

# Cahier Technique N°7

## Définition des Réducteurs de Mesure



**MICROENER**

<b>AVANT PROPOS .....</b>	<b>3</b>
<b>DIMENSIONNEMENT DE TRANSFORMATEURS DE TENSION (TT).....</b>	<b>4</b>
ENROULEMENT SECONDAIRE MESURE & COMPTAGE.....	4
ENROULEMENT SECONDAIRE PROTECTION.....	5
ENROULEMENT SECONDAIRE FERRO-RESONNANCE .....	6
<b>DIMENSIONNEMENT DE TRANSFORMATEURS DE COURANT (TC).....</b>	<b>7</b>
COURANT NOMINAL THERMIQUE ITH.....	7
VALEUR DE CRETE DU COURANT ADMISSIBLE IDYN .....	8
COURANT "NOMINAL" PRIMAIRE IPN.....	8
COURANT "NOMINAL" SECONDAIRE ISN .....	8
ENROULEMENT SECONDAIRE MESURE .....	8
ENROULEMENT SECONDAIRE COMPTAGE .....	9
ENROULEMENT SECONDAIRE PROTECTION.....	10
DIMENSIONNEMENT DE KTD.....	10

**AVANT PROPOS**

Ce document présente les éléments nécessaires à la définition des transformateurs de courant et de tension (TC et TT). C'est la raison pour laquelle ne sont évoqués que leurs paramètres nécessaires aux constructeurs de ses réducteurs de mesure.

**DONNEES DE BASE COMMUNES TC & TT (ou TP) :**

- o Contraintes du site : Altitude, Température max & mini, Séisme, Pollution, Normes internes au client, (ex : < 1000 m, - 7° + 43°, 0,1 g, Cimenterie 25 mm/kV, Normes Groupe PSA).
- o Tension nominale du réseau (ex : 90 kV).
- o Normes retenues (ex : TC = CEI 185 & si régime transitoire = CEI 44-6, TP = CEI 186).
- o Courant maximum de transit  $I_t$  prévu (ex : ligne aérienne  $I_t = 400$  A).

**DONNEES TECHNIQUES DU RESEAU :**

- o Courant de court-circuit actuel maximum entre phases (ex : 6,9 kA).
- o Courant de court-circuit actuel minimum entre phases (ex : 4,9 kA).
- o Constante de temps primaire du réseau (ex :  $T_p = 0,06$  s).
- o Courant de court-circuit actuel maximum phase-terre (ex : 5,2 kA).
- o Courant de court-circuit actuel minimum phase-terre (ex : 4,2 kA).
- o Courant de court-circuit prévu maximum entre phases (ex : 9,8 kA).
- o Courant de court-circuit prévu maximum phase-terre (ex : 8,2 kA).

**DEFINITIONS COMMUNES TC & TP :**

Suivant les normes retenues :

- o Tension la plus élevée du réseau (ex : 100 kV).
- o Tension d'essai diélectrique (ex : 185 kV correspondant à la pleine isolation ou 150 kV correspondant à l'isolation réduite).
- o Tension d'essai d'ondes de choc (ex : 450 kV correspondant à la pleine isolation ou 380 kV correspondant à l'isolation réduite).

Note : A titre d'information EDF a retenu la pleine isolation soit :

- o 72,5 / 140 / 325 kV pour les réseaux 63 kV,
- o 100 / 185 / 450 kV pour les réseaux 90 kV, et non 100 / 150 / 380 kV,
- o 245 / 460 / 1050 kV pour les réseaux 225 kV et non 245 / 360 / 825 kV ou 245 / 395 / 900 kV.

Pour les atmosphères polluées (ex : cimenterie, ou atmosphère saline), les porcelaines seront de type à ligne de fuite allongée (ex : 31 mm / kV pour atmosphère saline sans pluie).

## **DIMENSIONNEMENT DE TRANSFORMATEURS DE TENSION (TT)**

Sur les réseaux à Moyenne Tension (MT), les TT suivant les modèles se raccordent au primaire soit entre 2 phases (2 pôles isolés) soit entre 1 phase et la terre (1 pôle isolé).

Rappelons que pour faire une mesure de tension résiduelle il est nécessaire de disposer de 3 TT entre phase et terre ( $U_r = (V_1 + V_2 + V_3)$ ).

Pour les réseaux à haute tension (HT), les TT se raccordent obligatoirement au primaire entre 1 phase et la terre (1 pôle isolé), ils peuvent être du type inductif ou du type capacitif.

Le type capacitif peut être utilisé pour de la transmission de signaux de "communication", en cas d'imposition sur la valeur de la capacité il y a lieu de le spécifier clairement ainsi que la présence d'un circuit bouchon (avec côtes mécaniques pour la mise en place sur les TT capacitifs).

### **Facteur de tension :**

Selon le régime de neutre, en cas de défaut monophasé, la phase en défaut se trouve au potentiel de la terre, par contre les phases saines se trouvent à des potentiels phase – terre qui peuvent être importants.

La surtension admissible devra être spécifiée :

- o tout régime de neutre : 1,2  $U_n$  continu entre phases.
- o 1,9  $U_n$ , 8 h, phase – terre, dans le cas d'un réseau exploité isolé.
- o 1,5  $U_n$ , 30 s, phase – terre, dans le cas d'un réseau exploité à neutre direct à la terre.

### **Tension "nominale" primaire $U_{pn}$ :**

La tension nominale primaire sera prise égale à la tension nominale du réseau.

- o ENTRE PHASES, lorsque les TT sont à 2 pôles isolés (ex : 20 kV).
- o PHASE – TERRE, lorsque les TT sont à 1 pôle isolé (ex :  $90 / \sqrt{3}$  kV).

### **Tension "nominale" secondaire $U_{sn}$ :**

La tension nominale secondaire sera prise suivant les valeurs normalisées utilisées dans le pays soit 0,1 kV (ou 100 V) en France.

- o ENTRE PHASES, lorsque les TT sont à 2 pôles isolés (ex : 0,1 kV).
- o PHASE – TERRE, lorsque les TT sont à 1 pôle isolé (ex :  $0,1 / \sqrt{3}$  kV).

Note : Le rapport de transformation s'exprimera donc sous la forme :

- o 20 / 0,1 kV ou 20000 / 100 V
- o  $90 / \sqrt{3} / 0,1 / \sqrt{3}$  kV ou 90000 /  $\sqrt{3} / 100 / \sqrt{3}$  V

## **Enroulement secondaire Mesure & Comptage**

Il est défini par une puissance de précision, une puissance d'échauffement & une classe de précision.

### **Puissance de précision :**

Les valeurs des puissances de précision normalisées sont : 2,5 – 5 – 10 – 15 – 30 – 50 – 75 – 100 – 150 VA

### **Puissance d'échauffement :**

La norme n'impose pas de valeurs, celles-ci dépendront du modèle et du constructeur. Cette caractéristique est de moindre importance.

 Sce Technique : 01 48 15 09 03 Fax : 01 43 05 08 24	<b>Les Cahiers Techniques de MICROENER</b>  <b>DEFINITION DES REDUCTEURS DE MESURE</b>	Cahier N°7
		Rev. <b>A</b> Page 5 sur 14

### Classe de précision :

Les valeurs des classes normalisées sont : 0,2 – 0,5 – 1 – 3. Les valeurs préférentielles seront 0,5 & 1 (suivant la précision des appareils de mesure raccordés). La classe 0,2 étant généralement réservée aux comptages de facturation, où une très grande précision est requise. La classe 3 est généralement réservée à des voltmètres indicateurs.

### ➤ Application numérique :

Soit un TT dont le secondaire est de  $100 / \sqrt{3}$  V - Consommation Compteurs + Centrale de mesure = par phase : (2 x 0,1 VA) + 0,5 VA

Filerie entre TT & Compteurs + Centrale de mesure = 2 x 0,12 km en 1,5<sup>2</sup>

La filerie pour les TT n'intervient pas dans la puissance nécessaire, la résistance de filerie est "source d'erreur".

$$S_{va} \text{ nécessaire} = 0,1 + 0,1 + 0,5 = 0,7 \text{ VA}$$

Conformément à la norme : 0,7 VA < S<sub>va</sub> (en VA) normalisée retenue < 2,8 VA

La puissance normalisée qui pourra être retenue est 2,5 VA en classe 0,2 par exemple, toute puissance supérieure entraînera une erreur supplémentaire de surdimensionnement.

Calcul d'erreur supplémentaire due à la filerie :

$$\text{Courant circulant dans le secondaire : } I_c = 0,7 / (100 / \sqrt{3}) = 0,012 \text{ A}$$

$$\text{Résistance de filerie } R_f = 0,24 * 20 / 1,5 = 3,2 \Omega$$

$$\text{Chute de tension dans la filerie : } \Delta U = 3,2 * 0,012 = 0,038 \text{ V}$$

$$\text{Erreur due à la filerie : } 0,038 / 57,735 = 0,06\% \text{ donc acceptable avec la classe 0,2}$$

### **Enroulement Secondaire PROTECTION**

Il est défini par une puissance de précision, une puissance d'échauffement & une classe de précision.

### Puissance de précision :

Les valeurs des puissances de précision normalisées sont : 2,5 – 5 – 10 – 15 – 30 – 50 – 75 – 100 – 150 VA

### Puissance d'échauffement :

La norme n'impose pas de valeurs, celles-ci dépendront du modèle et du constructeur.

Cette caractéristique est de moindre importance.

### Classe de précision :

Les valeurs des classes normalisées sont : 3P – 6P

La valeur préférentielle est 3P (la classe 6P est utilisable, car déphasage garanti, mais conduit à des erreurs de ± 6% au lieu de ± 3%).

➤ Application numérique

Soit un TT dont le secondaire est de  $100 / \sqrt{3}$  V - Consommation Protections = par phase : (2 x 0,1 VA) - Filerie entre TT et Protections =  $2 \times 0,12$  km en  $1^2$

La filerie pour les TT n'intervient pas dans la puissance nécessaire, la résistance de filerie est "source d'erreur".

$$S_{va} \text{ nécessaire} = 0,1 + 0,1 = 0,2 \text{ VA}$$

Conformément à la norme :  $0,2 \text{ VA} < S_{va}$  (en VA) normalisée retenue  $< 0,8 \text{ VA}$

La puissance normalisée qui pourra être retenue est 2,5 VA en classe 3P par exemple, pour respecter la classe de précision il serait souhaitable de mettre une charge supplémentaire de 2 VA, en fait la puissance supérieure entraînera une erreur supplémentaire de surdimensionnement.

Calcul d'erreur supplémentaire due à la filerie (calcul de principe) :

$$\text{Courant circulant dans le secondaire : } I_c = 0,2 / (100 / \sqrt{3}) = 0,003 \text{ A}$$

$$\text{Résistance de filerie } R_f = 0,24 * 20 / 1 = 4,8 \Omega$$

$$\text{Chute de tension dans la filerie : } \Delta U = 4,8 * 0,003 = 0,015 \text{ V}$$

$$\text{Erreur due à la filerie : } 0,015 / 57,735 = 0,03\% \text{ donc acceptable avec la classe 3P}$$

### **Enroulement secondaire FERRO-RESONNANCE**

En moyenne tension (MT) notamment, dans les réseaux à neutre isolé ou "mal fixé à la terre", il peut se produire des phénomènes de ferro-résonnance parallèle entraînant des surtensions dommageables au matériel.

Ce phénomène pourra être "inhibé" par une résistance de 50 à 100 W placée dans un triangle ouvert au secondaire de 3 TT montés en étoile (montage phase-terre).

Il n'est pas nécessaire de définir ce secondaire pour une grande précision, une puissance de précision de 50 VA en classe 3 mesure ou une puissance d'échauffement de 150 VA suffisent.

Bien que non impératif, ce secondaire est défini généralement en  $100 / 3$  V, de manière à ce que lors d'un défaut à la terre sur un réseau à neutre isolé ou "mal fixé à la terre", la tension aux bornes du triangle ouvert soit :  $(100 / 3) * 3 = 100$  V.

Dans ces conditions, pour une puissance moyenne de 75 W, la valeur de la résistance sera de :

$$R = U^2 / P = 100^2 / 75 = 133 \Omega$$

La valeur retenue sera la valeur normalisée du constructeur la plus proche de cette valeur théorique (une résistance de 200  $\Omega$  pourra être de 50 W, alors qu'une résistance de 100  $\Omega$  devra être de 100 W).

Note : La définition ci-dessus des TT impose 3 secondaires. Dans le cas où la réalisation des TT limiterait à 2 le nombre de secondaires et que les risques de ferro-résonnance existent il y aurait lieu de choisir :

Un enroulement protection + mesure avec la double classe 0,5 et 3P (classe 0,2 incompatible)

Un enroulement pour la ferro-résonnance.

**DIMENSIONNEMENT DE TRANSFORMATEURS DE COURANT (TC)**

Dans cette partie du document, il est admis que les enroulements protections des TC devront répondre aux exigences provoquées par le régime transitoire (courant aperiodique). Ils seront du type à faible flux de fuites (classe P, voir définition 3.18).

En ce qui concerne les protections la symbolisation retenue est celle de la norme CEI 44-6.

$I_{psc}$  = courant primaire de court-circuit

classe P = limite de précision définie par l'erreur composée pour un courant primaire symétrique de régime établi.

Aucune limite pour le flux rémanent

$T_p$  = constante de temps primaire

$t_{al}$  = temps admissible jusqu'à la limite de précision

$t_{fr}$  = temps de pause (au cours d'un réenclenchement automatique).

F-O = cycle de fonctionnement à un seul passage du courant F-t'-O ( $t'$  est la durée du premier passage du courant, la précision spécifiée étant conservée pendant le temps  $t'_{al}$ )

F-O-F-O = cycle de fonctionnement à deux passages du courant F-t'-O-tfr-F-t''-O, les deux passages ont la même polarité du flux, ( $t'$  est la durée du premier passage du courant, la précision spécifiée étant conservée pendant le temps  $t'_{al}$ ,  $t''$  est la durée du deuxième passage du courant, la précision spécifiée étant conservée pendant le temps  $t''_{al}$ )

$R_b$  = charge résistive connectée aux bornes secondaires, exprimée en  $\Omega$

$R_{ct}$  = résistance CC de l'enroulement secondaire à 75°C, exprimée en  $\Omega$

$R_s$  = résistance de la boucle secondaire  $R_s = R_b + R_{ct}$ , exprimée en  $\Omega$

$T_s$  = constante de temps de la boucle secondaire,  $T_s = L_s / R_s$ ,

$K_{ssc}$  = facteur de courant symétrique de court-circuit,  $K_{ssc} = I_{psc} / I_{pn}$ , les valeurs préférentielles sont 10, 15, 20 avec un maximum de 50

$K_{tf}$  = facteur de régime transitoire (rapport de flux, pour un seul passage du courant)

$K_{td}$  = facteur de dimensionnement pour le régime transitoire (nécessaire pour satisfaire au cycle de fonctionnement spécifié)

$E_{al}$  = force électromotrice secondaire limite équivalente  $E_{al} = K_{ssc} K_{td} (R_{ct} + R_b) I_{sn}$ ,

$U_{al}$  = tension secondaire limite d'excitation équivalente  $U_{al} = E_{al} F_c$  ( $F_c$  est le facteur de construction déclaré par le constructeur pour garantir  $E_{al}$ ),

Note : Pour les calculs on prendra  $U_{al} = E_{al} (F_c = 1)$ .

La norme CEI 44-6, implicitement, retient un taux d'asymétrie de 100% (défaut au passage à zéro de la tension), en pratique les utilisateurs définissent t% compris entre 30 et 100% (ex : EDF retient 30% pour les câbles, 70% pour le premier passage du courant et 100% pour le deuxième passage avec la même polarité du flux).

S'il est souhaité un coefficient général de sécurité, sur  $U_{al}$ , de 1,2 pourra être retenu.

**Courant nominal thermique  $I_{th}$** 

Appelé  $I_{th}$  ce courant à la particularité suivante :

$I_{th} \geq I_{psc}$  (en général coefficient de sécurité de 2 compte tenu des extensions futures).

Les valeurs normalisées de courant (pour la HT) sont : 8 – 10 – 12,5 – 16 – 20 – 25 – 31,5 – 40 – 50 – 63 kA

La durée est en général de 1 s. Ce temps n'est pas impératif et la norme tolère l'application de la formule  $I^2t = \text{constante}$  pour  $0,5 \text{ s} < t < 5 \text{ s}$  (ex : 31,5 kA 1 s correspond à 18,2 kA 3s).

En général pour les différentes tensions (dites "les plus élevées du réseau") :

U = 72,5 kV,  $I_{th}$  retenus = 20 ou 25 kA

U = 100 kV,  $I_{th}$  retenu = 20 kA

U = 245 kV,  $I_{th}$  retenus = 20 ou 31,5 kA

U = 420 kV,  $I_{th}$  retenu = 40 kA

Note : Normalement pour un poste neuf,  $I_{th}$  retenu doit être le même pour les disjoncteurs et les TC.

 Sce Technique : 01 48 15 09 03 Fax : 01 43 05 08 24	<b>Les Cahiers Techniques de MICROENER</b>  <b>DEFINITION DES REDUCTEURS DE MESURE</b>	Cahier N°7
		Rev. <b>A</b> Page 8 sur 14

### Valeur de crête du courant admissible Idyn

La norme donne la valeur de Idyn = 2,5 Ith. Cette valeur dépendant de Tp, Idyn peut atteindre 2,72 Ith lorsque la constante de temps Tp = 0,12 s.

Dans le cas où Ith = Ipsc, il y aura lieu d'effectuer le calcul de Idyn et de préciser cette valeur.

### Courant "nominal" primaire Ipn

La valeur du courant Ipn pour les "Mesures & Comptage" peut être différent de Ipn "Protection".

#### Mesures & Comptage :

Ipn sera supérieur au courant de transit It (ex : si It = 400 A, Ipn pourra être choisi à 500 A).

#### Protection :

Ipn > Ipsc / Kssc (ex : si Ipsc = 9,8 kA, avec Kssc max recommandé de 20, Ipn > 9800 / 20 soit Ipn > 490 A, Ipn de 500 A convient).

Compte-tenu que Ipsc peut être égal à Ith (ex : 20 kA) il est souhaitable de prévoir des TC à double primaire : 500 A pour Ipsc = 9,8 kA & 1000 A pour Ipsc = Ith = 20 kA.

Le double rapport sera obtenu par couplage en tête (série – parallèle) permettant d'obtenir les mêmes caractéristiques électriques pour les 2 rapports.

Si le double rapport est souhaité, par couplage en tête, pour les protections sans changement de Ipn pour les Mesures & Comptage il sera nécessaire de prévoir les secondaires Mesures & Comptage avec une prise à 250 A (cette prise donnera Ipn = 250 A en couplage série et Ipn = 500 A en couplage parallèle).

Les primaires seront choisis dans les valeurs (ou multiples ou sous multiples décimaux) :

1 – 1,25 – 1,5 – 2 – 2,5 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7,5

### Courant "nominal" secondaire Isn

Le courant Isn pour les "Mesures & Comptage" peut être différent de Isn "Protection".

#### Mesures & Comptage :

Isn pourra être pris à 5 A ou 1 A (lorsque la longueur de la filerie est très importante : Isn = 1 A sera préféré).

#### Protection :

Sans prise en compte du régime transitoire, Isn pourra être pris à 5 A ou 1 A (lorsque la longueur de la filerie sera très importante, Isn = 1 A sera préféré).

Avec prise en compte du régime transitoire, Isn sera pris impérativement à 1 A (pour diminuer l'influence de la résistance de filerie).

### Enroulement secondaire Mesure

Il est défini par une puissance de précision et une classe de précision.

#### Puissance de précision :

Les valeurs des puissances de précision normalisées sont : 2,5 – 5 – 10 – 15 – 30 – 50 – 75 – 100 VA

La puissance Sva est définie à partir de Rb :  $R_b = R_m + R_f$

où

Rm = résistance des différents appareils de mesure raccordés en série (en Ω).

Rm (en Ω) = (Σ consommations en VA) / Isn<sup>2</sup> (Isn en A).

Rf (en Ω), = résistance de la boucle de filerie L (aller et retour).

Rf (en Ω), = L (km) \* 20 / S (mm<sup>2</sup>).

S = section du conducteur de filerie (en mm<sup>2</sup>)

Sva (en VA) nécessaire = Rb \* Isn<sup>2</sup>

Conformément à la norme :

Sva (en VA) nécessaire < Sva (en VA) normalisée retenue < 4 \* Sva (en VA) nécessaire.

**Classe de précision :**

Les valeurs des classes normalisées sont : 0,1 – 0,2 – 0,5 – 1 – 3 – 5

Les valeurs préférentielles seront 0,5 & 1 (suivant la précision des appareils de mesure raccordés).

Les valeurs 0,1 & 0,2 étant généralement réservés à des "process", où une très grande précision est requise.

Les valeurs 3 & 5 étant généralement réservés à des ampèremètres indicateurs.

**➤ Application numérique**

Soit un TC,  $I_{ns} = 5 \text{ A}$

Consommations Appareils de mesure = 0,1 VA + 1 VA + 0,5 VA

Filerie entre TC & Appareils de mesure = 2 x 0,12 km en 6<sup>2</sup>

$$R_m = (0,1 + 1 + 0,5) / 5^2 = 0,064 \Omega$$

$$R_f = 0,24 * 20 / 6 = 0,8 \Omega$$

$$R_b = 0,064 + 0,8 = 0,864 \Omega$$

$$S_{va} \text{ nécessaire} = 0,864 * 5^2 = 21,6 \text{ VA}$$

Conformément à la norme :

$$21,6 \text{ VA} < S_{va} \text{ (en VA) normalisée retenue} < 86,4 \text{ VA}$$

Les puissances normalisées qui pourront être retenues sont 30 – 50 ou 75 VA en classe 0,5 par exemple.

**Enroulement secondaire Comptage**

Il est défini par une puissance de précision et une classe de précision.

**Puissance de précision :**

Les valeurs des puissances de précision normalisées sont : 2,5 – 5 – 10 – 15 – 30 – 50 – 75 – 100 VA

La puissance  $S_{va}$  est définie à partir de  $R_b$  :  $R_b = R_c + R_f$

où

$R_c$  = résistance des différents compteurs raccordés (en  $\Omega$ ).

$R_m$  (en  $\Omega$ ) =  $(\Sigma \text{ consommations en VA}) / I_{sn}^2$  (en A).

$R_f$  (en  $\Omega$ ), = résistance de la boucle de filerie (aller et retour).

$R_f$  (en  $\Omega$ ), =  $L$  (km) \* 20 / S (mm<sup>2</sup>)

$S_{va}$  (en VA) nécessaire =  $R_b * I_{sn}^2$

Conformément à la norme :

$$S_{va} \text{ (en VA) nécessaire} < S_{va} \text{ (en VA) normalisée retenue} < 4 * S_{va} \text{ (en VA) nécessaire.}$$

**Classe de précision :**

Les valeurs des classes normalisées sont : 0,2S & 0,5S.

Pour la facturation la valeur préférentielle est 0,2S (suivant la précision des compteurs raccordés).

**➤ Application numérique**

Soit un TC,  $I_{ns} = 1 \text{ A}$

Consommation Compteurs = 2 x 0,1 VA

Filerie entre TC & Compteurs = 2 x 0,12 km en 4<sup>2</sup>

$$R_c = (0,1 + 0,1) / 1^2 = 0,2 \Omega$$

$$R_f = 0,24 * 20 / 4 = 1,2 \Omega$$

$$R_b = 0,2 + 1,2 = 1,4 \Omega$$

$$S_{va} \text{ nécessaire} = 1,4 * 1^2 = 1,4 \text{ VA}$$

Conformément à la norme :

$$1,4 \text{ VA} < S_{va} \text{ (en VA) normalisée retenue} < 5,6 \text{ VA}$$

Les puissances normalisées qui pourront être retenues sont 2,5 ou 5 VA en classe 0,2S par exemple.

**Enroulement secondaire Protection**

Il est défini par une puissance de précision, une classe de précision et un facteur limite de précision.

**Classe de précision :**

Les valeurs des classes normalisées sont : 5P & 10P

La valeur préférentielle est 5P (la classe 10P ne donne aucune garantie sur le déphasage, donc réservée aux fonctions ampèremétriques).

Facteur limite de précision (Flp) :

Les valeurs des facteurs limites de précision normalisées sont : 5 – 10 – 15 – 20 – 30 – 40

La valeur préférentielle est 20 (cette valeur pourra être ajustée, voir exemples ci-après).

**Puissance de précision :**

Les valeurs des puissances de précision normalisées sont : 2,5 – 5 – 10 – 15 – 30 – 50 – 75 – 100 VA

La puissance Sva sera définie à partir des formules générales :

$$S_{va} = \left( \frac{U_{al} / Flp}{I_{sn}} - R_{ct} \right) I_{sn}^2 \qquad U_{al} = I_{psc} \times \frac{I_{sn}}{I_{pn}} \times K_{td} \times R_s$$

Ual = tension limite de précision.

Ipsc = courant de court-circuit primaire pour lequel on souhaite la non-saturation des TC.

Ipn = courant nominal primaire.

I<sub>sn</sub> = courant nominal secondaire.

Ktd = coefficient de dimensionnement (voir ci-après). Ktd = 1 le régime transitoire n'est pas pris en compte, seul le régime permanent symétrique (ex défaut se produisant au maximum de tension) est pris en compte.

Rs = résistance dans la boucle secondaire. = Rs = Rct + Rr + Rf

Rct = résistance (en CC) du secondaire du TC ramené à 75°C (en Ω).

Rr = résistance des différentes protections raccordées (en Ω).

Rr (en Ω) = (Σ consommations en VA) / I<sub>sn</sub><sup>2</sup>(en A).

Rf (en Ω), = résistance de la boucle L de filerie (aller et retour pour défaut phase-terre et aller pour défaut entre phases si connexion TC – RELAIS en 4 conducteurs, aller et retour pour défaut entre phases si connexion TC – RELAIS en 6 conducteurs, compte tenu des incertitudes l'aller et retour sera systématiquement retenu).

Rf (en Ω), = L (km) \* 20 / S (mm<sup>2</sup>).

**Dimensionnement de Ktd**

Soit un TC, Ipn = 500 A, I<sub>sn</sub> = 5 A, donnée constructeur TC : Rct = 0,4 Ω (à 75°C) - Réseau, Ipsc = 9800 A - Consommations Relais de protection = 0,1 VA + 0,1 VA - Filerie entre TC & Relais de protection = 2 x 0,12 km en 6<sup>2</sup>

$$R_r = (0,1 + 0,1) / 5^2 = 0,008 \Omega$$

$$R_f = 0,24 * 20 / 6 = 0,8 \Omega$$

$$R_s = 0,4 + 0,008 + 0,8 = 1,208 \Omega$$

$$U_{al} = 9800 \times \frac{5}{500} \times 1 \times 1,208 = 118,4V$$

Flp proposé = 20 :

$$S_{va} = \left( \frac{118,4 / 20}{5} - 0,4 \right) \times 5^2 = 19,6VA$$

La puissance normalisée qui pourra être retenue est 30 VA en classe 5P20 par exemple.

**Ktd pour cycle F-O**

(ex : protection de distance pour ligne aérienne sans réenclenchement ou protection différentielle) :

Formule CEI 44-6 (voir définitions de la norme ci-dessus) :

$$Ktd = \left[ \frac{\omega T_p T_s}{(T_s - T_p)} \right] \left( e^{-t'/T_s} - e^{-t'/T_p} \right) + 1$$

Formule appliquée CEI 44-6 ( $t' = tal$ ) :

$$Ktd = \left[ \frac{\omega T_p T_s}{(T_s - T_p)} \right] \left( e^{-tal/T_s} - e^{-tal/T_p} \right) + 1$$

Formule constructeur appliquée ( $T_s \gg T_p$ , pas d'entrefer) :

$$Ktd = \left[ (1 - e^{-tal/T_p}) * \omega * T_p * t\% \right] + 1$$

**➤ Exemple de définition de Ktd :**

Formule appliquée CEI 44-6 - Données réseau :  $f_n = 50$  HZ,  $T_p = 0,06$  s - Données constructeur TC :  $I_{sn} = 1$  A, sur la courbe de magnétisation des TC :  $I_m = 0,02$  A à  $V_m = 270$  V (ou toute tension entre 0,1 Ual & 0,7 Ual),  $R_{ct} = 4 \Omega$  (à 75°C) - Données constructeur de relais :  $tal = 0,03$  s, consommations = 0,2 VA - Filerie entre TC & Relais de protection = 2 x 0,12 km en 6<sup>2</sup>

Note sur l'ordre de grandeur de  $T_p$  : En absence de valeurs communiquées, les valeurs suivantes pourront être retenues :

63 kV  $T_p = 0,04$  s, 90 kV  $T_p = 0,06$  s, 150 kV  $T_p = 0,08$  s, 225 kV  $T_p = 0,1$  s,  
400 kV  $T_p = 0,12$  s. EDF pour les réseaux 225 & 400 kV retient 0,12 s.

Détermination de  $T_s$  ( $T_s = L_s / R_s$ ) :

$$L_s = Z_m / \omega$$

$$Z_m = U_m / I_m = 270 / 0,02 = 13500 \Omega$$

$$L_s = 13500 / (2 \times 3,1416 \times 50) = 42,972 \text{ H}$$

$$R_s = R_{ct} + R_b$$

$$R_b = R_r + R_f$$

$$R_r = \text{consommation (en VA)} / I_{sn}^2 = 0,2 / 1^2 = 0,2 \Omega$$

$$R_f = 0,24 * 20 / 6 = 0,8 \Omega$$

$$R_b = 0,2 + 0,8 = 1 \Omega$$

$$R_s = 4 + 1 = 5 \Omega$$

$$T_s = 42,972 / 5 = 8,594 \text{ s}$$

$$Ktd = \left[ \frac{314,16 \times 0,06 \times 8,594}{8,594 - 0,06} \right] \times \left( e^{-0,03/8,594} - e^{-0,03/0,06} \right) + 1$$

$$Ktd = [18,982 \times (0,997 - 0,607)] + 1 = 8,40$$

Formule constructeur appliquée ( $T_s \gg T_p$ , pas d'entrefer) :

$$Ktd = \left[ (1 - e^{-0,03/0,06}) \times 314,16 \times 0,06 \times 1 \right] + 1$$

$$Ktd = (0,393 \times 314,16 \times 0,06) + 1 = 8,41$$

Les 2 valeurs de Ktd sont identiques et la "formule constructeur appliquée" plus facile d'utilisation car elle ne nécessite pas le calcul de  $T_s$ .

Détermination de la puissance :

Hypothèses :

$I_{psc} = 9800 \text{ A}$  (valeur maximum compatible avec rapport de TC car  $K_{ssc} = 20$ )

$I_{pn} / I_{sn} = 500 / 1 \text{ A}$

$K_{td} = 8,4$  (voir calculs ci-dessus)

$R_{ct} = 4 \Omega$

$R_s = 5 \Omega$  (voir calculs ci-dessus)

$$U_{al} = 9800 \times \frac{1}{500} \times 8,41 \times 5 = 824V$$

Avec  $F_{lp} = 20$  par exemple :

$$S_{va} = \left( \frac{824/20}{1} - 4 \right) \times 1^2 = 37,2VA$$

La puissance normalisée qui pourra être retenue est 50 VA en classe 5P20 par exemple.

Avec  $F_{lp} = 30$  par exemple :

$$S_{va} = \left( \frac{824/30}{1} - 4 \right) \times 1^2 = 23,5VA$$

La puissance normalisée qui pourra être retenue est 30 VA en classe 5P30 par exemple.

**Ktd pour cycle F-O-F-O**

(ex : protection de distance pour ligne aérienne avec réenclenchement) :

Formule CEI 44-6 :

$$Ktd = \left[ \frac{\omega * Tp * Ts}{Ts - Tp} * \left[ e^{-t'/Ts} - e^{-t'/Tp} \right] + 1 \right] * e^{-(tfr+t'')/Ts} + \frac{\omega * Tp * Ts}{(Ts - Tp)} * \left[ e^{-t''/Ts} - e^{-t''/Tp} \right] + 1$$

Formule CEI 44-6 appliquée (taux t%, et saturation possible après t"al 2ème passage = tal) :

$$Ktd = \left[ \frac{\omega * Tp * Ts}{Ts - Tp} * \left[ e^{-t'/Ts} - e^{-t'/Tp} \right] * t1\% + 1 \right] * e^{-(tfr+t'')/Ts} + \frac{\omega * Tp * Ts}{(Ts - Tp)} * \left[ e^{-tal/Ts} - e^{-tal/Tp} \right] * t2\% + 1$$

## ➤ Exemple de définition de Ktd :

Formule appliquée CEI 44-6 - Données réseau : Fn = 50 HZ, Tp = 0,06 s, temps de repos tfr = 0,8 s, taux d'asymétrie 1<sup>er</sup> défaut = 70% (t1% = 0,7), taux d'asymétrie 2<sup>ème</sup> défaut = 100% (t2% = 1), temps d'élimination du défaut (temps protection + temps disjoncteur + temps extinction d'arc) t" = t' = 0,08 s - Données constructeur TC : Isn = 1 A, sur la courbe de magnétisation des TC : Im = 0,02 A à Vm = 270 V (ou toute tension entre 0,1 Ual & 0,6 Ual), Rct = 4 Ω (à 75°C) - Données constructeur de relais : t"al = tal = 0,03 s, consommations = 0,2 VA - Filerie entre TC & Relais de protection = 2 x 0,12 km en 6<sup>2</sup>

Ts = 8,594 s (voir calculs ci-dessus)

Calcul de Ktd :

(1<sup>er</sup> Passage)

$$Ktd = \left[ \frac{314,16 * 0,06 * 8,594}{8,594 - 0,06} * \left[ e^{-0,08/8,594} - e^{-0,08/0,06} \right] * 0,7 + 1 \right] * e^{-(0,8+0,08)/8,594}$$

(2<sup>ème</sup> Passage)

$$+ \frac{314,16 * 0,06 * 8,594}{8,594 - 0,06} * \left[ e^{-0,03/8,594} - e^{-0,03/0,06} \right] * 1 + 1$$

Ktd = ((18982 x (0,991 - 0,264) x 0,7) + 1) x 0,903 + ((18,982 x (0,997 - 0,607) x 1) + 1) = 18,03

Détermination de la puissance :

Hypothèses :

Ipsc = 9800 A (valeur maximum compatible avec rapport de TC car Kssc = 20)

Ipn / Isn = 500 / 1 A

Ktd = 18,03 (voir calculs ci-dessus)

Rct = 4 Ω

Rs = 5 Ω (voir calculs ci-dessus)

$$Ual = 9800 \times \frac{1}{500} \times 18,03 \times 5 = 1767V$$

Avec Flp = 20 par exemple :

$$S_{va} = \left( \frac{1767/20}{1} - 4 \right) \times 1^2 = 84,4VA$$

La puissance normalisée qui pourra être retenue est 100 VA en classe 5P20 par exemple.

Note : A titre d'information la classe C400 de la norme américaine USAS correspond à 100 VA en classe 5P20, la classe C800 à 200 VA en classe 5P20 (avec en général Isn = 5 A).

Avec Flp = 30 par exemple :

$$S_{va} = \left( \frac{1767/30}{1} - 4 \right) \times 1^2 = 54,9VA$$

La puissance normalisée qui pourra être retenue est 75 VA en classe 5P30 par exemple.

Avec Flp = 40 par exemple :

$$S_{va} = \left( \frac{1767/40}{1} - 4 \right) \times 1^2 = 39,4VA$$

La puissance normalisée qui pourra être retenue est 50 VA en classe 5P40 par exemple.