Pag. 35 / 53

Mémoire de tension

Toute protection auto-polarisée (qui effectue la mesure $U_{\text{défaut}}$ $I_{\text{défaut}}$) doit comporter un tel dispositif.

Au point de défaut la tension est nulle, lorsque le défaut est proche du poste, la tension peut être insuffisante pour assurer la directionnalité (définir si le défaut est aval ou amont).

La tension directe V_d avant défaut est mémorisée (pendant le temps de fonctionnement de la protection < 2 s)

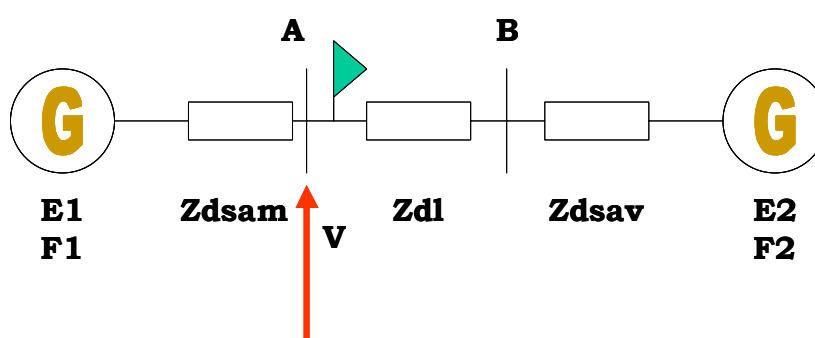
La direction est assurée via un «PLL» ou un «Ring Filter» qui restitue un signal V_d mémo

$$Z_{d\text{mémo}} = \frac{V_{d\text{mémo}}}{I_d}$$

Le signal de direction sert à superviser les fonctions de distance Zones 1 & 2 et éventuellement (par programmation) les fonctions de surintensité phases et terre.

Oscillation de puissance et perte de synchronisme

Le Réseau comporte des sources de chaque côté de la ligne qui peuvent être schématisées par :



En fonctionnement sain :

$$E1 = E2$$

$$F1 = F2$$

Il peut arriver que suite à une modification du Réseau il se produise une perte de synchronisme passagère entre les sources $E1(F1)$ et $E2(F2)$, les régulateurs des 2 sources rétabliront le synchronisme, durant la phase intermédiaire il y aura vu de A, oscillation de puissance qui peut entraîner le fonctionnement intempestif de la protection de distance.

La fréquence d'oscillation F_p

$$F_p = F1 - F2$$

Le courant d'oscillation I_p

$$I_p = \frac{E1 - E2}{Z_{dsam} + Z_{dl} + Z_{dsav}}$$

MICROENER Tel: 01 48 15 09 09 Fax : 01 43 05 08 24 info@microener.com	Les Cahiers Techniques de MICROENER PROTECTION DES LIGNES AERIENNES HTB	Cahier N°5 Rev. A Pag. 36 / 53
---	--	---

La tension V au point de mesure de la protection A

$$V = E1 - I_x Z_{dsam} = E1 - \frac{(E1 - E2) Z_{dsam}}{Z_{dsam} + Z_{dl} + Z_{dsav}}$$

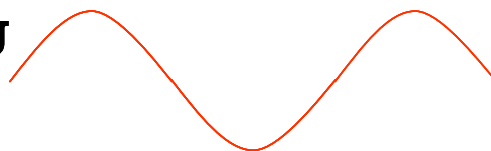
L'impédance d'oscillation $Z_p = V/I_p$

$$Z_p = \frac{E1 - (Z_{dsam} \times I_p)}{I_p} = \left(\frac{E1}{E1 - E2} \right) (Z_{dl} + Z_{dsam} + Z_{dsav} - Z_{dsam})$$

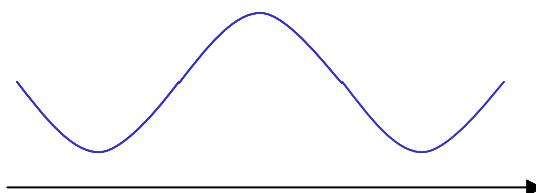
$$Z_p = \left(\frac{E1}{E1 - E2} \right) (Z_{dsav} + Z_{dl})$$

➤ Oscillation de puissance :

Battement de U

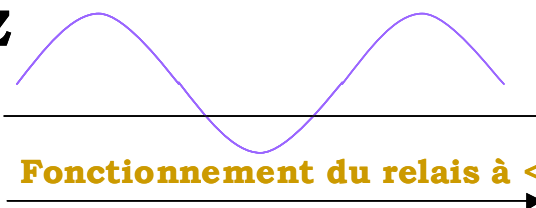


Battement de I



F = 4 Hz

Battement de Z



Z set = U/I

Fonctionnement du relais à < Z

L'impédance mesurée est Z_p

$$Z_p = \left(\frac{E1}{E1 - E2} \right) (Z_{dsav} + Z_{dl})$$

Si $E2$ est pris comme référence et $E1$ est en avance par rapport à $E2$ d'un angle θ
et si on prend $E1 / E2 = n$

$$\frac{E1}{E1 - E2} = \frac{n(\cos \theta + j \sin \theta)}{n(\cos \theta + j \sin \theta) - 1} = \frac{n[(n \cos \theta) - j \sin \theta]}{(n - \cos \theta)^2 + \sin^2 \theta}$$

MICROENER Tel: 01 48 15 09 09 Fax : 01 43 05 08 24 info@microener.com	Les Cahiers Techniques de MICROENER PROTECTION DES LIGNES AERIENNES HTB	Cahier N°5 Rev. A Pag. 37 / 53
---	--	---

Dans le cas où $n = 1$ ($E1 = E2$ correspondant à un réseau puissant)

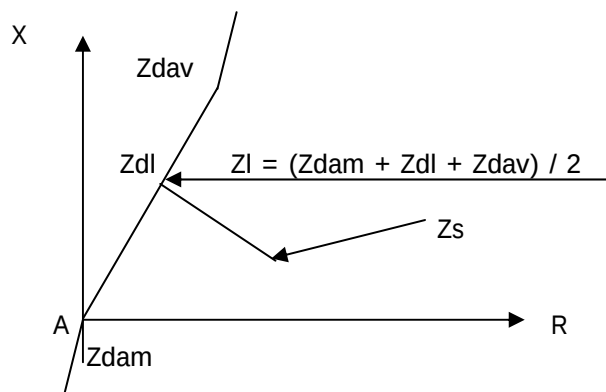
$$\frac{E1}{E1 - E2} = \frac{1}{2} \left(1 - j \cot \frac{\theta}{2} \right)$$

L'impédance suivra un parcours Z à partir de l'impédance de service Zs

$$Z = \frac{Z_{dam} + Z_{dl} + Z_{dav}}{2} (1 - j \cot \theta) - Z_{dam}$$

et traversera perpendiculairement l'impédance $\overline{Z_{dam}} + \overline{Z_{dl}} + \overline{Z_{dav}}$ au centre électrique (centre des impédances) situé au point

$$Zl = \frac{Z_{dam} + Z_{dl} + Z_{dav}}{2}$$



La fréquence d'oscillation de puissance est de Fp 4 Hz

La perte de synchronisme correspond au même phénomène mais d'une manière irréversible (défaillance d'un régulateur de vitesse par exemple).

En général les protections de distance phases sont bloquées sur les oscillations de puissance en Zone 1 & Zone 2. Les protections de distance terre ne sont en aucun cas concernées.

Par contre lorsque le Centre Electrique du Réseau se trouve pour toutes les valeurs de Z_{dam} et Z_{dav} (impédances qui sont variables en fonction des P_{cc}) dans une impédance inférieure à 80 % de l'impédance de ligne on peut déclencher.

Dans les réseaux puissants comportant des générateurs très puissants, les centres électriques sont situés dans le générateur ou le transformateur- bloc.

En conclusion privilégier le blocage sur oscillation de puissance et ne faire intervenir le déclenchement qu'avec certitude.

MICROENER Tel: 01 48 15 09 09 Fax : 01 43 05 08 24 info@microener.com	Les Cahiers Techniques de MICROENER PROTECTION DES LIGNES AERIENNES HTB	Cahier N°5 Rev. A Pag. 38 / 53
---	--	---

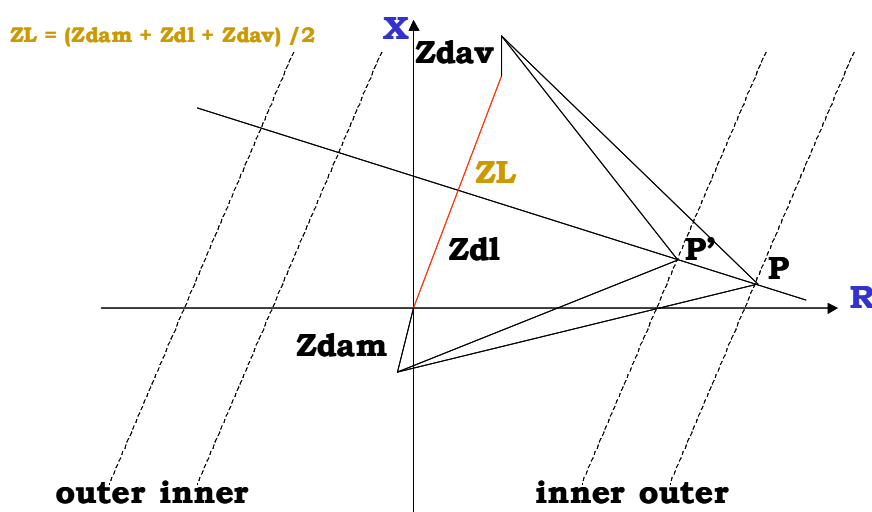
Réglage de la détection d'oscillation de puissance

Lorsqu'un défaut se produit, l'impédance mesurée par les réducteurs de mesure passe instantanément du point d'impédance de service Z_s au point d'impédance de défaut.

Une oscillation de puissance est un phénomène relativement lent (fréquence de glissement de l'ordre de 4 Hz).

Le principe de la détection est de mesurer le temps de variation de l'impédance mesurée pour traverser 2 caractéristiques.

Les 2 caractéristiques sont des «blinders» (droites parallèles à l'impédance de ligne, distinctes et perpendiculaires à la droite décrite par l'impédance mesurée lors d'une oscillation de puissance, de chaque côté de l'impédance de ligne), les droites extérieures sont appelées «outer», les droites intérieures sont appelées «inner».



Nota : La caractéristique appelée «outer» est aussi appelée caractéristique «d'oscillation de puissance» ou «anti-pompage».

La caractéristique appelée «inner» est aussi appelée caractéristique de «mise en route» par analogie avec les protections de distance type «commutées».

En cas d'oscillation, l'impédance mesurée qui se trouvait en Z_s va traverser le blinder outer en P . Ce point P forme avec le vecteur $Z_{dam} + Z_{dl} + Z_{dav}$ un angle θ .

L'impédance mesurée traversera ensuite le blinder inner en P' . Ce point P' forme avec le vecteur $Z_{dam} + Z_{dl} + Z_{dav}$ un angle θ' .

Une fréquence de glissement maximum (ou oscillation de puissance) de 4 Hz donne une vitesse angulaire de $360 \times 4 = 1440$ r / s.

Il suffit de mesurer le temps pour passer de θ à θ'

Ex : $\theta - \theta' = 45^\circ$, $t = 45 / 1440 = 0.03$ s

Les différentes valeurs doivent être choisies correctement :

$P < 0.8 Z_s \text{ mini}$

$\theta - \theta' > 30^\circ$ (et le plus grand possible pour un problème de précision)

$\theta' < 120^\circ$

$\theta = 120^\circ$ correspond dans la majorité des cas à l'angle critique du système.

Pour $\theta = 90^\circ$, la stabilité du système est assurée.

Pour $\theta > 90^\circ$, l'instabilité du système est accrochée.

 Tel: 01 48 15 09 09 Fax : 01 43 05 08 24 info@microener.com	Les Cahiers Techniques de MICROENER PROTECTION DES LIGNES AERIENNES HTB	Cahier N°5 Rev. A Pag. 39 / 53
--	--	---

De plus une temporisation réglable valide la durée pendant laquelle la fonction oscillation de puissance est opérante.

Pour une fréquence minimum d'oscillation de puissance de 0.1 Hz l'impédance mesurée restera entre les caractéristiques inner et outer pendant un temps t : vitesse angulaire de $360 \times 0.1 = 36$ r / s.

le temps pour passer de θ à θ' sera $t = (\theta - \theta') / \text{vitesse angulaire}$.

Dans l'exemple ci-dessus la temporisation serait réglée à

$\theta - \theta' = 45^\circ$, $t = 45 / 36 = 1.25$ s.

Conclusion

Pour les réglages du blocage sur oscillation de puissance, et du déclenchement sur perte de synchronisme, il faut impérativement connaître les valeurs maximales et minimales d'impédances directes amont et aval prendre les valeurs EDF comme référence :

Fréquence maximum d'oscillation de puissance : 4 Hz

Fréquence minimum d'oscillation de puissance : 0.1 Hz

 Tel: 01 48 15 09 09 Fax : 01 43 05 08 24 info@microener.com	Les Cahiers Techniques de MICROENER PROTECTION DES LIGNES AERIENNES HTB	Cahier N°5 Rev. A Pag. 40 / 53
--	--	---

Protections complémentaires à la protection de distance

Protection de secours par surintensité phases

Les protections de secours ne sont pas obligatoirement sélectives.

➤ Critère de gravité (F50) :

Lorsque la puissance de court-circuit au poste est importante (y compris la valeur minimum), et que la longueur de la liaison à protéger est importante, il est possible de détecter un court-circuit et de déclencher avec certitude sur une mesure ampèremétrique instantanée, seul le calcul permet de valider cette solution.

Exemple :

Courant de court-circuit I_{cc} au poste 220 kV, valeur minimum = 15 kA, ligne à protéger : longueur = 100 km, impédance = $0.1 + j 0.4 \Omega/\text{km}$

Impédance maximum de source : $Z_{\text{maxisource}} = (220 / \sqrt{3}) / 15 = 8.47 \Omega$

Impédance de ligne : $Z_l = 100 \times (0.1 + j 0.4) = 41.23 \Omega$

Courant de court-circuit en extrémité de ligne : $I_d = (220 / \sqrt{3}) / (8.47 + 41.23) = 2.6 \text{ kA}$

En réglant ce relais à 1.5 fois I_d , soit 3.8 kA, tout fonctionnement de ce relais sera provoqué par un défaut à l'intérieur de la ligne.

➤ Surintensité :

Avec Contrôle de Direction (F67) ou non (F51)

Dans l'hypothèse ci-dessus (courant de court-circuit au poste important et longueur de liaison importante) il est préférable d'utiliser un : Déclenchement à temps dépendant :

Courbes CEI ou courbes IEEE

$$T(I) = TMS \left[T_0 + \frac{K}{\left(\frac{I}{\text{pick-up}} \right)^m - 1} \right]$$

T_0 , K , m sont définis lorsque les normes CEI ou IEEE retenues

TMS (Time Multiplier Setting) réglable de 0.5 à 10

 Tel: 01 48 15 09 09 Fax : 01 43 05 08 24 info@microener.com	Les Cahiers Techniques de MICROENER PROTECTION DES LIGNES AERIENNES HTB	Cahier N°5 Rev. A Pag. 41 / 53
--	---	---

Cette solution impose une connaissance du réseau (Icc maxi et mini, réglage des protections adjacentes etc.), ce qui n'est pas toujours le cas.

En absence d'éléments précis il est préférable d'utiliser un déclenchement à temps constant :

Le seuil en courant sera réglé comme 1.2 la surcharge admissible de ligne. La temporisation sera réglée à $t_4 + 0.3$ s (t_4 = temporisation de 4^{ème} stade).

Nota : La directionnalité de la protection est souhaitable, mais non-indispensable.

➤ **Surcharge (F49) :**

Cette protection nécessite la connaissance des valeurs de surcharge admissible par la ligne :

- à 20 mn, I1
- à 5 mn, I2
- à 20 s, I3

Ces valeurs permettront de définir une image thermique.

Protection de secours par surintensité phase-terre

➤ **Critère de gravité (F50N) :**

Lorsque le courant de défaut terre au poste est important (y compris la valeur minimum), et que la longueur de la liaison à protéger est importante, il est possible de détecter un défaut à la terre et de déclencher avec certitude sur une mesure ampèremétrique résiduelle instantanée, seul le calcul permet de valider cette solution. (voir exemple pour F50).

➤ **Surintensité terre :**

Cette protection devra pouvoir détecter les défauts résistants (voir chapitre ci-après).

Avec Contrôle de Direction (F67N) et dialogue avec l'autre extrémité ou puissance homopolaire, non directionnel (F51N).

Seule la solution (F67N) et dialogue avec l'autre extrémité est sélective et souhaitable, elle nécessite l'utilisation des téléactions pour la comparaison directionnelle.

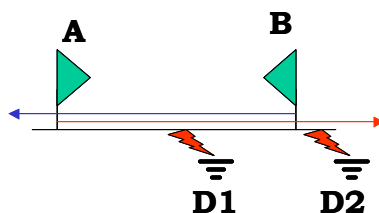
MICROENER Tel: 01 48 15 09 09 Fax : 01 43 05 08 24 info@microener.com	Les Cahiers Techniques de MICROENER PROTECTION DES LIGNES AERIENNES HTB	Cahier N°5 Rev. A Pag. 42 / 53
---	--	---

La sélectivité ne doit être assurée qu'avec les relais en amont (du fait de la directionnalité) : 3 Principes peuvent être utilisés :

➤ **Comparaison directionnelle entre les 2 extrémités :**

Les schémas de téléactions à autorisation ou blocage (réglage en dépassement de zone du fait de l'incertitude des grandeurs) seront utilisés :

Autorisation :



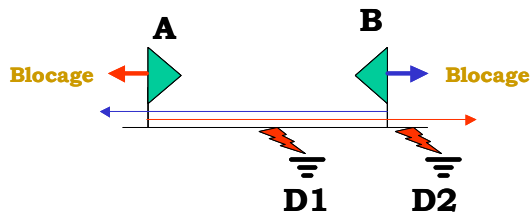
Pour un défaut en D1 :

La protection en A autorise B, la protection en B autorise A d'où déclenchement en A et B.

Pour un défaut en D2 :

La protection en A autorise B, la protection en B n'autorise pas A d'où non-déclenchement en A et B.

Blocage :



Pour un défaut en D1 :

La protection en A ne bloque pas B, la protection en B ne bloque pas A d'où déclenchement en A et B.

Pour un défaut en D2 :

La protection en A ne bloque pas B, la protection en B bloque A (détection du défaut dans la zone amont de B) d'où non-déclenchement en A et B.

Une fonction secours peut être associée, sans téléaction.

Conclusion :

Ce principe est auto-sélectif, rapide donc ne mettant pas en cause la stabilité du réseau.

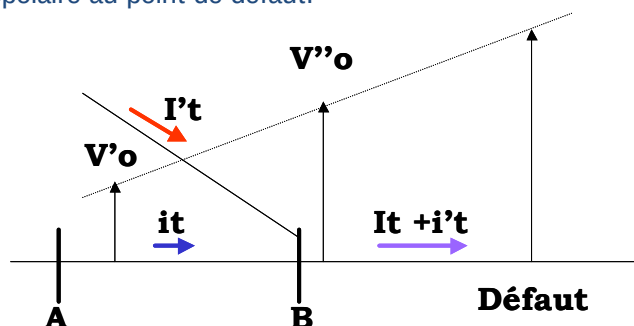
MICROENER Tel: 01 48 15 09 09 Fax : 01 43 05 08 24 info@microener.com	Les Cahiers Techniques de MICROENER PROTECTION DES LIGNES AERIENNES HTB	Cahier N°5
		Rev. A Pag. 43 / 53

Puissance homopolaire directionnelle à temps dépendant :

La tension homopolaire est maximum au point de défaut et diminue au fur et à mesure que l'on s'en éloigne.

Du fait de l'apport des différents courants de terre (lorsque les injections existent), le courant de terre est le plus important au poste le plus près du défaut.

Soit V_o la tension homopolaire au point de défaut.



Au poste B (proche du défaut), la tension homopolaire mesurée est $V''o$ ($V'o < V''o < V_o$), le courant de défaut est égal à $i't + i't$ ($i't < i't + i't$), la puissance homopolaire $P''o$ exprimée en VA sera égale au produit de la tension homopolaire $V''o$ par le courant homopolaire $i't + i't$

Au poste A (éloigné du défaut), la tension homopolaire mesurée est $V'o$ ($V'o < V''o < V_o$), le courant de défaut est égal à $i't$ ($i't < i't + i't$), la puissance homopolaire $P'o$ exprimée en VA sera égale au produit de la tension homopolaire $V'o$ par le courant homopolaire $i't$

$$P''o > P'o$$

Sur la courbe à temps inverse il faut que l'écart de temps entre le déclenchement pour $P''o$ et $P'o$ soit au moins de 0.3 s.

Cas où cette condition n'est pas respectée :

Lorsque l'impédance homopolaire de la ligne à protéger est très importante (ligne longue) et que l'impédance homopolaire de la ligne adjacente est faible (ligne courte), et qu'il n'y a pas d'injection de courant au poste entre ces 2 lignes, on aura $P''o \cong P'o$.

Le temps de déclenchement sera sensiblement le même pour les 2 puissances, pour obtenir une sélectivité il faudra faire une translation de courbe de + 0.3 s pour le poste A (ligne AB), c'est à dire modifier le réglage d'une protection ne faisant pas partie de la ligne AB ce qui implique de faire de nouvelles vérifications pour les lignes adjacentes au poste A.

Le calcul de réglage à partir des tensions et courants homopolaires est décrit plus loin.

Conclusion :

L'utilisation du principe, de 67 N, de la puissance homopolaire directionnelle à temps inverse dont le principal avantage est l'autonomie, nécessite une connaissance parfaite du réseau (impédances directes et homopolaires maximums et minimums à tous les points du réseau) et d'effectuer le réglage pour la totalité des protections. Ce principe est utilisé par EDF, qui dispose effectivement des éléments, et est responsable de son réseau. Dans le cas d'une étude n'intéressant qu'une seule ligne, ce principe est à utiliser avec précautions si l'on espère obtenir un minimum de sélectivité. Le temps de déclenchement est relativement long et peut mettre en cause la stabilité du réseau.

 Tel: 01 48 15 09 09 Fax : 01 43 05 08 24 info@microener.com	Les Cahiers Techniques de MICROENER PROTECTION DES LIGNES AERIENNES HTB	Cahier N°5 Rev. A Pag. 44 / 53
--	---	---

➤ **Courant homopolaire directionnalisé :**

Cette solution, qui peut servir de secours aux 2 solutions précédentes, nécessite la connaissance du courant de défaut résistant en limite de zone, de la tension homopolaire dans ces conditions.

Le réglage en courant I_r sera pris au minimum à $0.1 I_r$ et la tension V_r à $0.05 V_r$

La temporisation sera réglée à $t_4 + 0.3 \text{ s}$ (t_4 = temporisation de 4^{ème} stade).

Dans l'hypothèse où le courant de défaut terre au poste est important et longueur de liaison importante il est préférable d'utiliser un **Déclenchement à temps dépendant** :

Courbes CEI ou courbes IEEE

$$T(3I_o) = TMS \left[T_o + \frac{K}{\left(\frac{3I_o}{pick-up} \right)^m - 1} \right]$$

T_o , K , m sont définis lorsque les normes CEI ou IEEE retenues

TMS (Time Multiplier Setting) réglable de 0.5 à 10

Cette solution impose une connaissance du réseau (I_t maxi et mini, réglage des protections adjacentes etc.), ce qui n'est pas toujours le cas.

En absence d'éléments précis il est préférable d'utiliser un **Déclenchement à temps constant** :

Le seuil en courant résiduel, insensible à l'impédance de charge, peut être réglé de 0.1 à 0.2 I_n .

La temporisation sera réglée à $t_4 + 0.3 \text{ s}$ (t_4 = temporisation de 4^{ème} stade).

Calcul des courants et tension homopolaires :

Les protections de défaut terre, pour défaut résistant, font intervenir le courant homopolaire (protection de courant résiduel F51N, protection de courant résiduel directionnalisé F67N, protection de puissance homopolaire F67N), et la tension homopolaire (protection de courant résiduel directionnalisé F67N pour définir la référence angle, protection de puissance homopolaire F67N).

Les formules utilisées sont :

$$I_t = 3 V_n / (Z_{damont} + Z_{iamont} + Z_{oamont} + 3 R_{défaut})$$

$$I_t = I_r = 3 I_o$$

$$V_o = - Z_{osam} \times I_o$$

$$V_r = 3 V_o$$

$$P_r = V_r \times I_r \times \cos(\varphi - \varphi_o)$$

MICROENER Tel: 01 48 15 09 09 Fax : 01 43 05 08 24 info@microener.com	Les Cahiers Techniques de MICROENER PROTECTION DES LIGNES AERIENNES HTB	Cahier N°5
		Rev. A Pag. 45 / 53

Dans lesquels :

I_t = courant de défaut à la terre au point de mesure

V_n = tension nominale phase-terre avant défaut

Z_{damont} = impédance directe amont au point de défaut

Z_{iamont} = impédance inverse amont au point de défaut

Z_{oam} = impédance homopolaire amont au point de mesure

$R_{défaut}$ = résistance du défaut

I_r = courant résiduel au point de mesure

I_o = courant homopolaire au point de mesure

V_o = tension homopolaire au point de mesure

Z_{oam} = impédance homopolaire amont au point de mesure

V_r = tension résiduelle au point de mesure

P_r = puissance résiduelle au point de mesure

φ = angle de déphasage entre tension résiduelle et intensité résiduelle au point de défaut

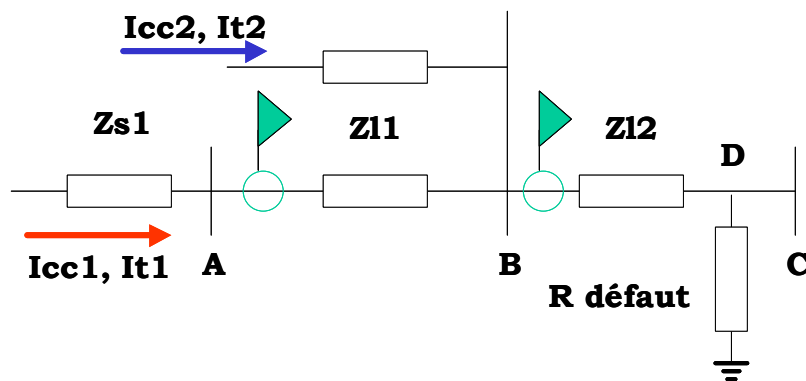
= angle de l'impédance Z_{oam}

φ_0 = angle défini par constructeur = 75°

Exemple :

Calcul du réglage de la protection complémentaire 67N (courant résiduel directionnalisé, comparaison directionnelle et puissance résiduelle directionnelle à temps inverse) et sélectivité avec une protection complémentaire en amont.

Schéma :



 Tel: 01 48 15 09 09 Fax : 01 43 05 08 24 info@microener.com	Les Cahiers Techniques de MICROENER PROTECTION DES LIGNES AERIENNES HTB	Cahier N°5 Rev. A Pag. 46 / 53
--	---	---

Données :

Courant de court-circuit minimal $I_{cc1} = 5 \text{ kA}$

Courant de défaut terre minimal $I_{t1} = 4 \text{ kA}$

Courant de court-circuit minimal $I_{cc2} = 3 \text{ kA}$

Courant de défaut terre minimal $I_{t2} = 2.5 \text{ kA}$

Longueur de la ligne I1 (AB) = 30 km

Caractéristique de la ligne I1 (AB) :

$$z_{d1} = 0.1 + j 0.4 \Omega/\text{km}$$

$$z_{o1} = 0.3 + j 1.2 \Omega/\text{km}$$

Longueur de la ligne I2 (BC) = 120 km

Caractéristique de la ligne I2 (BC) :

$$z_{d2} = 0.1 + j 0.4 \Omega/\text{km}$$

$$z_{o2} = 0.3 + j 1.2 \Omega/\text{km}$$

Valeur de résistance de défaut détectée souhaitée = 150Ω (en général de 50 à 250Ω)

Rapports de TC aux postes A & B = 500/1 A

Rapports de TP aux postes A & B = $(220000/\sqrt{3}) / (100/\sqrt{3}) \text{ V}$

Nota : La valeur de résistance de défaut détectée souhaitée dépendra des niveaux de courants de défaut et des impédances, cette valeur devra être corrigée éventuellement en cas d'impossibilité.

En pratique la valeur minimale d'un défaut résistant à détecter est de l'ordre de 50Ω et la valeur maximale de l'ordre de 250Ω .

Calculs :

Par simplification il sera admis que toutes les impédances (sources et lignes) ont un argument de 76° ceci évite les calculs par les nombres complexes, sans cela les impédances de source devront être calculées sous la forme $Z_s = R_s + j X_s$, autrement dits les constantes de temps directes et homopolaires du réseau connues.

Rappelons qu'un réseau 220 kV de forte puissance de court-circuit a une constante de temps

$T_p = 0.1 \text{ s}$ correspondant à un argument de 88°

Impédances de sources :

Impédance directe de source Z_{ds1} :

$$Z_{ds1} = U_n / (\sqrt{3} \times I_{cc1}) = 220 / (\sqrt{3} \times 5) = 25.4 \Omega$$

Impédance homopolaire de source Z_{os1} :

$$Z_{os1} = [(U_n \times \sqrt{3}) / I_{t1}] - 2 Z_{ds1} = [(220 \times \sqrt{3}) / 4] - 2 \times 25.4 = 44.46 \Omega$$

Impédance directe de source Z_{ds2} :

$$Z_{ds1} = U_n / (\sqrt{3} \times I_{cc2}) = 220 / (\sqrt{3} \times 3) = 42.34 \Omega$$

Impédance homopolaire de source Z_{os2} :

$$Z_{os1} = [(U_n \times \sqrt{3}) / I_{t2}] - 2 Z_{ds2} = [(220 \times \sqrt{3}) / 2.5] - 2 \times 42.34 = 67.74 \Omega$$

 Tel: 01 48 15 09 09 Fax : 01 43 05 08 24 info@microener.com	Les Cahiers Techniques de MICROENER PROTECTION DES LIGNES AERIENNES HTB	Cahier N°5 Rev. A Pag. 47 / 53
--	--	---

Impédances de lignes :

Impédance directe de ligne Zdl1 :

$$Zdl1 = l1 \times zdl1 = 30 \times (0.1 + j 0.4) = \sqrt{(3^2 + 12^2)} = 12.37 \Omega$$

Impédance homopolaire de ligne Zol1 :

$$Zol1 = l1 \times zol1 = 30 \times (0.3 + j 1.2) = \sqrt{(9^2 + 36^2)} = 37.11 \Omega$$

Impédance directe de ligne Zdl2 :

$$Zdl2 = l2 \times zdl2 = 80 \times (0.1 + j 0.4) = \sqrt{(8^2 + 32^2)} = 32.98 \Omega$$

Impédance homopolaire de ligne Zol2 :

$$Zol2 = l2 \times zol2 = 80 \times (0.3 + j 1.2) = \sqrt{(24^2 + 96^2)} = 98.95 \Omega$$

Calcul des impédances Zam au poste B :

Impédance directe amont Zdam :

$$\begin{aligned} Zdam &= (Zds1 + Zdl1) // Zds2 \\ Zdam &= (25.4 + 12.37) // 42.34 \\ Zdam &= 37.77 // 42.34 \\ Zdam &= 19.96 \Omega \end{aligned}$$

Impédance homopolaire amont Zoam :

$$\begin{aligned} Zoam &= (Zos1 + Zol1) // Zos2 \\ Zoam &= (44.46 + 37.11) // 67.74 \\ Zoam &= 81.57 // 67.74 \\ Zoam &= 37 \Omega \end{aligned}$$

 Tel: 01 48 15 09 09 Fax : 01 43 05 08 24 info@microener.com	Les Cahiers Techniques de MICROENER PROTECTION DES LIGNES AERIENNES HTB	Cahier N°5 Rev. A Pag. 48 / 53
--	---	---

Défaut D (au point de mesure B) :

$$I_t = 3 V_n / (Z_{damont} + Z_{iamont} + Z_{oamont} + 3 R_{défaut})$$

$$Z_{damont} = Z_{dam} + Z_{dl2}$$

$$Z_{damont} = 19.96 + 32.98 = (j) 52.94 \Omega$$

$$Z_{iamont} = Z_{damont} = (j) 52.94 \Omega$$

$$Z_{oamont} = Z_{oam} + Z_{ol2}$$

$$Z_{oamont} = 37 + 98.95 = (j) 135.95 \Omega$$

$$3 R_{défaut} = 3 \times 150 = 450 \Omega$$

$$I_t = 220 \times \sqrt{3} / (j 52.94 + j 52.94 + j 135.95 + 450)$$

$$I_t = 220 \times \sqrt{3} / (j 241.83 + 450)$$

$$I_t = 220 \times \sqrt{3} / (\sqrt{(241.83^2 + 450^2)})$$

$$I_t = 0.75 \text{ kA}$$

$$I_t = I_r = 3 I_o$$

$$I_o = 0.25 \text{ kA}$$

$$V_o = - Z_{osam} \times I_o$$

$$V_o = - 37 \times 0.25 = 9.2 \text{ kV}$$

$$V_r = 3 V_o$$

$$V_r = 27.6 \text{ kV}$$

Conclusion :

Le courant de défaut I_r correspond, dans l'exemple, à $0.75 / 0.5 = 1.5 I_n$ et la tension résiduelle à $27.6 / (220/\sqrt{3}) = 21\% V_n$.

En utilisant un coefficient de sécurité de 2 les réglages suivants pourront être retenus :

Protection Ampèremétrique de secours :

$$I_t = 1.5 / 2 = 0.75 I_n \text{ (minimum } 0.2 I_n) \text{ avec temporisation } t_4 + 0.3 \text{ s}$$

Protection Ampèremétrique directionnalisée de secours :

$$I_t = 1.5 / 2 = 0.75 I_n \text{ (minimum } 0.1 I_n), U_r = 0.21 / 2 = 0.1 V_n \text{ (minimum } 0.1 V_n), \text{ avec temporisation } t_4 + 0.3 \text{ s}$$

Protection à comparaison directionnelle :

$I_t = 1.5 / 2 = 0.75 I_n$ (minimum $0.1 I_n$), $U_r = 0.21 / 2 = 0.1 V_n$ (minimum $0.1 V_n$), avec schéma de téléaction à autorisation (sans temporisation) ou à blocage $t = 50\text{ms}$.

 Tel: 01 48 15 09 09 Fax : 01 43 05 08 24 info@microener.com	Les Cahiers Techniques de MICROENER PROTECTION DES LIGNES AERIENNES HTB	Cahier N°5 Rev. A Pag. 49 / 53
--	--	---

➤ Puissance résiduelle à temps inverse :

$$Pr = Vr \times Ir \times \cos (\varphi - \varphi_0)$$

En absence de renseignements précis sur les arguments de source on prendra $\varphi = \varphi_0 = 75^\circ$, ce qui entraîne une erreur maximum de 11° si le défaut a lieu sur une ligne très courte dont l'argument de source peut être de 86° ($Tp = 0.1s$).

Cette erreur d'angle de 11° entraîne une erreur de 2% sur la puissance résiduelle donc négligeable.

Les formules EDF sont :

$$Sr = Vr \times Ir \times \cos (\varphi - \varphi_0)$$

$$td (s) = [0.2 \times (So/Sr) \times i] + to$$

Dans lesquels :

Sr = puissance résiduelle BT

Vr = tension résiduelle BT

φ = argument de l'impédance homopolaire amont au point de mesure ($\tan \varphi = X_{osam}/R_{osam}$)

φ_0 = angle constructeur = 75°

td = temps de déclenchement en s

So = puissance résiduelle de référence BT = 10 VA (calibre 1 A), 50 VA (calibre 5 A)

i = coefficient de translation de courbe de 1 à 9

to = temporisation de non-fonctionnement (supérieur au cycle monophasé et au temps de stade 3, en pratique de l'ordre de 1 s)

Dans un premier temps i sera choisi à 1 pour obtenir le maximum de sensibilité et une vérification de sélectivité sera faite avec les protections adjacentes :

temps déclenchement protection ligne amont $> td >$ temps déclenchement protection ligne aval pour défaut sur ligne aval.

Avec les valeurs de l'exemple ci-dessus (vérification de sélectivité effectuée à titre d'exemple pour une seule ligne) :

 Tel: 01 48 15 09 09 Fax : 01 43 05 08 24 info@microener.com	Les Cahiers Techniques de MICROENER PROTECTION DES LIGNES AERIENNES HTB	Cahier N°5 Rev. A Pag. 50 / 53
--	---	---

Au poste B :

$$V_{rBT} = 27600 / (220000/100) = 12.5 \text{ V}$$

$$I_{rBT} = 1500 / (500/1) = 3 \text{ A}$$

$$S_r = 12.5 \times 3 = 37.5 \text{ VA}$$

td avec $i = 1$ et $t_0 = 1 \text{ s}$

$$\begin{aligned} t_d (\text{s}) &= [0.2 \times (10/37.5) \times 1] + 1 \\ &= 1.053 \text{ s} \end{aligned}$$

Vérification de sélectivité avec la protection au poste B :

Le courant de défaut I_t (1.5 A BT) est fourni par les 2 sources Z_{s1} et Z_{s2} au prorata de leurs impédances :

$$\begin{aligned} \Sigma Z_{s1} &= Z_{ds1} + Z_{dl1} + Z_{is1} + Z_{il1} + Z_{os1} + Z_{ol1} \\ &= 25.4 + 12.37 + 25.4 + 12.37 + 44.46 + 37.11 \\ &= 157.11 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma Z_{s2} &= Z_{ds2} + Z_{is2} + Z_{os2} \\ &= 42.34 + 42.34 + 67.74 \\ &= 152.42 \Omega \end{aligned}$$

Le courant de défaut I_{t1} fourni par Z_{s1} sera :

$$\begin{aligned} I_{t1} &= (I_t \times \Sigma Z_{s2}) / (\Sigma Z_{s1} + \Sigma Z_{s2}) \\ I_{t1} &= (1.5 \times 152.42) / (157.11 + 152.42) \\ I_{t1} &= 0.74 \text{ kA} \end{aligned}$$

$$I_{o1} = 0.246 \text{ kA}$$

$$\begin{aligned} V_{o1} &= - Z_{os1} \times I_{o1} \\ V_{o1} &= - 44.46 \times 0.246 \\ V_{o1} &= 10.94 \text{ kV} \end{aligned}$$

$$V_{r1} = 32.8 \text{ kV}$$

 Tel: 01 48 15 09 09 Fax : 01 43 05 08 24 info@microener.com	Les Cahiers Techniques de MICROENER PROTECTION DES LIGNES AERIENNES HTB	Cahier N°5 Rev. A Pag. 51 / 53
--	--	---

Au poste A :

$$V_{rBT} = 32800 / (220000/100) = 14.9 \text{ V}$$

$$I_{rBT} = 740 / (500/1) = 1.48 \text{ A}$$

$$S_r = 14.9 \times 1.48 = 22 \text{ VA}$$

td avec $i = 1$ et $t_0 = 1 \text{ s}$

$$t_d (\text{s}) = [0.2 \times (10/22) \times 1] + 1 = 1.091 \text{ s}$$

l'écart de temps de déclenchement sera de :

$$1.091 - 1.053 = 0.038 \text{ s}$$

Cet écart étant insuffisant on prendra $i = 4$ soit

$$t_d (\text{s}) = [0.2 \times (10/22) \times 4] + 1 = 1.364 \text{ s}$$

l'écart de temps de déclenchement sera de :

$$1.364 - 1.053 = 0.311 \text{ s}$$

La même vérification sera faite pour toutes les lignes adjacentes et en cas de modification de i , une nouvelle vérification de lignes adjacentes effectuée.

Conclusion :

L'utilisation de la méthode de la puissance résiduelle, dont le principal avantage est l'autonomie, nécessite de nombreux calculs et en pratique est réservé aux réseaux où les grandeurs électriques sont parfaitement connues.

La solution à comparaison directionnelle (utilisant les téléactions à dépassement) est préférable, car plus facile à mettre en œuvre.

MICROENER Tel: 01 48 15 09 09 Fax : 01 43 05 08 24 info@microener.com	Les Cahiers Techniques de MICROENER PROTECTION DES LIGNES AERIENNES HTB	Cahier N°5
		Rev. A Pag. 52 / 53

Protection de secours par surintensité de courant inverse

Il s'agit d'une technique américaine, dans un réseau sain la composante inverse correspond au déséquilibre et est pratiquement nulle (quelques %). En cas de défauts dissymétriques (n'intéressant qu'une ou 2 phases) la composante inverse devient importante (ainsi que pendant un cycle monophasé)

Certains constructeurs américains proposent cette fonction avec Contrôle de Direction ou non

Déclenchement à temps dépendant (variation de courant inverse importante en fonction de la position du défaut) :

Courbes CEI ou courbes IEEE

$$T(I_i) = TMS \left[T_o + \frac{K}{\left(\frac{I_i}{pick-up} \right)^m - 1} \right]$$

To, K, m sont définis lorsque les normes CEI ou IEEE retenues

TMS (Time Multiplier Setting) réglable de 0.5 à 10

Le courant inverse sera calculé pour différentes positions de défaut biphasé isolé, dans la ligne

Dans une ligne $Z_d = Z_i$

Formule du défaut biphasé isolé :

$$I_{bi} = U_n / (Z_d + Z_i) = 0.5 U_n / Z_i = 0.866 I_{cc}$$

Lorsque le courant de défaut au poste est important et la longueur de ligne importante, la courbe à temps dépendant inverse choisie devra permettre les cycles monophasés (temps minimum 1s).

En fait en cas de cycle monophasé la caractéristique à temps dépendant ne présente pratiquement pas d'avantages et le déclenchement à temps constant retenu (même philosophie que pour les protections de courant résiduel, à savoir :

Le seuil en courant inverse, insensible à l'impédance de charge, peut être réglé de 0.1 à 0.2 In.

La temporisation sera réglée à $t_4 + 0.3$ s (t_4 = temporisation de 4^{ème} stade), avec temps minimum de 1s.

 Tel: 01 48 15 09 09 Fax : 01 43 05 08 24 info@microener.com	Les Cahiers Techniques de MICROENER PROTECTION DES LIGNES AERIENNES HTB	Cahier N°5 Rev. A Pag. 53 / 53
--	--	---

Protection à maximum de tension

La fonction à maximum de tension sera réglée pour protéger le matériel et réglée à $U_{max} + 5\%$.

En absence de données précises, un réglage à $1.2 U_n$ sera retenu avec une temporisation de 1 s pour permettre aux régleurs d'effectuer les corrections.

Protection à minimum de tension

La fonction à minimum de tension sera réglée pour détecter les baisses anormales de tension et réglée à $U_{min} - 5\%$.

Tout défaut à 120% de la longueur de ligne devra être détecté. En absence de données précises, un réglage à $0.8 U_n$ sera retenu.

➤ Exemple:

Icc mini au poste : 5 kA, ligne 220 kV de longueur 100 km, caractéristiques de ligne

$Z_d = 0.1 + j 0.4 \Omega/\text{km}$

Impédance de source :

$$Z_{ds} = U_n / (\sqrt{3} \times I_{cc}) = 220 / (\sqrt{3} \times 5) = 25.4 \Omega$$

Impédance de ligne :

$$Z_{dl} = 100 \times (0.1 + j 0.4) = 41.23 \Omega$$

Défaut à 120% :

$$41.23 \times 1.2 = 49.48 \Omega$$

La tension au point de mesure sera :

$$U = U_n \times [Z_{dl} / (Z_{dl} + Z_{ds})]$$

$$U = 100 \times [49.48 / (49.48 + 25.4)] = 66 \text{ soit } 66\%$$

Dans ce cas un réglage à 60% de U_n sera retenu avec une temporisation de 1 s pour permettre aux protections d'éliminer le défaut.

Supervision des circuits de déclenchement

Lorsqu'elle n'est pas prévue par ailleurs (voir protections jeux de barres et disjoncteurs) cette fonction sera prévue.

La continuité du circuit est vérifiée par un courant faible, qui ne provoque pas le fonctionnement de la bobine, le contact de déclenchement étant simulés en position «fermé».

De la même manière la source auxiliaire de déclenchement est vérifiée.