



MicroEner

**Cahier Technique
N° 1
Plan de Protection**

But de l'étude.....	3
Schéma de l'installation.....	3
Définition du Réseau Industriel 20 kV.....	3
Courant de défaut triphasé fourni par le réseau.....	5
Courant maximum (Tension de calcul 20 kV).....	5
Courant minimum.....	6
Courant de défaut triphasé fourni par l'alternateur G1.....	6
Impédance des différents éléments.....	7
Transformateur TR1.....	7
Transformateur TR3.....	7
Transformateur TR4.....	7
Transformateur TR5.....	8
Bobine Point Neutre G.H.....	8
Moteur M1.....	8
Moteurs M2.....	8
Cellule spéciale de "Processus".....	8
Liaison JdB1 – JdB2.....	8
Liaison JdB1 – JdB3.....	9
Liaison JdB4 – Départs S, T, U, V.....	9
Liaison JdB4 – JdB5.....	9
Liaison TR5 – JdB5.....	9
Liaison TR2 – GR1.....	9
Tableau récapitulatif.....	10
Calcul des courants de défaut.....	11
Jeu de Barres JdB1.....	11
Jeu de Barres JdB2.....	11
Jeu de Barres JdB3.....	14
Tableau récapitulatif (valeurs 20 kV) :.....	17
Protections de la BT (0,4 kV).....	18
Démarrage des moteurs M2 (Disjoncteurs S à V).....	18
Protections des moteurs M2 (Disjoncteurs S à V) :.....	18
Protections de l'arrivée (Disjoncteur R).....	19
Protections de la liaison JdB4 – JdB5 (Disjoncteurs X & W).....	19
Protections de l'arrivée (Disjoncteur Y).....	19
Protections du départ "Alimentation Processus" (Disjoncteur Z) :.....	20
Protection des transformateurs.....	20
Protection du départ Transformateur TR3 (Disjoncteur L) :.....	20
Protection du départ Transformateur TR4 (Disjoncteur P) :.....	21
Protections du départ Transformateur TR5 (Disjoncteur Q) :.....	21
Protection d'Arrivée Transformateur TR1 (Disjoncteur A) :.....	21

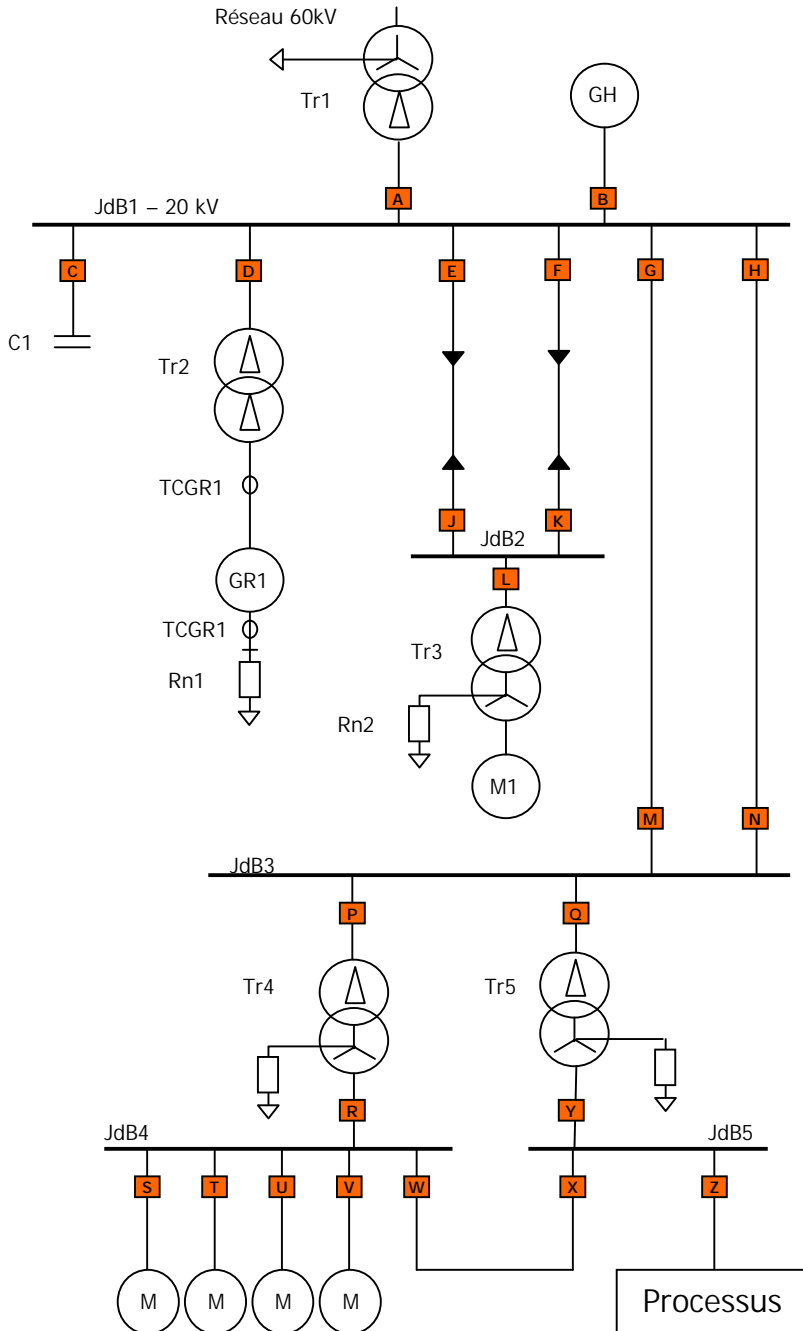
 Sce Technique : 01 48 15 09 03 Fax : 01 43 05 08 24 support@microener.com	Les Cahiers Techniques de MICROENER PLAN DE PROTECTION	Cahier N°1
		Rev. A Pag. 2 / 31

Protections d'Arrivée Transformateur TR2 (Disjoncteur D) :.....	22
<i>Protections des liaisons en boucle fermée 20 kV :.....</i>	24
<i>Protections des jeux de barres 20 kV.....</i>	26
<i>Protections du moteur M1</i>	26
Démarrage du moteur M1 (Disjoncteur L) :.....	26
Protections du moteur M1 (Disjoncteur L)	27
<i>Protections de l' alternateur GR1.....</i>	27
<i>Protections du banc de condensateurs C1 :.....</i>	30
<i>Protections du générateur homopolaire G.H. :.....</i>	30

But de l'étude

Effectuer les calculs de courant de défaut, du site (schéma ci-dessous); Défaut triphasé, Défaut phase - terre, en vue de déterminer la tenue du matériel (valeurs maximales crêtes), et valider le système de protection proposé dans le cadre de l'exploitation définie.

Schéma de l'installation



Il ne sera pas tenu compte des charges passives (notamment des moteurs asynchrones) pour le réglage des protections, celles-ci étant variables et entraînant une légère augmentation du courant de défaut.

Définition du Réseau Industriel 20 kV

Exploitation

L'alimentation principale se fait à partir d'un réseau 60 kV, 50 Hz, le transformateur existant, à réglage en charge $\pm 10\%$, 25 MVA, 60 / 20 kV appartient maintenant au client, le déclenchement du disjoncteur amont a lieu pour phase : 2500 A, 0,1 s et terre 50 A 1 s (masse cuve réglée à 100 A, 0,1 s).

L'alimentation secondaire (et secours) se fait à partir d'un générateur - transformateur 10 MVA.

Le générateur - transformateur 10 MVA peut donc être en parallèle ou non avec le réseau, en cas de fonctionnement autonome (dégradé) les différentes liaisons restent sous tension et il est opéré une réduction de charge (les moteurs restent en fonctionnement, en cas de défaut il n'est pas prévu de les redémarrer).

La mise à la terre du réseau 20 kV est faite par l'intermédiaire d'une BPN (couplage Zigzag à neutre mis à la terre) à limitation 300 A au niveau du Jeu de Barres JdB1.

Seul le jeu de barres JdB2 est raccordé à JdB1 par des câbles, le reste de l'installation 20 kV est raccordé par des lignes aériennes.

La boucle E - J, F - K est de type "fermée", il n'est pas possible d'installer de Transformateur Tension sur le jeu de barres JdB2.

Les départs G - M & H - N sont exploités en boucle "fermée" (le jeu de barres JdB3 comporte des Transformateurs Tension).

La liaison JdB4 - JdB5 est normalement ouverte et sert de secours en cas d'indisponibilité du transformateur TR4.

Le régime du neutre BT est IT, compte tenu de la nature du sol, les résistances de masse ont été estimées à $< 10 \Omega$.

Le neutre sera fortement impédant avec une limitation à la terre à 2 A, permettant une localisation du départ en défaut et de respecter le régime IT ($V_m = R_m \times I_t$ soit $V_m = 10 \times 2 = 20$ V, < 48 V).

Il est prévu de réutiliser une cellule 0,4 KV dite "Processus" dont le courant maximum de court-circuit admissible est de 20 kA.

Note : Le schéma proposé est partiel, les seuls moteurs ≥ 100 kW ont été représentés, Les points délicats ont été repris. Pour les autres départs les mêmes méthodes de calcul seront utilisées.

Caractéristiques

➤ Réseau (données fournisseur Energie)

Tension nominale $U_n = 60$ kV
 Fréquence nominale $F_n = 50$ Hz
 Puissance de court-circuit maximum triphasée $S_{ccmax} = 750$ MVA
 Puissance de court-circuit minimum triphasée $S_{ccmin} = 520$ MVA
 Constante de temps primaire $T_p = 50$ ms
 Courant de défaut maximum terre $I_{tmax} = 6,5$ kA
 Courant de défaut minimum terre $I_{tmin} = 4,8$ kA

➤ Liaisons (données Installation)

Transformateur TR1 - JdB1 = négligeable
 Générateur Homopolaire G.H. - JdB1 = négligeable
 Départ Capacité C1 - JdB1 = négligeable
 Transformateur TR2 - JdB1 = négligeable
 Liaison JdB1 - JdB2 (par liaison) = long : 0,8 km, câble 148² alu champ radial, Co : 0,46 μ F/km, Z_d : 0,2 + j 0,07 Ω /km, Zo : 0,6 + j 0,1 Ω /km
 Transformateur TR3 - JdB2 = négligeable
 Liaison JdB1 - JdB3 (par liaison) = long : 5 km, ligne aérienne 240² alu, Co : négligeable, Z_d : 0,15 + j 0,3 Ω /km, Zo : 0,3 + j 0,9 Ω /km
 Transformateur TR4 - JdB3 = négligeable
 Transformateur TR4 - JdB4 = négligeable
 Liaison JdB4 - Départs S, T, U, V (par départ) = long : 0,05 km, câble 3 x 50² cuivre tripolaire, Co : négligeable, Z_d : 0,45 + j 0,1 Ω /km, Zo : 0,6 + j 0,1 Ω /km
 Transformateur TR5 - JdB3 = négligeable
 Liaison JdB4 - JdB5 = long : 0,1 km, câble 630² cuivre tripolaire, Co : négligeable, chaque câble Z_d : 0,04 + j 0,1 Ω /km, Zo : 0,2 + j 0,1 Ω /km
 Liaison TR5 - JdB5 = long : 0,1 km, 3 câbles en parallèle 630² cuivre tripolaire, Co : négligeable, Z_d : 0,04 + j 0,1 Ω /km, Zo : 0,2 + j 0,1 Ω /km

Disjoncteurs + TC (données Installation)

Arrivée Réseau, TC = 250 / 1 A ou 250 / 5 A

JdB1 = Jeu de barres 1 avec TP (20000 / $\sqrt{3}$) / (100 / $\sqrt{3}$) :

A = Arrivée TR1, TC = 750 / 1 A ou 750 / 5 A
 B = Arrivée G.H., TC = 30 / 1 A ou 30 / 5 A
 C = Départ Capa, TC = 300 / 1 A ou 300 / 5 A, TC étoile = 5 / 1 A ou 5 / 5 A
 D = Arrivée TR2, TC = 300 / 1 A ou 300 / 5 A
 TCGR1, TC = 1250 / 1 A ou 1250 / 5 A
 E = Départ 1 Boucle Câble, TC = 100 / 1 A ou 100 / 5 A
 F = Départ 2 Boucle Câble, TC = 100 / 1 A ou 100 / 5 A
 G = Départ 1 Boucle Aérienne, TC = 500 / 1 A ou 500 / 5 A
 H = Départ 2 Boucle Aérienne, TC = 500 / 1 A ou 500 / 5 A

JdB2 = Jeu de barres 2 :

J = Arrivée 1 Boucle Câble, TC = 100 / 1 A ou 100 / 5 A
 K = Arrivée 2 Boucle Câble, TC = 100 / 1 A ou 100 / 5 A
 L = Départ TR3, TC = 100 / 1 A ou 100 / 5 A

JdB3 = Jeu de barres 3 avec TP (20000 / $\sqrt{3}$) / (100 / $\sqrt{3}$) :

M = Arrivée 1 Boucle Aérienne, TC = 500 / 1 A ou 500 / 5 A
 N = Arrivée 2 Boucle Aérienne, TC = 500 / 1 A ou 500 / 5 A
 P = Départ TR4, TC = 50 / 1 A ou 50 / 5 A
 Q = Départ TR5, TC = 100 / 1 A ou 100 / 5 A

JdB4 = Jeu de barres 4 :

R = Arrivée TR4, TC = 1500 / 1 A ou 1500 / 5 A
 S = Départ Moteur, TC = 200 / 1 A ou 200 / 5 A
 T = Départ Moteur, TC = 200 / 1 A ou 200 / 5 A
 U = Départ Moteur, TC = 200 / 1 A ou 200 / 5 A
 V = Départ Moteur, TC = 200 / 1 A ou 200 / 5 A
 W = Arrivée TR5, TC = 1500 / 1 A ou 1500 / 5 A

JdB5 = Jeu de barres 5 :

X = Départ JdB4, TC = 1500 / 1 A ou 1500 / 5 A
 Y = Arrivée TR5, TC = 3000 / 1 A ou 3000 / 5 A
 Z = Départ "Alimentation Processus", TC = 200 / 1 A ou 200 / 5 A

Alternateur GR1 (données Constructeur Alternateur)

Puissance nominale $S_n = 10$ MVA
 Facteur de puissance = 0,95
 Tension nominale $U_n = 5,5$ kV avec TP (5500 / $\sqrt{3}$) / (100 / $\sqrt{3}$)
 Variation de tension admissible en régime permanent = ± 10 %
 Variation de tension admissible pendant 5 s = ± 15 %
 Variation de fréquence admissible en régime permanent = ± 5 %
 Variation de fréquence admissible pendant 5 s = $\pm 7,5$ %
 Excitation à diodes tournantes
 Durée de sur-excitation ("overfluxing") = 30 s à 1,25 P.U.
 Valeur non saturée de réactance subtransitoire directe $X''_d = 15$ %
 Valeur non saturée de réactance transitoire directe $X'_d = 25$ %
 Valeur non saturée de réactance synchrone directe $X_d = 225$ %
 Valeur de réactance inverse $X_i = 20$ %
 Valeur de réactance homopolaire $X_o = 6$ %
 Valeur de résistance statorique $R_s = 0,014$ Ohm
 Valeur de résistance de mise à la terre du stator $R_{n1} = 317$ Ohm
 TC dans neutre stator = 5 / 5 A ou TP neutre - terre = (5500 / $\sqrt{3}$) / 100 V
 Valeur de constante de temps subtransitoire directe $T''_d = 0,03$ s
 Valeur de constante de temps transitoire directe $T'_d = 1$ s
 Valeur de constante de temps apériodique $T_a = 0,06$ s
 Pertes mécaniques = 500 kW
 Courant inverse permanent admissible = 8 %
 Courant inverse temporaire admissible $I_i^2 t = 40$ s
 Tension Harmonique 3 à $V_n = 3$ %
 Constante thermique = 15 min
 Surcharge 10 s admissible = 10%
 Temps de fonctionnement du disjoncteur = 0,03 s

Transformateur TR1 (données Constructeur Transformateur)

Couplage Etoile à la terre (HT) / Triangle (MT)
 Tension nominale HT $U_n = 60$ kV
 Tension nominale MT $U_n = 20$ kV
 Puissance nominale $S_n = 25$ MVA
 Tension de court-circuit $U_{cc} = 12$ %
 Pertes = 225 kW
 Courant crête d'enclenchement = 6 In
 Constante de temps d'enclenchement = 0,6 s
 Constante thermique = 20 min
 Surcharge permanente admissible = 105%

Transformateur TR2 (données Constructeur Transformateur)

Couplage Triangle (MT1) / Triangle (MT2) ou tout couplage à "Barrière Homopolaire"
 Tension nominale MT1 $U_n = 20$ kV

Tension nominale MT2 Un = 5,5 kV
 Puissance nominale Sn = 10 MVA
 Tension de court-circuit Ucc = 10%
 Pertes = 90 kW
 Courant crête d'enclenchement = 8 In
 Constante de temps d'enclenchement = 0,55 s
 Constante thermique = 13 min
 Surcharge permanente admissible = 105%

Transformateur TR3 (données Constructeur Transformateur)

Couplage Triangle (MT1) / Etoile à la terre (MT2) avec résistance de limitation à 10 A
 Tension nominale MT1 Un = 20 kV
 Tension nominale MT2 Un = 5,5 kV
 Puissance nominale Sn = 1,6 MVA
 Valeur de résistance de mise à la terre du neutre MT2 Rn2 = 317 Ohm
 Tension de court-circuit Ucc = 6 %
 Pertes = 20 kW
 Courant crête d'enclenchement = 9 In
 Constante de temps d'enclenchement = 0,4 s
 Constante thermique = 13 min

Transformateur TR4 (données Constructeur Transformateur)

Couplage Triangle (MT) / Etoile à la terre (BT)
 Tension nominale MT Un = 20 kV
 Tension nominale BT Un = 0,4 kV
 Puissance nominale Sn = 1 MVA
 Tension de court-circuit Ucc = 6 %
 Pertes = 13 kW
 Courant crête d'enclenchement = 10 In
 Constante de temps d'enclenchement = 0,35 s
 Constante thermique = 10 min

Transformateur TR5 (données Constructeur Transformateur)

Couplage Triangle (MT) / Etoile à la terre (BT)
 Tension nominale MT Un = 20 kV
 Tension nominale BT Un = 0,4 kV
 Puissance nominale Sn = 2 MVA
 Tension de court-circuit Ucc = 6 %
 Pertes = 25 kW
 Courant crête d'enclenchement = 8 In
 Constante de temps d'enclenchement = 0,45 s
 Constante thermique = 13 min

Générateur Homopolaire G.H. (données Constructeur B.P.N.)

Couplage Zigzag mis à la terre
 Tension nominale MT Un = 20 kV
 Courant nominal de limitation = 300 A
 Durée maximum du défaut = 10 s
 Courant permanent de défaut admissible = 30 A
 Réactances directe et inverse = négligeables
 Réactance homopolaire (dans neutre) = 38,5 Ω

Moteur M1 (données Constructeur Moteur)

Puissance nominale Sn = 1 MW
 Tension nominale Un = 5,5 kV
 Type de moteur = Asynchrone
 Rendement nominal ηn = 0,92
 Facteur de puissance nominal cosφn = 0,9
 Courant de démarrage contrôlé = 2,5 In

Courant rotor bloqué = 5 In
 Temps de démarrage = 8 s
 Constante de temps périodique Tp = 0,06 s
 Constante de temps apériodique Ta = 0,05 s
 Constante thermique à l'échauffement = 13 min
 Constante thermique au refroidissement = 40 min
 Echauffement permis = 110 %
 Nombre de démarrage autorisé = 3
 Temps de référence = 45 mn
 Temps de non autorisation après déclenchement = 60 mn

Moteurs M2 (qté = 4) (données Constructeur Moteur)

Puissance nominale Sn = 100 kW
 Tension nominale Un = 0,4 kV
 Type de moteur = Asynchrone
 Rendement nominal ηn = 0,9
 Facteur de puissance nominal cosφn = 0,87
 Courant de démarrage direct = 6 In
 Temps de démarrage = 7,5 s
 Constante de temps périodique Tp = 0,03 s
 Constante de temps apériodique Ta = 0,02 s
 Constante thermique à l'échauffement = 10 min
 Constante thermique au refroidissement = 30 min
 Echauffement permis = 110 %

Banc de capacité C1 (données Constructeur Banc)

Tension nominale Un = 20 kV
 Puissance nominale Sn = 10 MVAR
 Durée de l'enclenchement = 0,2 s
 Courant permis entre étoile = 1 A
 Rapport TC dans connexion de double étoile = 1 / 1 A

Cellule spéciale de "Processus" (données Constructeur Cellule)

Intensité maximale de court-circuit Icc = 20 kA
 Tension nominale Un = 0,4 kV

Courant de défaut triphasé fourni par le réseau

Courant maximum (Tension de calcul 20 kV)

Impédance minimum de source :

$$Z_{dsmini} = \frac{Un^2}{S_{ccmax}}$$

$$= \frac{20^2}{750}$$

$$= \mathbf{0,533 \Omega}$$

Résistance minimum de source :

$$R_{dsmini} = \frac{Z_{dsmini}}{\sqrt{1 + (\omega^2 T_p^2)}}$$

$$= \frac{0,533}{\sqrt{1 + (314,16^2 \times 0,05^2)}}$$

$$= \mathbf{0,034 \Omega}$$

Réactance minimum de source :

$$X_{dsmini} = \sqrt{Z_{dsmini}^2 - R_{dsmini}^2}$$

$$= \sqrt{0,533^2 - 0,034^2}$$

$$= \mathbf{0,532 \Omega}$$

Impédance minimum de source :

$$Z_{dsmini} = 0,034 + j 0,532 \Rightarrow 0,533 \Omega$$

Courant maximum de court-circuit triphasé

$$I_{ccmaxi} 20 \text{ kV} = (U_n / \sqrt{3}) / Z_{dsmini} \\ = (20 / \sqrt{3}) / 0,533 \\ = \mathbf{21,65 \text{ kA}}$$

Note: En 60 kV : $I_{ccmaxi} 60 \text{ kV} = I_{ccmaxi} 20 \text{ kV} \times (U_{n1} / U_{n2}) = 21,65 \times (20 / 60) = 7,217 \text{ kA}$

Courant minimum

Impédance maximum de source :

$$Z_{dsmaxi} = U_n^2 / S_{ccmin} \\ = 20^2 / 520 \\ = \mathbf{0,769 \Omega}$$

Résistance maximum de source :

$$R_{dsmaxi} = Z_{dsmaxi} / \sqrt{1 + (\omega^2 T_p^2)} \\ = 0,769 / \sqrt{1 + (314,16^2 \times 0,05^2)} \\ = \mathbf{0,049 \Omega}$$

Réactance maximum de source :

$$X_{dsmaxi} = \sqrt{Z_{dsmaxi}^2 - R_{dsmaxi}^2} \\ = \sqrt{0,769^2 - 0,049^2} \\ = \mathbf{0,767 \Omega}$$

Impédance maximum de source :

$$Z_{dsmaxi} = 0,049 + j 0,767 \Rightarrow 0,769 \Omega$$

Courant de court-circuit minimum

$$I_{ccmini} 20 \text{ kV} = (U_n / \sqrt{3}) / Z_{dsmaxi} \\ = (20 / \sqrt{3}) / 0,769 \\ = \mathbf{15,02 \text{ kA}}$$

Note: En 60 kV : $I_{ccmini} 60 \text{ kV} = I_{ccmini} 20 \text{ kV} \times (U_{n1} / U_{n2}) = 15,02 \times (20 / 60) = 5,005 \text{ kA}$

Rappel du courant de défaut terre : En 60 kV : $I_{tmaxi} = 6,5 \text{ kA}$; $I_{tmini} = 4,8 \text{ kA}$

Courant de défaut triphasé fourni par l'alternateur G1

Tension de calcul 20 kV

Formule complète pour la valeur efficace symétrique est (sans apériodique) :

$$I_{cctri} = I_n \left[\left(\frac{1}{X''d} - \frac{1}{X'd} \right) e^{-\frac{t}{T''d}} + \left(\frac{1}{X'd} - \frac{1}{Xd} \right) e^{-\frac{t}{T'd}} + \frac{1}{Xd} \right]$$

Le courant de court-circuit fourni par l'alternateur dépendra du temps d'élimination du défaut t (ms), avec les caractéristiques ci-dessus on a :

temps t	unité	courant I _{cctri}	unité	réactance X _{gén}	unité	réactance X _{gén}	unité
0,02	s	5,3	In	18,87	%	7,549	Ω
0,1	s	3,76	In	26,62	%	10,647	Ω
0,2	s	3,36	In	29,77	%	11,909	Ω
0,3	s	3,08	In	32,48	%	12,993	Ω
0,4	s	2,83	In	35,36	%	14,145	Ω
0,5	s	2,6	In	38,45	%	15,379	Ω
0,6	s	2,4	In	41,74	%	16,696	Ω
0,7	s	2,21	In	45,25	%	18,099	Ω

0,8	s	2,04	In	48,97	%	19,588	Ω
0,9	s	1,89	In	52,91	%	21,164	Ω
1	s	1,75	In	57,06	%	22,825	Ω
1,1	s	1,63	In	61,43	%	24,570	Ω
1,2	s	1,52	In	65,99	%	26,396	Ω
1,3	s	1,41	In	70,75	%	28,300	Ω
1,4	s	1,32	In	75,69	%	30,275	Ω
1,5	s	1,24	In	80,79	%	32,315	Ω
2	s	0,93	In	108,03	%	43,214	Ω
2,5	s	0,74	In	135,81	%	54,326	Ω
3	s	0,62	In	160,91	%	64,364	Ω
3,5	s	0,55	In	181,22	%	72,488	Ω

Le courant de défaut crête à 10 ms sera de 4,7 kA (valeur 20 kV) soit 17,1 kA en valeur 5,5 kV, par application de la formule :

$$I_{pic} = I_n \times \sqrt{2} \times \left[\left(\frac{1}{X''d} - \frac{1}{X'd} \right) e^{-0,01/T''d} + \left(\frac{1}{X'd} - \frac{1}{Xd} \right) e^{-0,01/T'd} + \frac{1}{Xd} + \left(\frac{1}{X''d} e^{-0,01/T''d} \right) \right]$$

Par ailleurs, avec la formule simplifiée on obtient la valeur efficace : $I_{cctri} = V_n / X_{gén}$

Avec

$$X_{gén} = X'd \times (U_n^2 / S_n)$$

V_n = tension nominale simple (phase-terre) de calcul (en kV)

U_n = tension nominale composée (phase-phase) de calcul (en kV)

$X'd$ = Valeur non saturée de réactance transitoire directe (en Ohm)

S_n = puissance nominale apparente du générateur (en MVA)

Application :

$$X_{gén} = X'd (\%) \times (U_n^2 / S_n) \\ = 0,25 \times (20^2 / 10) \\ = \mathbf{10 \text{ Ohm}}$$

$$I_{cctri} = V_n / X_{gén} \\ = (20 / \sqrt{3}) / 10 \\ = \mathbf{1154 \text{ A}}$$

$$= \mathbf{3,99 \text{ In}}$$

Note: Compte tenu que le courant de défaut fourni par l'alternateur a été effectué dans l'hypothèse la plus défavorable d'un courant de défaut sans apériodique, l'utilisation de la formule simplifiée entraîne une valeur par excès.

L'emploi de la formule complète entraîne l'obligation de connaître le temps d'élimination t du défaut. Il est nécessaire à ce niveau de l'estimer.

Les différentes configurations d'alimentation (Réseau seul, Réseau + Alternateur ou Alternateur seul) entraîneront des variations importantes du courant I_{cctri} d'où une préférence pour la sélectivité chronologique (0,3 s par échelon). Pour les départs et pour les défauts jeux de barres, la sélectivité logique sera utilisée (0,1 s par échelon).

Les temps estimés, pour la sélectivité (niveau 20 kV), sont en conséquence les suivants :

Disjoncteurs A, D, J, K, M, N = **0,1 s**

Disjoncteurs B, C, L, P, Q = **0,3 s**

Disjoncteurs E, F, G, H = **0,6 s**

Dans le cas où la seule sélectivité chronologique (secours sélectif et détection court-circuit) serait retenue les temps seraient les suivants

Disjoncteurs M, N = **0,1 s**
 Disjoncteurs B, C, L, P, Q = **0,3 s**
 Disjoncteurs E, F, G, H, J, K = **0,6 s**
 Disjoncteurs A, D = **0,9 s**

Le temps maximum de 0,9 s correspondant pour l'Alternateur GR1 à Ictri = 1,89 In (ou 21,164 Ω en valeur 20 kV) sera retenu.

La protection des jeux de barres sera assurée par sélectivité logique :

La protection d'un départ (quelque soit sa place dans le réseau) détectant un défaut émet un ordre logique d'attente de 0,2 s vers la protection d'arrivée du jeu de barres; la protection d'arrivée est temporisée à 0,1 s.

La protection du départ détectant le défaut donne un ordre de déclenchement à l'expiration de sa temporisation t.

En cas de défaillance du disjoncteur ou de la protection du départ, la protection d'arrivée est activée après t + 0,2 s.

Si le défaut se trouve sur le jeu de barres la protection d'arrivée qui n'est pas verrouillée par la sélectivité logique déclenche en 0,1 s.

Impédance des différents éléments

Tension de calcul 20 kV

Transformateur TR1

- Impédance directe Zdtr1 :
 $Zdtr1 = U_{cc} \times (Un^2 / Sn)$
 $= 0,12 \times (20^2 / 25)$
= 1,92 Ω
- Résistance directe Rdtr1 :
 $Rdtr1 = Pertes / (3 In^2)$
 $= 225000 / (3 \times 721,69^2)$
= 0,144 Ω
- Réactance directe Xdtr1 :
 $Xdtr1 = \sqrt{[Zdtr1^2 - Rdtr1^2]}$
 $= \sqrt{[1,92^2 - 0,144^2]}$
= 1,915 Ω
- Impédance directe Zdtr1 :
 $Zdtr1 = 0,144 + j 1,915$
= 1,92 Ω

Vu du côté 20 KV en triangle, l'impédance homopolaire est infinie, le transformateur ne participe pas à la fourniture du courant de défaut. Le transformateur est, du point de vue courant de défaut terre, récepteur.

Transformateur TR2

- Impédance directe Zdtr2 :
 $Zdtr2 = U_{cc} \times (Un^2 / Sn)$
 $= 0,1 \times (20^2 / 10)$
= 4 Ω
- Résistance directe Rdtr2 :
 $Rdtr2 = Pertes / (3 In^2)$
 $= 90000 / (3 \times 288,675^2)$
= 0,36 Ω

- Réactance directe Xdtr2 :
 $Xdtr2 = \sqrt{[Zdtr2^2 - Rdtr2^2]}$
 $= \sqrt{[4^2 - 0,36^2]}$
= 3,984 Ω
- Impédance directe Zdtr2 :
 $Zdtr2 = 0,36 + j 3,984$
= 4 Ω

Vu du côté 20 KV en triangle, l'impédance homopolaire est infinie, le transformateur ne participe pas à la fourniture du courant de défaut. Le transformateur est, du point de vue courant de défaut terre, récepteur.

Transformateur TR3

- Impédance directe Zdtr3 :
 $Zdtr3 = U_{cc} \times (Un^2 / Sn)$
 $= 0,06 \times (20^2 / 1,6)$
= 15 Ω
- Résistance directe Rdtr3 :
 $Rdtr3 = Pertes / (3 In^2)$
 $= 20000 / (3 \times 46,188^2)$
= 3,125 Ω
- Réactance directe Xdtr3 :
 $Xdtr3 = \sqrt{[Zdtr3^2 - Rdtr3^2]}$
 $= \sqrt{[15^2 - 3,125^2]}$
= 14,761 Ω
- Impédance directe Zdtr3 :
 $Zdtr3 = 3,125 + j 14,761$
= 15 Ω

Vu du côté 20 KV en triangle, l'impédance homopolaire est infinie, le transformateur ne participe pas à la fourniture du courant de défaut. Le transformateur est, du point de vue courant de défaut terre, récepteur.

Transformateur TR4

- Impédance directe Zdtr4 :
 $Zdtr4 = U_{cc} \times (Un^2 / Sn)$
 $= 0,06 \times (20^2 / 1)$
= 24 Ω
- Résistance directe Rdtr4 :
 $Rdtr4 = Pertes / (3 In^2)$
 $= 13000 / (3 \times 28,8675^2)$
= 5,2 Ω
- Réactance directe Xdtr4 :
 $Xdtr4 = \sqrt{[Zdtr4^2 - Rdtr4^2]}$
 $= \sqrt{[24^2 - 5,2^2]}$
= 23,43 Ω
- Impédance directe Zdtr4 :
 $Zdtr4 = 5,2 + j 23,43$
= 24 Ω

Vu du côté 20 KV en triangle, l'impédance homopolaire est infinie, le transformateur ne participe pas à la fourniture du courant de défaut. Le transformateur est, du point de vue courant de défaut terre, récepteur.

Transformateur TR5

- Impédance directe Zdtr5 :
 $Z_{dtr5} = U_{cc} \times (U_n^2 / S_n)$
 $= 0,06 \times (20^2 / 2)$
= 12 Ω
- Résistance directe Rdtr5 :
 $R_{dtr5} = \text{Pertes} / (3 I_n^2)$
 $= 25000 / (3 \times 57,735^2)$
= 2,5 Ω
- Réactance directe Xdtr5 :
 $X_{dtr5} = \sqrt{[Z_{dtr5}^2 - R_{dtr5}^2]}$
 $= \sqrt{[12^2 - 2,5^2]}$
= 11,737 Ω
- Impédance directe Zdtr5 :
 $Z_{dtr5} = 2,5 + j 11,737$
= 12 Ω

Vu du côté 20 KV en triangle, l'impédance homopolaire est infinie, le transformateur ne participe pas à la fourniture du courant de défaut. Le transformateur est, du point de vue courant de défaut terre, récepteur.

Bobine Point Neutre G.H.

L'impédance homopolaire placée dans le neutre compte triple, pour les calculs de courant de défaut à la terre, l'impédance homopolaire de source sera prise à

$$Z_{os} = 3 \times 38,5 = \mathbf{j 115,5 \Omega}$$

Les impédances directe et inverse sont négligeables.

Moteur M1

- Puissance apparente :
 $S_n = (P_n / \eta) \times (1 / \cos \phi_n)$
 $= (1 / 0,92) \times (1 / 0,9)$
= 1,208 MVA
- Courant nominal (valeur 5,5 kV) :
 $I_n = S_n / (U_n \times \sqrt{3})$
 $= 1208 / (5,5 \times \sqrt{3})$
= 126,8 A
- Puissance apparente de démarrage :
 $S_{dém} = S_n \times (I_n / I_d)$
 $= 1,208 \times 2,5$
= 3,02 MVA
- Courant crête (à 10 ms) : $I_{crête} = \frac{I_n \times \sqrt{2}}{X_m} (e^{-0,01/Ta} + e^{-0,01/Tp})$

$$I_d / I_n = 5 \text{ sans intensité contrôlée}$$

$$X_m = 1 / (I_d / I_n) = 0,2$$

En valeur 5,5 KV, aux bornes du moteur

$$\mathbf{I_{crête} = 1,49 kA}$$

- Courant efficace symétrique à t : $I_{efficace} = \frac{I_n}{X_m} e^{-t/Ta}$
 I efficace à 0,1 s = 0,12 kA
 I efficace à 0,8 s = 0 kA

Dans le cas d'un moteur asynchrone, il ne sera tenu compte que du courant crête (pour définir la tenue du matériel).

Moteurs M2

- Puissance apparente :
 $S_n = (P_n / \eta) \times (1 / \cos \phi_n)$
 $= (0,1 / 0,9) \times (1 / 0,87)$
= 0,128 MVA
- Courant nominal (valeur 0,4 kV) :
 $I_n = S_n / (U_n \times \sqrt{3})$
 $= 128 / (0,4 \times \sqrt{3})$
= 184,8 A
- Puissance apparente de démarrage :
 $S_d = S_n \times (I_n / I_d)$
 $= 0,128 \times 6$
= 0,766 MVA

Avec les formules ci-dessus, en valeur 0,4 KV, aux bornes du moteur

$$I_{crête} = 2,07 \text{ kA}$$

$$I_{efficace \text{ à } 0,1 \text{ s}} = 0,04 \text{ kA}$$

$$I_{efficace \text{ à } 0,8 \text{ s}} = 0 \text{ kA}$$

Dans le cas d'un moteur asynchrone, il ne sera tenu compte que du courant crête (pour définir la tenue du matériel).

Cellule spéciale de "Processus"

Avec une sécurité de 20 %, le courant maximum de court-circuit est de $0,8 \times 20 = 16 \text{ KA}$ (valeur 0,4 kV) correspondant à une puissance de $16 \times 0,4 \times \sqrt{3} = 11 \text{ MVA}$

Une réactance en série avec l'alimentation devra limiter la puissance de court-circuit à cette valeur.

Liaison JdB1 - JdB2

Par liaison :

- Impédance directe :
 $Z_{d1} = L \times z_d$
 $= 0,8 \times (0,2 + j 0,07) = 0,16 + j 0,056$
= 0,17 Ω
- Impédance homopolaire :
 $Z_{o1} = L \times z_o$
 $= 0,8 \times (0,6 + j 0,1) = 0,48 + j 0,08$
= 0,487 Ω
- Courant capacitif fourni en cas de défaut extérieur :
 $I_{c1} = 3 C_o \omega V$
 $= 3 \times 0,8 \times 0,46 \times 0,31416 \times (20 / \sqrt{3})$
= 4 A

Avec les 2 liaisons en parallèle :

- Impédance directe :
 $Z_{d2} = Z_{d1} / 2$
 $= (0,16 + j 0,056) / 2 = 0,08 + j 0,028$
= 0,085 Ω
- Impédance homopolaire :
 $Z_{o2} = Z_{o1} / 2$
 $= (0,48 + j 0,08) / 2 = 0,24 + j 0,04$
= 0,243 Ω

- Courant capacitif fourni en cas de défaut extérieur :
 $I_{c2} = 2 I_{c1} = 2 \times 4$
 $= \mathbf{8 \text{ A}}$

Liaison JdB1 – JdB3

Par liaison :

- Impédance directe :
 $Z_{d1} = L \times z_d$
 $= 5 \times (0,15 + j 0,3) = 0,75 + j 1,5$
 $= \mathbf{1,677 \Omega}$
- Impédance homopolaire :
 $Z_{o1} = L \times z_o$
 $= 5 \times (0,3 + j 0,9) = 1,5 + j 4,5$
 $= \mathbf{4,743 \Omega}$

Avec les 2 liaisons en parallèle :

- Impédance directe :
 $Z_{d2} = Z_{d1} / 2$
 $= (0,75 + j 1,5) / 2 = 0,375 + j 0,75$
 $= \mathbf{0,839 \Omega}$
- Impédance homopolaire :
 $Z_{o2} = Z_{o1} / 2$
 $= (1,5 + j 4,5) / 2 = 0,75 + j 2,25$
 $= \mathbf{2,372 \Omega}$

Liaison JdB4 – Départs S, T, U, V

Calcul 0,4 kV :

- Impédance directe :
 $Z_{d0,4} = L \times z_d$
 $= 0,05 \times (0,45 + j 0,1) = 0,0225 + j 0,005$
 $= \mathbf{0,023 \Omega}$
- Impédance homopolaire :
 $Z_{o0,4} = L \times z_o$
 $= 0,05 \times (0,6 + j 0,1) = 0,03 + j 0,005$
 $= \mathbf{0,0304 \Omega}$

Transformation en valeur 20 kV :

- Impédance directe :
 $Z_{d20} = Z_{d0,4} \times (Un1 / Un2)^2$
 $= (0,0225 + j 0,005) \times (20 / 0,4)^2 = 56,25 + j 12,5$
 $= \mathbf{57,622 \Omega}$
- Impédance homopolaire :
 $Z_{o20} = Z_{o0,4} \times (Un1 / Un2)^2$
 $= (0,03 + j 0,005) \times (20 / 0,4)^2 = 75 + j 12,5$
 $= \mathbf{76,035 \Omega}$

Liaison JdB4 – JdB5

Calcul 0,4 kV :

- Impédance directe :
 $Z_{d0,4} = L \times z_d$
 $= 0,1 \times (0,04 + j 0,1) = 0,004 + j 0,01$
 $= \mathbf{0,011 \Omega}$
- Impédance homopolaire :
 $Z_{o0,4} = L \times z_o$
 $= 0,1 \times (0,2 + j 0,1) = 0,02 + j 0,01$
 $= \mathbf{0,022 \Omega}$

Transformation en valeur 20 kV :

- Impédance directe :
 $Z_{d20} = Z_{d0,4} \times (Un1 / Un2)^2$
 $= (0,004 + j 0,01) \times (20 / 0,4)^2 = 10 + j 25$
 $= \mathbf{26,926 \Omega}$
- Impédance homopolaire :
 $Z_{o20} = Z_{o0,4} \times (Un1 / Un2)^2$
 $= (0,02 + j 0,01) \times (20 / 0,4)^2 = 50 + j 25$
 $= \mathbf{55,902 \Omega}$

Liaison TR5 – JdB5

Calcul 0,4 kV :

- Impédance directe :
 $Z_{d0,4} = L \times z_d$
 $= 0,333 \times 0,1 \times (0,04 + j 0,1) = 0,0013 + j 0,0033$
 $= \mathbf{0,004 \Omega}$
- Impédance homopolaire :
 $Z_{o0,4} = L \times z_o$
 $= 0,333 \times 0,1 \times (0,2 + j 0,1) = 0,0066 + j 0,0033$
 $= \mathbf{0,007 \Omega}$

Transformation en valeur 20 kV :

- Impédance directe :
 $Z_{d20} = Z_{d0,4} \times (Un1 / Un2)^2$
 $= (0,0013 + j 0,0033) \times (20 / 0,4)^2 = 3,333 + j 8,333$
 $= \mathbf{9,875 \Omega}$
- Impédance homopolaire :
 $Z_{o20} = Z_{o0,4} \times (Un1 / Un2)^2$
 $= (0,0066 + j 0,0033) \times (20 / 0,4)^2 = 16,667 + j 8,333$
 $= \mathbf{18,634 \Omega}$

Liaison TR2 – GR1

En cas de défaut triphasé entre TR2 et GR1, l'élimination sera assurée par une protection interne au générateur en un temps inférieur à 0,1 s (temps disjoncteur compris).

- Courant de défaut maximum :
 $Z_{dam} = Z_{ds \text{ mini}} + Z_{dtr1} + Z_{dTR2} // Z_{dgén}$
 $= (0,034 + j 0,532) + (0,144 + j 1,915) + (0,36 + j 3,984) //$
 $(0,185 + j 10,647)$
 $= (0,237 + j 3,978)$
 $= \mathbf{3,985 \Omega}$
 $I_{cc} = Un / (Z_{dam} \times \sqrt{3})$
 $I_{cc} = 20 / (3,985 \times \sqrt{3})$ En 20 kV = $\mathbf{2,897 \text{ kA}}$
 $I_{cc} = 2,897 \times (20 / 5,5)$ En 5.5 kV = $\mathbf{10,54 \text{ kA}}$

- Courant de défaut minimum :
 $Z_{dam} = Z_{ds \text{ maxi}} + Z_{dtr1} + Z_{dTR2} // Z_{dgén}$
 $= (0,049 + j 0,767) + (0,144 + j 1,915) + (0,36 + j 3,984) //$
 $(0,185 + j 10,647)$
 $= (0,236 + j 4,104)$
 $= \mathbf{4,110 \Omega}$
 $I_{cc} = Un / (Z_{dam} \times \sqrt{3})$
 $I_{cc} = 20 / (4,110 \times \sqrt{3})$ En 20 kV = $\mathbf{2,809 \text{ kA}}$
 $I_{cc} = 2,809 \times (20 / 5,5)$ En 5.5 kV = $\mathbf{10,22 \text{ kA}}$

Dans les 2 cas, l'apport du générateur est de 3,76 In (voir tableau précédent) soit 3,94 kA en valeur 5,5 kV.

Tableau récapitulatif

(valeurs 20 kV) :

		Réel		Imaginaire			Module	
Réseau Scs maxi	Zds mini =	0,034	+ j	0,532	Ω	Zds mini =	0,533	Ω
Réseau Scs mini	Zds maxi =	0,049	+ j	0,767	Ω	Zds maxi =	0,769	Ω
Générateur (à 0,1 s)	Zdgén =	0,185	+ j	10,647	Ω	Zdgén =	10,649	Ω
Générateur (à 0,9 s)	Zdgén =	0,185	+ j	21,164	Ω	Zdgén =	21,165	Ω
Générateur Homopolaire	Zo =		+ j	38,5	Ω	Calcul Zo =	115,5	Ω
Transformateur TR1	Zdtr1 =	0,144	+ j	1,915	Ω	Zdtr1 =	1,92	Ω
Transformateur TR2	Zdtr2 =	0,36	+ j	3,984	Ω	Zdtr2 =	4	Ω
Transformateur TR3	Zdtr3 =	3,125	+ j	14,761	Ω	Zdtr3 =	15	Ω
Transformateur TR4	Zdtr4 =	5,2	+ j	23,43	Ω	Zdtr4 =	24	Ω
Transformateur TR5	Zdtr5 =	2,5	+ j	11,737	Ω	Zdtr5 =	12	Ω
1 Liaison JdB1 - JdB2	Zd1 =	0,16	+ j	0,056	Ω	Zd1 =	0,17	Ω
1 Liaison JdB1 - JdB2	Zo1 =	0,48	+ j	0,08	Ω	Zo1 =	0,487	Ω
1 Liaison JdB1 - JdB2	Ic1 =						4	A
2 Liaisons // JdB1 - JdB2	Zd2 =	0,08	+ j	0,028	Ω	Zd2 =	0,085	Ω
2 Liaisons // JdB1 - JdB2	Zo2 =	0,24	+ j	0,04	Ω	Zo2 =	0,243	Ω
2 Liaisons // JdB1 - JdB2	Ic2 =						8	A
1 Liaison JdB1 - JdB3	Zd1 =	0,75	+ j	1,5	Ω	Zd1 =	1,677	Ω
1 Liaison JdB1 - JdB3	Zo1 =	1,5	+ j	4,5	Ω	Zo1 =	4,743	Ω
2 Liaisons // JdB1 - JdB3	Zd2 =	0,375	+ j	0,75	Ω	Zd2 =	0,839	Ω
2 Liaisons // JdB1 - JdB3	Zo2 =	0,75	+ j	2,25	Ω	Zo2 =	2,372	Ω
Liaison JdB4 - S, T, U, V	Zd20 =	56,25	+ j	12,5	Ω	Zd20 =	57,622	Ω
Liaison JdB4 - S, T, U, V	Zo20 =	75	+ j	12,5	Ω	Zo20 =	76,035	Ω
Liaison JdB4 - JdB5	Zd20 =	10	+ j	25	Ω	Zd20 =	26,926	Ω
Liaison JdB4 - JdB5	Zo20 =	50	+ j	25	Ω	Zo20 =	55,902	Ω
Liaison TR5 - JdB5	Zd20 =	3,333	+ j	8,333	Ω	Zd20 =	9,875	Ω
Liaison TR5 - JdB5	Zo20 =	16,667	+ j	8,333	Ω	Zo20 =	18,634	Ω

Calcul des courants de défaut

Tension de calcul 20 kV

Les courants de défaut, au niveau de chaque jeu de barres, seront calculés dans les configurations suivantes :

1. Impédance de source minimum + Générateur en fonctionnement (Icc à 0,9 s)
2. Impédance de source maximum + Générateur en fonctionnement (Icc à 0,9 s)
3. Générateur seul en fonctionnement (Icc à 0,9 s)
4. Les jeux de barres seront alimentés par une liaison, puis par deux liaisons.
5. Le courant de court-circuit en aval des transformateurs sera aussi calculé.

Jeu de Barres JdB1

➤ Défaut triphasé :

Impédance de source minimum + Générateur en fonctionnement (Icc à 0,9 s) :

$$\begin{aligned} \text{Impédance amont } Z_{dam1mini} : \\ [(Z_{dsmini}) + (Z_{dtr1})] // [(Z_{dgén}) + (Z_{dtr2})] \\ = (0,178 + j 2,447) // (0,545 + j 25,148) \\ = 0,152 + j 2,231 \\ = \mathbf{2,236 \Omega} \end{aligned}$$

Courant de court-circuit :

$$\begin{aligned} I_{cctri} &= U_n / (Z_{dam} \times \sqrt{3}) \\ I_{cctri} &= 20 / (2,236 \times \sqrt{3}) \\ &= \mathbf{5,16 \text{ kA}} \end{aligned}$$

Apport réseau :

$$\begin{aligned} Z_{dam} &= (0,178 + j 2,447) = 2,454 \Omega \\ I_{cctri} &= 20 / (2,454 \times \sqrt{3}) \\ &= \mathbf{4,71 \text{ kA}} \end{aligned}$$

Apport générateur :

$$\begin{aligned} Z_{dam} &= (0,545 + j 25,148) = 25,154 \Omega \\ I_{cctri} &= 20 / (25,154 \times \sqrt{3}) \\ &= \mathbf{0,46 \text{ kA}} \end{aligned}$$

Impédance de source maximum + Générateur en fonctionnement (Icc à 0,9 s) :

$$\begin{aligned} \text{Impédance amont } Z_{dam1maxi} : \\ [(Z_{dsmaxi}) + (Z_{dtr1})] // [(Z_{dgén}) + (Z_{dtr2})] \\ = (0,193 + j 2,682) // (0,545 + j 25,148) \\ = 0,163 + j 2,424 \\ = \mathbf{2,429 \Omega} \end{aligned}$$

Courant de court-circuit :

$$\begin{aligned} I_{cctri} &= U_n / (Z_{dam} \times \sqrt{3}) \\ I_{cctri} &= 20 / (2,429 \times \sqrt{3}) \\ &= \mathbf{4,75 \text{ kA}} \end{aligned}$$

Apport réseau :

$$\begin{aligned} Z_{dam} &= (0,193 + j 2,682) = 2,689 \Omega \\ I_{cctri} &= 20 / (2,689 \times \sqrt{3}) \\ &= \mathbf{4,29 \text{ kA}} \end{aligned}$$

Apport générateur :

$$\begin{aligned} Z_{dam} &= (0,545 + j 25,148) = 25,154 \Omega \\ I_{cctri} &= 20 / (25,154 \times \sqrt{3}) \\ &= \mathbf{0,46 \text{ kA}} \end{aligned}$$

Générateur seul en fonctionnement (Icc à 0,9 s) :

$$\begin{aligned} \text{Apport générateur :} \\ Z_{dam} &= (0,545 + j 25,148) \\ &= \mathbf{25,154 \Omega} \end{aligned}$$

Courant de court-circuit

$$\begin{aligned} I_{cctri} &= U_n / (Z_{dam} \times \sqrt{3}) \\ I_{cctri} &= 20 / (25,154 \times \sqrt{3}) \\ &= \mathbf{0,46 \text{ kA}} \end{aligned}$$

➤ Défaut monophasé :

Impédance de source minimum + Générateur en fonctionnement (Icc à 0,9 s) :

$$\begin{aligned} Z_{dam} &= Z_{dam1mini} = 2,236 \Omega \\ Z_{iam} &= Z_{dam1mini} = 2,236 \Omega \\ Z_o &= 115,5 \Omega \end{aligned}$$

Courant de défaut à la terre

$$\begin{aligned} I_t &= 3 V_n / (Z_{dam} + Z_{iam} + Z_o) \\ I_t &= (20000 \times \sqrt{3}) / (2,236 + 2,236 + 115,5) \\ &= \mathbf{289 \text{ A}} \end{aligned}$$

Impédance de source maximum + Générateur en fonctionnement (Icc à 0,9 s) :

Les impédances

$$\begin{aligned} Z_{dam} &= Z_{dam1maxi} = 2,429 \Omega \\ Z_{iam} &= Z_{dam1mini} = 2,429 \Omega \\ Z_o &= 115,5 \Omega \end{aligned}$$

Courant de défaut à la terre

$$\begin{aligned} I_t &= 3 V_n / (Z_{dam} + Z_{iam} + Z_o) \\ I_t &= (20000 \times \sqrt{3}) / (2,429 + 2,429 + 115,5) \\ &= \mathbf{288 \text{ A}} \end{aligned}$$

Générateur seul en fonctionnement (Icc à 0,9 s) :

Les impédances

$$\begin{aligned} Z_{dam} &= Z_{dam1maxi} = 25,154 \Omega \\ Z_{iam} &= Z_{dam1mini} = 25,154 \Omega \\ Z_o &= 115,5 \Omega \end{aligned}$$

Courant de défaut à la terre

$$\begin{aligned} I_t &= 3 V_n / (Z_{dam} + Z_{iam} + Z_o) \\ I_t &= (20000 \times \sqrt{3}) / (25,154 + 25,154 + 115,5) \\ &= \mathbf{246 \text{ A}} \end{aligned}$$

Jeu de Barres JdB2

➤ Défaut triphasé :

Impédance de source minimum + Générateur en fonctionnement (Icc à 0,9 s) + 1 liaison en service :

Impédance amont Zdam :

$$\begin{aligned} Z_{dam1mini} + Z_{d1} &= (0,152 + j 2,231) + (0,16 + j 0,056) \\ &= 0,312 + j 2,287 \\ &= \mathbf{2,308 \Omega} \end{aligned}$$

Courant de court-circuit:

$$\begin{aligned} I_{cctri} &= U_n / (Z_{dam} \times \sqrt{3}) \\ I_{cctri} &= 20 / (2,308 \times \sqrt{3}) \\ &= \mathbf{5 \text{ kA}} \end{aligned}$$

Défaut en aval TR3 (valeur 20 kV) :

Impédance amont Zdam :

$$\begin{aligned} & Z_{dam1mini} + Z_{d1} + Z_{dTR3} \\ &= (0,152 + j 2,231) + (0,16 + j 0,056) + (3,125 + j 14,761) \\ &= 3,437 + j 16,958 \\ &= \mathbf{17,303 \Omega} \end{aligned}$$

Courant de court-circuit:

$$\begin{aligned} I_{cctri} &= U_n / (Z_{dam} \times \sqrt{3}) \\ I_{cctri} &= 20 / (17,303 \times \sqrt{3}) \\ &= \mathbf{0,67 \text{ kA}} \end{aligned}$$

Impédance de source minimum + Générateur en fonctionnement (Icc à 0,9 s) + 2 liaisons en service :

Impédance amont Zdam :

$$\begin{aligned} & Z_{dam1mini} + Z_{d2} \\ &= (0,152 + j 2,231) + (0,08 + j 0,028) \\ &= 0,232 + j 2,259 \\ &= \mathbf{2,271 \Omega} \end{aligned}$$

Courant de court-circuit:

$$\begin{aligned} I_{cctri} &= U_n / (Z_{dam} \times \sqrt{3}) \\ I_{cctri} &= 20 / (2,271 \times \sqrt{3}) \\ &= \mathbf{5,08 \text{ kA}} \end{aligned}$$

Note : Le courant se partage dans chaque liaison et vaut $5,08 / 2 = 2,54 \text{ kA}$

Défaut en aval TR3 (valeur 20 kV) :

Impédance amont Zdam :

$$\begin{aligned} & Z_{dam1mini} + Z_{d2} + Z_{dTR3} \\ &= (0,152 + j 2,231) + (0,08 + j 0,028) + (3,125 + j 14,761) \\ &= 3,357 + j 16,93 \\ &= \mathbf{17,260 \Omega} \end{aligned}$$

Courant de court-circuit:

$$\begin{aligned} I_{cctri} &= U_n / (Z_{dam} \times \sqrt{3}) \\ I_{cctri} &= 20 / (17,260 \times \sqrt{3}) \\ &= \mathbf{0,67 \text{ kA}} \end{aligned}$$

Impédance de source maximum + Générateur en fonctionnement (Icc à 0,9 s) + 1 liaison en service :

Impédance amont Zdam :

$$\begin{aligned} & Z_{dam1maxi} + Z_{d1} \\ &= (0,163 + j 2,424) + (0,16 + j 0,056) \\ &= 0,323 + j 2,48 \\ &= \mathbf{2,501 \Omega} \end{aligned}$$

Courant de court-circuit:

$$\begin{aligned} I_{cctri} &= U_n / (Z_{dam} \times \sqrt{3}) \\ I_{cctri} &= 20 / (2,501 \times \sqrt{3}) \\ &= \mathbf{4,62 \text{ kA}} \end{aligned}$$

Défaut en aval TR3 (valeur 20 kV) :

Impédance amont Zdam :

$$\begin{aligned} & Z_{dam1maxi} + Z_{d1} + Z_{dTR3} \\ &= (0,163 + j 2,424) + (0,16 + j 0,056) + (3,125 + j 14,761) \\ &= 3,448 + j 17,151 \\ &= \mathbf{17,494 \Omega} \end{aligned}$$

Courant de court-circuit:

$$\begin{aligned} I_{cctri} &= U_n / (Z_{dam} \times \sqrt{3}) \\ I_{cctri} &= 20 / (17,494 \times \sqrt{3}) \\ &= \mathbf{0,66 \text{ kA}} \end{aligned}$$

Impédance de source maximum + Générateur en fonctionnement (Icc à 0,9 s) + 2 liaisons en service :

Impédance amont Zdam =

$$\begin{aligned} & Z_{dam1maxi} + Z_{d2} \\ &= (0,163 + j 2,424) + (0,08 + j 0,028) \\ &= 0,243 + j 2,452 \\ &= \mathbf{2,464 \Omega} \end{aligned}$$

Courant de court-circuit:

$$\begin{aligned} I_{cctri} &= U_n / (Z_{dam} \times \sqrt{3}) \\ I_{cctri} &= 20 / (2,464 \times \sqrt{3}) \\ &= \mathbf{4,69 \text{ kA}} \end{aligned}$$

Note : Le courant se partage dans chaque liaison et vaut $4,69 / 2 = 2,35 \text{ kA}$

Défaut en aval TR3 (valeur 20 kV) :

Impédance amont Zdam :

$$\begin{aligned} & Z_{dam1maxi} + Z_{d2} + Z_{dTR3} \\ &= (0,163 + j 2,424) + (0,08 + j 0,028) + (3,125 + j 14,761) \\ &= 3,368 + j 17,123 \\ &= \mathbf{17,451 \Omega} \end{aligned}$$

Courant de court-circuit:

$$\begin{aligned} I_{cctri} &= U_n / (Z_{dam} \times \sqrt{3}) \\ I_{cctri} &= 20 / (17,451 \times \sqrt{3}) \\ &= \mathbf{0,66 \text{ kA}} \end{aligned}$$

Générateur seul en fonctionnement (Icc à 0,9 s) + 1 liaison en service :

Impédance amont Zdam :

$$\begin{aligned} & Z_{dgen} + Z_{d1} \\ &= (0,545 + j 25,148) + (0,16 + j 0,056) \\ &= 0,705 + j 25,204 \\ &= \mathbf{25,214 \Omega} \end{aligned}$$

Courant de court-circuit:

$$\begin{aligned} I_{cctri} &= U_n / (Z_{dam} \times \sqrt{3}) \\ I_{cctri} &= 20 / (25,214 \times \sqrt{3}) \\ &= \mathbf{0,46 \text{ kA}} \end{aligned}$$

Défaut en aval TR3 (valeur 20 kV) :

Impédance amont Zdam :

$$\begin{aligned} & Z_{dgen} + Z_{d1} + Z_{dTR3} \\ &= (0,545 + j 25,148) + (0,16 + j 0,056) + (3,125 + j 14,761) \\ &= 3,83 + j 39,875 \\ &= \mathbf{40,058 \Omega} \end{aligned}$$

Courant de court-circuit:

$$\begin{aligned} I_{cctri} &= U_n / (Z_{dam} \times \sqrt{3}) \\ I_{cctri} &= 20 / (40,058 \times \sqrt{3}) \\ &= \mathbf{0,29 \text{ kA}} \end{aligned}$$

Générateur seul en fonctionnement (Icc à 0,9 s) + 2 liaisons en service :

Impédance amont Zdam :

$$\begin{aligned} & Z_{dgen} + Z_{d2} \\ &= (0,545 + j 25,148) + (0,08 + j 0,028) \\ &= 0,625 + j 25,176 \\ &= \mathbf{25,184 \Omega} \end{aligned}$$

Courant de court-circuit:

$$I_{cctri} = U_n / (Z_{dam} \times \sqrt{3})$$

$$I_{cctri} = 20 / (25,184 \times \sqrt{3}) = \boxed{0,46 \text{ kA}}$$

Note : Le courant se partage dans chaque liaison et vaut $0,46 / 2 = 0,23 \text{ kA}$

Défaut en aval TR3 (valeur 20 kV) :

Impédance amont Zdam :

$$\begin{aligned} & Z_{dgén} + Z_{d2} + Z_{dTR3} \\ &= (0,545 + j 25,148) + (0,08 + j 0,028) + (3,125 + j 14,761) \\ &= 3,75 + j 39,847 \\ &= \boxed{40,023 \Omega} \end{aligned}$$

Courant de court-circuit :

$$\begin{aligned} I_{cctri} &= U_n / (Z_{dam} \times \sqrt{3}) \\ I_{cctri} &= 20 / (40,023 \times \sqrt{3}) = \boxed{0,29 \text{ kA}} \end{aligned}$$

➤ **Défaut monophasé :**

Impédance de source minimum + Générateur en fonctionnement (Icc à 0,9 s) + 1 liaison en service :

Les impédances

$$\begin{aligned} Z_{dam} &= Z_{dam1mini} + Z_{d1} = 2,406 \Omega \\ Z_{iam} &= Z_{dam1mini} = 2,406 \Omega \\ Z_o &= 115,987 \Omega \end{aligned}$$

Courant de défaut à la terre

$$\begin{aligned} I_t &= 3 V_n / (Z_{dam} + Z_{iam} + Z_o) \\ I_t &= (20000 \times \sqrt{3}) / (2,406 + 2,406 + 115,987) \\ &= \boxed{0,29 \text{ kA}} \end{aligned}$$

Défaut en aval TR3 :

Le transformateur TR3 à couplage triangle (côté 20 kV) / étoile (côté 0,4 kV) présente une barrière homopolaire, les défauts à la terre côté 0,4 kV ne sont pas répercutés côté 20 kV.

Impédance de source minimum + Générateur en fonctionnement (Icc à 0,9 s) + 2 liaisons en service :

Les impédances

$$\begin{aligned} Z_{dam} &= Z_{dam1mini} + Z_{d2} = 2,236 + 0,085 = 2,321 \Omega \\ Z_{iam} &= Z_{dam1mini} = 2,321 \Omega \\ Z_o &= 115,5 + Z_{o2} = 115,5 + 0,243 = 115,743 \Omega \end{aligned}$$

Courant de défaut à la terre

$$\begin{aligned} I_t &= 3 V_n / (Z_{dam} + Z_{iam} + Z_o) \\ I_t &= (20000 \times \sqrt{3}) / (2,321 + 2,321 + 115,743) \\ &= \boxed{0,29 \text{ kA}} \end{aligned}$$

Note : Le courant se partage dans chaque liaison et vaut $288 / 2 = 144 \text{ A}$

Défaut en aval TR3 :

Le transformateur TR3 à couplage triangle (côté 20 kV) / étoile (côté 0,4 kV) présente une barrière homopolaire, les défauts à la terre côté 0,4 kV ne sont pas répercutés côté 20 kV.

Impédance de source maximum + Générateur en fonctionnement (Icc à 0,9 s) + 1 liaison en service :

Les impédances

$$\begin{aligned} Z_{dam} &= Z_{dam1maxi} + Z_{d1} = 2,429 + 0,17 = 2,599 \Omega \\ Z_{iam} &= Z_{dam1mini} = 2,599 \Omega \end{aligned}$$

$$Z_o = 115,5 + Z_{o1} = 115,5 + 0,487 = 115,987 \Omega$$

Courant de défaut à la terre

$$\begin{aligned} I_t &= 3 V_n / (Z_{dam} + Z_{iam} + Z_o) \\ I_t &= (20000 \times \sqrt{3}) / (2,599 + 2,599 + 115,987) \\ &= \boxed{0,29 \text{ kA}} \end{aligned}$$

Défaut en aval TR3 :

Le transformateur TR3 à couplage triangle (côté 20 kV) / étoile (côté 0,4 kV) présente une barrière homopolaire, les défauts à la terre côté 0,4 kV ne sont pas répercutés côté 20 kV.

Impédance de source maximum + Générateur en fonctionnement (Icc à 0,9 s) + 2 liaisons en service :

Les impédances

$$\begin{aligned} Z_{dam} &= Z_{dam1maxi} + Z_{d2} = 2,429 + 0,085 = 2,514 \Omega \\ Z_{iam} &= Z_{dam1mini} = 2,514 \Omega \\ Z_o &= 115,5 + Z_{o2} = 115,5 + 0,243 = 115,743 \Omega \end{aligned}$$

Courant de défaut à la terre

$$\begin{aligned} I_t &= 3 V_n / (Z_{dam} + Z_{iam} + Z_o) \\ I_t &= (20000 \times \sqrt{3}) / (2,514 + 2,514 + 115,743) \\ &= \boxed{0,29 \text{ kA}} \end{aligned}$$

Note : Le courant se partage dans chaque liaison et vaut $287 / 2 = 143 \text{ A}$

Défaut en aval TR3 :

Le transformateur TR3 à couplage triangle (côté 20 kV) / étoile (côté 0,4 kV) présente une barrière homopolaire, les défauts à la terre côté 0,4 kV ne sont pas répercutés côté 20 kV.

Générateur seul en fonctionnement (Icc à 0,9 s) + 1 liaison en service :

Les impédances

$$\begin{aligned} Z_{dam} &= Z_{dgén} + Z_{d1} = 25,154 + 0,17 = 25,324 \Omega \\ Z_{iam} &= Z_{dam} = 25,324 \Omega \\ Z_o &= 115,5 + Z_{o1} = 115,5 + 0,487 = 115,987 \Omega \end{aligned}$$

Courant de défaut à la terre

$$\begin{aligned} I_t &= 3 V_n / (Z_{dam} + Z_{iam} + Z_o) \\ I_t &= (20000 \times \sqrt{3}) / (25,324 + 25,324 + 115,987) \\ &= \boxed{0,21 \text{ kA}} \end{aligned}$$

Défaut en aval TR3 :

Le transformateur TR3 à couplage triangle (côté 20 kV) / étoile (côté 0,4 kV) présente une barrière homopolaire, les défauts à la terre côté 0,4 kV ne sont pas répercutés côté 20 kV.

Générateur seul en fonctionnement (Icc à 0,9 s) + 2 liaisons en service :

Les impédances

$$\begin{aligned} Z_{dam} &= Z_{dgén} + Z_{d2} = 25,154 + 0,085 = 25,239 \Omega \\ Z_{iam} &= Z_{dam} = 25,239 \Omega \\ Z_o &= 115,5 + Z_{o2} = 115,5 + 0,243 = 115,743 \Omega \end{aligned}$$

Courant de défaut à la terre

$$\begin{aligned} I_t &= 3 V_n / (Z_{dam} + Z_{iam} + Z_o) \\ I_t &= (20000 \times \sqrt{3}) / (25,239 + 25,239 + 115,743) \\ &= \boxed{0,21 \text{ kA}} \end{aligned}$$

Note : Le courant se partage dans chaque liaison et vaut $208 / 2 = 104$ A

Défaut en aval TR3 :

Le transformateur TR3 à couplage triangle (côté 20 kV) / étoile (côté 0,4 kV) présente une barrière homopolaire, les défauts à la terre côté 0,4 kV ne sont pas répercutés côté 20 kV.

Jeu de Barres JdB3

➤ Défaut triphasé :

Impédance de source minimum + Générateur en fonctionnement (Icc à 0,9 s) + 1 liaison en service :

Impédance amont Zdam :

$$\begin{aligned} & Z_{dam1mini} + Z_{d1} \\ &= (0,152 + j 2,231) + (0,75 + j 1,5) \\ &= 0,902 + j 3,731 \\ &= \mathbf{3,838 \Omega} \end{aligned}$$

Courant de court-circuit

$$\begin{aligned} I_{cctri} &= U_n / (Z_{dam} * \sqrt{3}) \\ I_{cctri} &= 20 / (3,838 * \sqrt{3}) \end{aligned}$$

= **3 kA**

Défaut en aval TR4 (valeur 20 kV) :

Impédance amont Zdam :

$$\begin{aligned} & Z_{dam1mini} + Z_{d1} + Z_{dTR4} \\ &= (0,152 + j 2,231) + (0,75 + j 1,5) + (5,2 + j 23,43) \\ &= 6,102 + j 27,161 \\ &= \mathbf{27,838 \Omega} \end{aligned}$$

Courant de court-circuit

$$\begin{aligned} I_{cctri} &= U_n / (Z_{dam} * \sqrt{3}) \\ I_{cctri} &= 20 / (27,838 * \sqrt{3}) \end{aligned}$$

= **0,41 kA**

Défaut en aval TR5 (valeur 20 kV) :

Impédance amont Zdam :

$$\begin{aligned} & Z_{dam1mini} + Z_{d1} + Z_{dTR5} \\ &= (0,152 + j 2,231) + (0,75 + j 1,5) + (2,5 + j 11,737) \\ &= 3,402 + j 15,468 \\ &= \mathbf{15,838 \Omega} \end{aligned}$$

Courant de court-circuit

$$\begin{aligned} I_{cctri} &= U_n / (Z_{dam} * \sqrt{3}) \\ I_{cctri} &= 20 / (15,838 * \sqrt{3}) \end{aligned}$$

= **0,73 kA**

Impédance de source minimum + Générateur en fonctionnement (Icc à 0,9 s) + 2 liaisons en service :

Impédance amont Zdam :

$$\begin{aligned} & Z_{dam1mini} + Z_{d2} \\ &= (0,152 + j 2,231) + (0,375 + j 0,75) \\ &= 0,527 + j 2,981 \\ &= \mathbf{3,027 \Omega} \end{aligned}$$

Courant de court-circuit

$$\begin{aligned} I_{cctri} &= U_n / (Z_{dam} * \sqrt{3}) \\ I_{cctri} &= 20 / (3,027 * \sqrt{3}) \end{aligned}$$

= **3,81 kA**

Note : Le courant se partage dans chaque liaison et vaut $3,81 / 2 = 1,91$ kA

Défaut en aval TR4 (valeur 20 kV) :

Impédance amont Zdam =

$$\begin{aligned} & Z_{dam1mini} + Z_{d2} + Z_{dTR4} = (0,152 + j 2,231) + (0,375 + j \\ & 0,75) + (5,2 + j 23,43) \\ &= 5,727 + j 26,411 \\ &= \mathbf{27,025 \Omega} \end{aligned}$$

Courant de court-circuit

$$\begin{aligned} I_{cctri} &= U_n / (Z_{dam} * \sqrt{3}) \\ I_{cctri} &= 20 / (27,025 * \sqrt{3}) \end{aligned}$$

= **0,43 kA**

Défaut en aval TR5 (valeur 20 kV) :

Impédance amont Zdam :

$$\begin{aligned} & Z_{dam1mini} + Z_{d2} + Z_{dTR5} \\ &= (0,152 + j 2,231) + (0,375 + j 0,75) + (2,5 + j 11,737) \\ &= 3,027 + j 14,718 \\ &= \mathbf{15,026 \Omega} \end{aligned}$$

Courant de court-circuit

$$\begin{aligned} I_{cctri} &= U_n / (Z_{dam} * \sqrt{3}) \\ I_{cctri} &= 20 / (15,026 * \sqrt{3}) \end{aligned}$$

= **0,77 kA**

Note : Ce cas entraîne le courant de court-circuit maximum pour la cellule dite "Processus"

En valeur 20 kV :

$$\begin{aligned} & Z_{dam} = Z_{dam1mini} + Z_{d2} + Z_{dTR5} + \text{Liaison (TR5 -} \\ & \text{JdB5)} \\ &= (3,027 + j 14,718) + (3,333 + j 8,333) \\ &= 6,36 + j 23,051 \\ &= \mathbf{23,9123 \Omega} \end{aligned}$$

En valeur 0,4 kV :

$$\begin{aligned} & Z_{dam20} * (0,4 / 20)^2 \\ &= 0,009565 \Omega \end{aligned}$$

Avec un coefficient de sécurité de 20%, Icc maxi devra être de $20 * 0,8 = 16$ kA correspondant à une impédance de $Z_{dam} = U_n / (I_{cc} * \sqrt{3}) = 0,4 / (16 * \sqrt{3}) = 0,014434 \Omega$. L'impédance ajoutée sera de $0,014434 - 0,009565 = 0,004869 \Omega$ qui devra être une réactance.

$$L = X / \omega = 0,004869 / 314,16 = 0,015 \text{ mH ou } 15 \mu\text{H}$$

Rappelons qu'en BT une connexion a une inductance de 0,15 $\mu\text{H} / \text{m}$. Une connexion de 100 m limiterait Icc à une valeur satisfaisante.

Impédance de source maximum + Générateur en fonctionnement (Icc à 0,9 s) + 1 liaison en service :

Impédance amont Zdam :

$$\begin{aligned} & Z_{dam1maxi} + Z_{d1} \\ &= (0,163 + j 2,424) + (0,75 + j 1,5) \\ &= 0,913 + j 3,924 \\ &= \mathbf{4,029 \Omega} \end{aligned}$$

Courant de court-circuit

$$\begin{aligned} I_{cctri} &= U_n / (Z_{dam} * \sqrt{3}) \\ I_{cctri} &= 20 / (4,029 * \sqrt{3}) \end{aligned}$$

$$= 2,87 \text{ kA}$$

Défaut en aval TR4 (valeur 20 kV) :

Impédance amont Zdam :

$$\begin{aligned} & Z_{dam1maxi} + Z_{d1} + Z_{dTR4} \\ &= (0,163 + j 2,424) + (0,75 + j 1,5) + (5,2 + j 23,43) \\ &= 6,113 + j 27,354 \\ &= 28,029 \Omega \end{aligned}$$

Courant de court-circuit

$$\begin{aligned} I_{cctri} &= U_n / (Z_{dam} * \sqrt{3}) \\ I_{cctri} &= 20 / (28,029 * \sqrt{3}) \end{aligned}$$

$$= 0,41 \text{ kA}$$

Défaut en aval TR5 (valeur 20 kV) :

Impédance amont Zdam :

$$\begin{aligned} & Z_{dam1maxi} + Z_{d1} + Z_{dTR5} \\ &= (0,163 + j 2,424) + (0,75 + j 1,5) + (2,5 + j 11,737) \\ &= 3,413 + j 15,661 \\ &= 16,029 \Omega \end{aligned}$$

Courant de court-circuit

$$\begin{aligned} I_{cctri} &= U_n / (Z_{dam} * \sqrt{3}) \\ I_{cctri} &= 20 / (16,029 * \sqrt{3}) \end{aligned}$$

$$= 0,72 \text{ kA}$$

Impédance de source maximum + Générateur en fonctionnement
 (Icc à 0,9 s) + 2 liaisons en service :

Impédance amont Zdam :

$$\begin{aligned} & Z_{dam1maxi} + Z_{d2} \\ &= (0,163 + j 2,424) + (0,375 + j 0,75) \\ &= 0,538 + j 3,174 \\ &= 3,219 \Omega \end{aligned}$$

Courant de court-circuit

$$\begin{aligned} I_{cctri} &= U_n / (Z_{dam} * \sqrt{3}) \\ I_{cctri} &= 20 / (3,219 * \sqrt{3}) \end{aligned}$$

$$= 3,59 \text{ kA}$$

Note : Le courant se partage dans chaque liaison et vaut $3,59 / 2 = 1,79 \text{ kA}$

Défaut en aval TR4 (valeur 20 kV) :

Impédance amont Zdam :

$$\begin{aligned} & Z_{dam1maxi} + Z_{d2} + Z_{dTR4} \\ &= (0,163 + j 2,424) + (0,375 + j 0,75) + (5,2 + j 23,43) \\ &= 5,738 + j 26,604 \\ &= 27,216 \Omega \end{aligned}$$

Courant de court-circuit

$$\begin{aligned} I_{cctri} &= U_n / (Z_{dam} * \sqrt{3}) \\ I_{cctri} &= 20 / (27,216 * \sqrt{3}) \end{aligned}$$

$$= 0,42 \text{ kA}$$

Défaut en aval TR5 (valeur 20 kV) :

Impédance amont Zdam :

$$\begin{aligned} & Z_{dam1maxi} + Z_{d2} + Z_{dTR5} \\ &= (0,163 + j 2,424) + (0,375 + j 0,75) + (2,5 + j 11,737) \\ &= 3,038 + j 14,911 \\ &= 15,217 \Omega \end{aligned}$$

Courant de court-circuit

$$\begin{aligned} I_{cctri} &= U_n / (Z_{dam} * \sqrt{3}) \\ I_{cctri} &= 20 / (15,217 * \sqrt{3}) \end{aligned}$$

$$= 0,76 \text{ kA}$$

Générateur seul en fonctionnement (Icc à 0,9 s) + 1 liaison en service :

Impédance amont Zdam :

$$\begin{aligned} & Z_{dgen} + Z_{d1} \\ &= (0,545 + j 25,148) + (0,75 + j 1,5) \\ &= 1,295 + j 26,648 \\ &= 26,679 \Omega \end{aligned}$$

Courant de court-circuit

$$\begin{aligned} I_{cctri} &= U_n / (Z_{dam} * \sqrt{3}) \\ I_{cctri} &= 20 / (26,679 * \sqrt{3}) \end{aligned}$$

$$= 0,43 \text{ kA}$$

Défaut en aval TR4 (valeur 20 kV) :

Impédance amont Zdam :

$$\begin{aligned} & Z_{dgen} + Z_{d1} + Z_{dTR4} \\ &= (0,545 + j 25,148) + (0,75 + j 1,5) + (5,2 + j 23,43) \\ &= 6,495 + j 50,078 \\ &= 50,497 \Omega \end{aligned}$$

Courant de court-circuit

$$\begin{aligned} I_{cctri} &= U_n / (Z_{dam} * \sqrt{3}) \\ I_{cctri} &= 20 / (50,497 * \sqrt{3}) \end{aligned}$$

$$= 0,23 \text{ kA}$$

Défaut en aval TR5 (valeur 20 kV) :

Impédance amont Zdam :

$$\begin{aligned} & Z_{dgen} + Z_{d1} + Z_{dTR5} \\ &= (0,545 + j 25,148) + (0,75 + j 1,5) + (2,5 + j 11,737) \\ &= 3,795 + j 38,385 \\ &= 38,572 \Omega \end{aligned}$$

Courant de court-circuit

$$\begin{aligned} I_{cctri} &= U_n / (Z_{dam} * \sqrt{3}) \\ I_{cctri} &= 20 / (38,572 * \sqrt{3}) \end{aligned}$$

$$= 0,3 \text{ kA}$$

Générateur seul en fonctionnement (Icc à 0,9 s) + 2 liaisons en service :

Impédance amont Zdam :

$$\begin{aligned} & Z_{dgen} + Z_{d2} \\ &= (0,545 + j 25,148) + (0,375 + j 0,75) \\ &= 0,92 + j 25,898 \\ &= 25,914 \Omega \end{aligned}$$

Courant de court-circuit

$$\begin{aligned} I_{cctri} &= U_n / (Z_{dam} * \sqrt{3}) \\ I_{cctri} &= 20 / (25,914 * \sqrt{3}) \end{aligned}$$

$$= 0,45 \text{ kA}$$

Note : Le courant se partage dans chaque liaison et vaut $0,45 / 2 = 0,22 \text{ kA}$

Défaut en aval TR4 (valeur 20 kV) :

Impédance amont Zdam :

$$\begin{aligned} Z_{d\text{gén}} + Z_{d2} + Z_{d\text{TR4}} \\ = (0,545 + j 25,148) + (0,375 + j 0,75) + (5,2 + j 23,43) \\ = 6,12 + j 49,328 \\ = \mathbf{49,706 \Omega} \end{aligned}$$

Courant de court-circuit

$$\begin{aligned} I_{c\text{ctri}} &= U_n / (Z_{\text{dam}} * \sqrt{3}) \\ I_{c\text{ctri}} &= 20 / (49,706 * \sqrt{3}) \\ &= \mathbf{0,23 \text{ kA}} \end{aligned}$$

Défaut en aval TR5 (valeur 20 kV) :

Impédance amont Zdam :

$$\begin{aligned} Z_{d\text{gén}} + Z_{d2} + Z_{d\text{TR5}} \\ = (0,545 + j 25,148) + (0,375 + j 0,75) + (2,5 + j 11,737) \\ = 3,42 + j 37,635 \\ = \mathbf{37,790 \Omega} \end{aligned}$$

Courant de court-circuit

$$\begin{aligned} I_{c\text{ctri}} &= U_n / (Z_{\text{dam}} * \sqrt{3}) \\ I_{c\text{ctri}} &= 20 / (37,790 * \sqrt{3}) \\ &= \mathbf{0,31 \text{ kA}} \end{aligned}$$

➤ Défaut monophasé :

Impédance de source minimum + Générateur en fonctionnement (Icc à 0,9 s) + 1 liaison en service :

Les impédances

$$\begin{aligned} Z_{\text{dam}} &= Z_{\text{dam1mini}} + Z_{d1} = 2,236 + 1,677 = 3,913 \Omega \\ Z_{\text{iam}} &= Z_{\text{dam1mini}} = 3,913 \Omega \\ Z_o &= 115,5 + Z_{o1} = 115,5 + 4,743 = 120,243 \Omega \end{aligned}$$

Courant de défaut à la terre

$$\begin{aligned} I_t &= 3 V_n / (Z_{\text{dam}} + Z_{\text{iam}} + Z_o) \\ I_t &= (20000 * \sqrt{3}) / (3,913 + 3,913 + 120,243) \\ &= \mathbf{0,27 \text{ kA}} \end{aligned}$$

Défaut en aval TR4 & TR5 :

Les transformateurs TR4 & TR5 à couplage triangle (côté 20 kV) / étoile (côté 0,4 kV) présentent une barrière homopolaire, les défauts à la terre côté 0,4 kV ne sont pas répercutés côté 20 kV.

Impédance de source minimum + Générateur en fonctionnement (Icc à 0,9 s) + 2 liaisons en service :

Les impédances :

$$\begin{aligned} Z_{\text{dam}} &= Z_{\text{dam1mini}} + Z_{d2} = 2,236 + 0,839 = 3,075 \Omega \\ Z_{\text{iam}} &= Z_{\text{dam1mini}} = 3,075 \Omega \\ Z_o &= 115,5 + Z_{o2} = 115,5 + 2,372 = 117,872 \Omega \end{aligned}$$

Courant de défaut à la terre :

$$\begin{aligned} I_t &= 3 V_n / (Z_{\text{dam}} + Z_{\text{iam}} + Z_o) \\ I_t &= (20000 * \sqrt{3}) / (3,075 + 3,075 + 117,872) \\ &= \mathbf{0,28 \text{ kA}} \end{aligned}$$

Note : Le courant se partage dans chaque liaison et vaut 279 / 2 = 140 A

Défaut en aval TR4 & TR5 :

Les transformateurs TR4 & TR5 à couplage triangle (côté 20 kV) / étoile (côté 0,4 kV) présentent une barrière homopolaire, les défauts à la terre côté 0,4 kV ne sont pas répercutés côté 20 kV.

Impédance de source maximum + Générateur en fonctionnement (Icc à 0,9 s) + 1 liaison en service :

Les impédances :

$$\begin{aligned} Z_{\text{dam}} &= Z_{\text{dam1maxi}} + Z_{d1} = 2,429 + 1,677 = 4,106 \Omega \\ Z_{\text{iam}} &= Z_{\text{dam1mini}} = 4,106 \Omega \\ Z_o &= 115,5 + Z_{o1} = 115,5 + 4,743 = 120,243 \Omega \end{aligned}$$

Courant de défaut à la terre :

$$\begin{aligned} I_t &= 3 V_n / (Z_{\text{dam}} + Z_{\text{iam}} + Z_o) \\ I_t &= (20000 * \sqrt{3}) / (4,106 + 4,106 + 120,243) \\ &= \mathbf{0,27 \text{ A}} \end{aligned}$$

Défaut en aval TR4 & TR5 :

Les transformateurs TR4 & TR5 à couplage triangle (côté 20 kV) / étoile (côté 0,4 kV) présentent une barrière homopolaire, les défauts à la terre côté 0,4 kV ne sont pas répercutés côté 20 kV.

Impédance de source maximum + Générateur en fonctionnement (Icc à 0,9 s) + 2 liaisons en service :

Les impédances :

$$\begin{aligned} Z_{\text{dam}} &= Z_{\text{dam1maxi}} + Z_{d2} = 2,429 + 0,839 = 3,268 \Omega \\ Z_{\text{iam}} &= Z_{\text{dam1mini}} = 3,268 \Omega \\ Z_o &= 115,5 + Z_{o2} = 115,5 + 2,372 = 117,872 \Omega \end{aligned}$$

Courant de défaut à la terre :

$$\begin{aligned} I_t &= 3 V_n / (Z_{\text{dam}} + Z_{\text{iam}} + Z_o) \\ I_t &= (20000 * \sqrt{3}) / (3,268 + 3,268 + 117,872) \\ &= \mathbf{0,28 \text{ kA}} \end{aligned}$$

Note : Le courant se partage dans chaque liaison et vaut 278 / 2 = 139 A

Défaut en aval TR4 & TR5 :

Les transformateurs TR4 & TR5 à couplage triangle (côté 20 kV) / étoile (côté 0,4 kV) présentent une barrière homopolaire, les défauts à la terre côté 0,4 kV ne sont pas répercutés côté 20 kV.

Générateur seul en fonctionnement (Icc à 0,9 s) + 1 liaison en service :

Les impédances

$$\begin{aligned} Z_{\text{dam}} &= Z_{\text{gén}} + Z_{d1} = 25,154 + 1,677 = 26,831 \Omega \\ Z_{\text{iam}} &= Z_{\text{dam}} = 26,831 \Omega \\ Z_o &= 115,5 + Z_{o1} = 115,5 + 4,743 = 120,243 \Omega \end{aligned}$$

Courant de défaut à la terre :

$$\begin{aligned} I_t &= 3 V_n / (Z_{\text{dam}} + Z_{\text{iam}} + Z_o) \\ I_t &= (20000 * \sqrt{3}) / (26,831 + 26,831 + 120,243) \\ &= \mathbf{0,2 \text{ kA}} \end{aligned}$$

Défaut en aval TR4 & TR5 :

Les transformateurs TR4 & TR5 à couplage triangle (côté 20 kV) / étoile (côté 0,4 kV) présentent une barrière homopolaire, les défauts à la terre côté 0,4 kV ne sont pas répercutés côté 20 kV.

Générateur seul en fonctionnement (Icc à 0,9 s) + 2 liaisons en service :

Les impédances

$$Z_{dam} = Z_{dgén} + Z_{d2} = 25,154 + 0,839 = 25,993 \Omega$$

$$Z_{iam} = Z_{dam} = 25,993 \Omega$$

$$Z_o = 115,5 + Z_{o2} = 115,5 + 2,372 = 117,872 \Omega$$

Courant de défaut à la terre :

$$I_t = 3 V_n / (Z_{dam} + Z_{iam} + Z_o)$$

$$I_t = (20000 \times \sqrt{3}) / (25,993 + 25,993 + 117,872)$$

$$= \boxed{0,2 \text{ kA}}$$

Note : Le courant se partage dans chaque liaison et vaut $204 / 2 = 102 \text{ A}$

Défaut en aval TR4 & TR5 :

Les transformateurs TR4 & TR5 à couplage triangle (côté 20 kV) / étoile (côté 0,4 kV) présentent une barrière homopolaire, les défauts à la terre côté 0,4 kV ne sont pas répercutés côté 20 kV.

Tableau récapitulatif (valeurs 20 kV) :

Défaut	Alimentation	Icc phase	It terre	Icc Défaut Aval	Icc Défaut Aval
JdB1	Scemax + Gén.	5160A	289 A		
JdB1	Scmin + Gén.	4750A	288 A		
JdB1	Gén.	460A	246 A		
JdB2	Scemax + Gén. + 1 L	5000A	287 A	TR3= 670A	
JdB2	Scemax + Gén. + 2 L	5080A	288 A	TR3=670A	
JdB2	Scmin + Gén. + 1 L	4620A	286 A	TR3= 660 A	
JdB2	Scmin + Gén. + 2 L	4690A	287 A	TR3= 660 A	
JdB2	Gén. + 1 L	460A	208 A	TR3= 290 A	
JdB2	Gén. + 2 L	460A	208 A	TR3= 290 A	
JdB3	Scemax + Gén. + 1 L	3000A	270 A	TR4= 410 A	TR5=730 A
JdB3	Scemax + Gén. + 2 L	3810A	279 A	TR4= 430 A	TR5=770 A

JdB3	Scmin + Gén. + 1 L	2870A	270 A	TR4= 410 A	TR5=720 A
JdB3	Scmin + Gén. + 2 L	3590A	278 A	TR4= 420 A	TR5=760 A
JdB3	Gén. + 1 L	430 A	199 A	TR4= 230 A	TR5=300 A
JdB3	Gén. + 2 L	450 A	204 A	TR4= 230 A	TR5=310 A

Rappel pour la définition de la tenue du matériel :

Conformément à la norme CEI 909, la tension pour le calcul de la valeur de crête maximale du courant de court-circuit sera prise égale à 110% de la tension nominale (avant défaut) et les formules suivantes utilisées :

$$I_{pic} = K \sqrt{2} I_{cc}$$

$$K = 1 + e^{-(Ramont / Xamont)\Pi}$$

La valeur limite asymptotique est $e^{-(Ramont / Xamont)\Pi} = 1$ avec $T_p = \alpha$ soit

Ramont / Xamont = 0 (cas de l'assimilation de l'impédance à sa réactance) et $I_{pic} = 2.83 I_{cc}$

La définition de la tenue devra, bien entendu, tenir compte des extensions futures et d'un coefficient de sécurité

Protections de la BT (0,4 kV)

Il est admis, dans le processus, un démarrage séquentiel chronologique des moteurs.

Démarrage des moteurs M2 (Disjoncteurs S à V)

- Puissance nominale apparente d'un moteur :

$$S_n = P_n \times (1 / \cos \phi_n) \times (1 / \eta_n)$$

$$S_n = 100 \times (1 / 0,9) \times (1 / 0,87)$$

$$= 127,7 \text{ kVA}$$

- Puissance apparente de démarrage :

$$S_{dém} = S_n \times (I_d / I_n)$$

$$S_{dém} = 127,7 \times 6$$

$$= 0,766 \text{ MVA}$$

- Alimentation des moteurs :

Courant de court-circuit minimum, alimentation par TR4 (Icc mini par Gén + 1 L + ZdTR4)

$$Z_{dam} = 6,485 + j 50,078 = 50,497 \Omega$$

$$I_{cc \text{ mini}} (0,4 \text{ kV}) = [U_n / (Z_{dam} \times \sqrt{3})] \times (U_{n1} / U_{n2})$$

$$I_{cc \text{ mini}} (0,4 \text{ kV}) = [20 / (50,497 \times \sqrt{3})] \times (20 / 0,4)$$

$$= 11,43 \text{ kA}$$

Puissance de court-circuit :

$$S_{cc} = U_n \times \sqrt{3} \times I_{cc}$$

$$S_{cc} = 0,4 \times \sqrt{3} \times 11,43$$

$$= 7,92 \text{ MVA}$$

Chute de tension au démarrage :

$$\Delta U = S_{dém} / (S_{dém} + S_{cc})$$

$$\Delta U = 0,766 / (0,766 + 7,92)$$

$$= 8,8\%$$

Courant de court-circuit minimum, alimentation par TR5 (Icc mini par Gén + 1 L + ZdTR5 + Liaison TR5-JdB5 + Liaison JdB5-JdB4)

$$Z_{dam} = 17,128 + j 71,718 = 73,735 \Omega$$

$$I_{cc \text{ mini}} (0,4 \text{ kV}) = [U_n / (Z_{dam} \times \sqrt{3})] \times (U_{n1} / U_{n2})$$

$$I_{cc \text{ mini}} (0,4 \text{ kV}) = [20 / (73,735 \times \sqrt{3})] \times (20 / 0,4)$$

$$= 7,83 \text{ kA}$$

Puissance de court-circuit :

$$S_{cc} = U_n \times \sqrt{3} \times I_{cc}$$

$$S_{cc} = 0,4 \times \sqrt{3} \times 7,83$$

$$= 5,43 \text{ MVA}$$

Chute de tension au démarrage :

$$\Delta U = S_{dém} / (S_{dém} + S_{cc})$$

$$\Delta U = 0,766 / (0,766 + 5,43)$$

$$= 12,4\%$$

Dans les conditions les plus défavorables, les chutes de tension au démarrage sont compatibles avec un démarrage normal du moteur ($\Delta U < 15\%$).

Protections des moteurs M2 (Disjoncteurs S à V) :

A ce niveau de tension (0,4 kV) il arrive que certaines fonctions de protection ne soient pas réglables, le constructeur de relais imposant sa propre philosophie (relais **N-DIN/MA** - Cliquez pour télécharger la documentation).

- Surcharge thermique F49

Courant nominal du moteur $I_n = S_n / (U_n \times \sqrt{3}) = 184,3 \text{ A}$

$$I_n = 184,3 / 200 = 0,92 \text{ In}$$

Constante à l'échauffement $\tau_{éch.} = 10 \text{ mn}$

Constante au refroidissement $\tau_{ref.} = 30 \text{ mn}$

Alarme = 90%

Déclenchement = 95%

Note : La surcharge thermique peut intégrer les composantes directe et inverse du courant sous forme :

$$I_e = \sqrt{I_d^2 + k I_i^2}$$

Le coefficient de sur-valorisation k pouvant ou non être réglable, une valeur de l'ordre de 3 est conseillée.

- Surintensité phases F51 :

Réglage typique :

Seuil I> réglé à 1,5 Id
 Temporisation ts = **0,1 s**

$$I_d = S_{dém} / (U_n \times \sqrt{3})$$

$$I_d = 766 / (0,4 \times \sqrt{3})$$

$$= 1106 \text{ A}$$

$$I> = 1,5 \times 1106 = 1660 \text{ A}$$

$$I> = I_s / I_{np} = 1660 / 200 = \mathbf{8,3 \text{ In}}$$

Vérification :

$$[I>] < I_{cc \text{ mini}} / 2 \Rightarrow 1660 < (7830 / 2) \Rightarrow 1660 < 3915 \text{ A}$$

=> Ok

Note : Cette fonction peut être assurée par des fusibles. 1660 A (0,4 KV) correspond à $1660 \times (0,4 / 20) = 33,2 \text{ A}$ en 20 kV. S, T, U, V donnent un ordre logique de verrouillage à R (protection JdB4).

- Déséquilibre phases F46

Réglage typique :

Seuil I2 réglé à **0,2 In**
 Temporisation tI2 = **2 s**

Note : Cette fonction peut être désensibilisée par la composante directe du courant donc de la forme = Ii / Id, pour un rapport de 0,4 la temporisation est ts = 0,1 s.

- Démarrage trop long F48

Réglage typique :

Seuil Itr réglé à **2 In**
 Temporisation Ttr = **1,3 temps de démarrage**

Exemple :

$$\text{Pour } t_{dém} = 7,5 \text{ s} \Rightarrow Ttr = 1,3 \times 7,5 = 10 \text{ s}$$

➤ Rotor bloqué F51LR

Réglage typique :

$$\text{ILR réglé à } I_d / 2 = 1106 / 2 = 553 \text{ A}$$

$$\text{ILR} = 553 / 200 = \mathbf{2,77 \text{ In}}$$

$$\text{Temporisation tLR} = \mathbf{1 \text{ s}}$$

Note : Cette fonction est bloquée pendant le démarrage (en général un temps correspondant de 1,5 à 2 tdém).

➤ Défaut terre F64 :

Réglage typique :

$$I_o > \text{ réglé à } I_t / 2 = 2 / 2 = 1 \text{ A}$$

avec un tore 100 spires

$$I_o > = 1 / 100 = \mathbf{0,01 \text{ A}}$$

$$\text{Temporisation tIo} > = \mathbf{0,1 \text{ s}}$$

Note : La fonction F64 pourra être utilisée soit en signalisation soit en déclenchement, le régime de neutre IT n'obligeant pas la coupure au premier défaut.

Les ordres logiques de verrouillage de S, T, U, V pour la protection JdB4 sont émis vers R.

Protections de l'arrivée (Disjoncteur R)

(relais [IM30/AP](#) – Cliquez pour télécharger la documentation).

➤ Court-circuit phases F50 :

I>> réglé à Icc aval mini (Scmin + Gén. + 1L) / 2

$$= 11400 / 2$$

$$= 5700 \text{ A}$$

$$I >> = 5700 / 1500 = \mathbf{3,8 \text{ In}}$$

$$\text{temporisation ts} > = 0,1 + 0,3 = \mathbf{0,4 \text{ s}}$$

Note : R reçoit les ordres logiques de verrouillage de S, T, U, V pour la protection JdB4.

Le disjoncteur R est ouvert lorsque la liaison XW (alimentation de JdB4 par JdB5) est utilisée (inter-verrouillage entre R et W).

5700 A (0,4 KV) correspond à $5700 \times (0,4 / 20) = 114 \text{ A}$ en 20 kV.

➤ Surintensité phases F51 :

I> réglé à 1,6 InTR4

$$I_s = 1,6 \times 1443$$

$$= 2309 \text{ A}$$

$$I > = 2309 / 1500 = \mathbf{1,54 \text{ In}}$$

$$\text{temporisation ts} > = \mathbf{0,6 \text{ s}}$$

Vérification :

$$[I >] > 1,5 I_d \Rightarrow I_s > 1,5 \times 1106 = 1660 \text{ A} \Rightarrow 2309 > 1660 \text{ A}$$

=> Ok

Note : 2309 A (0,4 KV) correspond à $2309 \times (0,4 / 20) = 46 \text{ A}$ en 20 kV.

➤ Défaut terre F51N :

Réglage typique :

$$I_o > \text{ réglé à } I_t / 2 = 2 / 2 = 1 \text{ A}$$

avec un tore 100 spires,

$$I_o > = 1 / 100 = \mathbf{0,01 \text{ A}}$$

$$\text{Temporisation tIo} > = \mathbf{180 \text{ s}}$$

Note : La fonction F51N pourra être utilisée en signalisation, le régime de neutre IT n'obligeant pas la coupure au premier défaut.

Protections de la liaison JdB4 – JdB5 (Disjoncteurs X & W)

(relais [N-DIN/F](#) – Cliquez pour télécharger la documentation).

Lorsque JdB4 est alimenté par TR4, les disjoncteurs X & W sont ouverts (inter-verrouillage), de même le disjoncteur R est ouvert lorsque la liaison XW (alimentation de JdB4 par JdB5) est utilisée (inter-verrouillage entre R et W).

➤ Court-circuit phases F50 :

I>> réglé à Icc aval mini (Scmin + Gén. + 1L) / 2

$$= 7830 / 2$$

$$= 3920 \text{ A}$$

$$I >> = 3920 / 1500 = \mathbf{2,61 \text{ In}}$$

$$\text{temporisation ts} > = 0,1 + 0,3 = \mathbf{0,4 \text{ s}}$$

Note : La valeur 3920 A (0,4 KV) correspond à $3920 \times (0,4 / 20) = 78 \text{ A}$ en 20 kV.

➤ Surintensité phases F51 :

$$I > = 2 \times 1443$$

$$= 2886 \text{ A}$$

$$I > = 2886 / 1500 = \mathbf{1,92 \text{ In}}$$

$$\text{temporisation ts} = \mathbf{0,6 \text{ s}}$$

Note : La valeur 2886 A (0,4 KV) correspond à $2886 \times (0,4 / 20) = 58 \text{ A}$ en 20 kV.

➤ Défaut terre F51N :

réglage typique :

$$I_o > \text{ réglé à } I_t / 2 = 2 / 2 = 1 \text{ A}$$

avec un tore 100 t,

$$I_o > = 1 / 100 = \mathbf{0,01 \text{ A}}$$

$$\text{temporisation tIo} > = \mathbf{180 \text{ s}}$$

Note : La fonction F51N pourra être utilisée en signalisation, le régime de neutre IT n'obligeant pas la coupure au premier défaut.

Les ordres logiques de verrouillage de Z, X pour la protection JdB5 sont émis vers Y, les ordres logiques de verrouillage de W pour la protection JdB4 sont émis vers R.

Protections de l'arrivée (Disjoncteur Y)

(relais [IM30/AP](#) – Cliquez pour télécharger la documentation).

➤ Court-circuit phases F50 :

I>> réglé à Icc aval mini (Scmin + Gén. + 1L) / 2

$$= 12200 / 2$$

$$= 6100 \text{ A}$$

$$I_{>>} = 6100 / 3000 = \mathbf{2,03 \text{ In}}$$

$$\text{temporisation } t_s = 0,1 + 0,3 = \mathbf{0,4 \text{ s}}$$

Note : La valeur 6100 A (0,4 KV) correspond à $6100 \times (0,4 / 20) = 122 \text{ A}$ en 20 kV.

Le « disjoncteur » Y reçoit les ordres logiques de verrouillage de X, Z pour la protection JdB5.

➤ Surintensité phases F51 :

$$I_{>} \text{ réglé à } 1,6 \text{ InTR5}$$

$$= 1,6 \times 2887$$

$$= 4619 \text{ A}$$

$$I_{>} = 4619 / 3000 = \mathbf{1,54 \text{ In}}$$

$$\text{temporisation } t_s = \mathbf{0,6 \text{ s}}$$

Vérification (alimentation de JdB4) : $[I_{>}] > 1,5 I_d \Rightarrow I_{>} > 1,5 \times 1106 = 1660 \text{ A} \Rightarrow 4619 > 1660 \text{ A} \Rightarrow \text{ok}$

Note : La valeur 4619 A (0,4 KV) correspond à $4619 \times (0,4 / 20) = 92 \text{ A}$ en 20 kV.

➤ Défaut terre F51N :

réglage typique :
 $I_{o>} \text{ réglé à } I_t / 2 = 2 / 2 = 1 \text{ A}$

avec un tore 100 t,

$$I_{o>} = 1 / 100 = \mathbf{0,01 \text{ A}}$$

$$\text{temporisation } t_s = \mathbf{180 \text{ s}}$$

Note : La fonction F51N pourra être utilisée en signalisation, le régime de neutre IT n'obligeant pas la coupure au premier défaut.

Protections du départ "Alimentation Processus" (Disjoncteur Z) :

(relais [N-DIN/F](#) - Cliquez pour télécharger la documentation)

➤ Court-circuit phases F50 :

$$I_{>>} \text{ réglé à } I_{cc \text{ aval mini (Scmin + Gén. + 1L) / 2}}$$

$$= 15000 / 2$$

$$= 7500 \text{ A}$$

$$I_{>>} = 7500 / 200 = \mathbf{37,5 \text{ In}}$$

$$\text{temporisation } t_s = \mathbf{0,1 \text{ s}}$$

Note : La valeur 15000 A est le courant minimum de court-circuit (0,4 kV) à JdB5 (ou 300 A en 20 kV). La valeur 7500 A (0,4 KV) correspond à $7500 \times (0,4 / 20) = 150 \text{ A}$ en 20 kV.

➤ Surintensité phases F51 :

$$I_{>} = 2 \times 200$$

$$= 400 \text{ A}$$

$$I_{>} = 400 / 200 = \mathbf{2 \text{ In}}$$

$$\text{temporisation } t_s = \mathbf{0,6 \text{ s}}$$

Note : Il est admis que le départ est calibré pour 200 A. La valeur 400 A (0,4 KV) correspond à $400 \times (0,4 / 20) = 8 \text{ A}$ en 20 kV.

➤ Défaut terre F51N :

réglage typique :
 $I_{o>} \text{ réglé à } I_t / 2 = 2 / 2 = 1 \text{ A}$

avec un tore 100 t

$$I_{o>} = 1 / 100 = \mathbf{0,01 \text{ A}}$$

$$\text{temporisation } t_{I_{o>}} = \mathbf{180 \text{ s}}$$

Note : La fonction F51N pourra être utilisée en signalisation, le régime de neutre IT n'obligeant pas la coupure au premier défaut. Les ordres logiques de verrouillage de Z pour la protection JdB5 sont émis vers Y.

Protection des transformateurs

Les transformateurs de moyennes puissances TR3, TR4 & TR5 seront protégés par une protection ampèremétrique en aval, les transformateurs de fortes puissances TR1 & TR2 seront protégés d'une manière plus importante, tous les transformateurs étant supposés être équipés de protections à dégagement gazeux type Buccholz.

Protection du départ Transformateur TR3 (Disjoncteur L) :

(relais [IM30/AP](#) - Cliquez pour télécharger la documentation).

➤ Court-circuit phases F50 :

$$I_{>>} \text{ réglé à } 2 \times I_{cc \text{ aval maxi (Scmax + Gén.)}}$$

$$= 2 \times 670$$

$$= 1340 \text{ A}$$

$$I_{>>} = 1340 / 100 = \mathbf{13,4 \text{ In}}$$

$$\text{Temporisation } t_s = \mathbf{0,3 \text{ s}}$$

Vérification :

$$I_{>>} < I_{cc \text{ amont mini (Scmin + Gén.) / 2}} \Rightarrow < 4620 / 2 \Rightarrow 1340 < 2310 \text{ A}$$

$$I_{crête} = k \times I_n \times e^{-t/T_e}$$

$$I_{>>} > 356 \text{ A}$$

➤ Surintensité phases F51 :

$$I_{>} = 1,6 \times I_n \text{ TR}$$

$$= 1,6 \times 46,2 = 74 \text{ A}$$

$$I_{>} = 74 / 100 = \mathbf{0,74 \text{ In}}$$

$$\text{temporisation } t_s = \mathbf{0,6 \text{ s}}$$

Vérification :

$$I_{>} > 1,5 I_d \Rightarrow 1,5 \times 87,2 \Rightarrow 131 \text{ A}$$

Le réglage à 74 A est donc impossible, le réglage à adopter sera donc :

$$I_{>} > 131 \text{ A} = 131 / 100 = \mathbf{1,31 \text{ In}}$$

$$\text{Temporisation } t_s = \mathbf{0,6 \text{ s}}$$

Cette valeur est compatible avec la tenue thermique de TR3 (3 In TR pendant 0,6 s)

Vérification :

$$I_{>} < I_{cc \text{ aval mini (Gén. + 1L) / 2}} \Rightarrow < 290 / 2 \Rightarrow 131 < 145 \text{ A}$$

➤ Défaut terre F51N :

Réglage typique :

$I_{o>} >$ réglé à 10% I_n TC pour s'affranchir des erreurs pseudo-différentielles

$$I_{o>} = 0,1 \times 100 = 10A$$

$$I_{o>} = 10/100 = \mathbf{0,1 In}$$

$$\text{temporisation } t_{I_{o>}} = \mathbf{0,1 s}$$

Vérification :

$$I_{o>} < I_t \text{ mini}/2 \Rightarrow < 208/2 \Rightarrow 10 < 104 A$$

Note : Les ordres logiques de verrouillage de L pour la protection JdB2 sont émis vers J & K.

Protection du départ Transformateur TR4 (Disjoncteur P) :

(relais [IM30/AP](#) - Cliquez pour télécharger la documentation).

➤ Court-circuit phases F50 :

$$I_{>>} \text{ réglé à } 2 \times I_{cc} \text{ aval maxi (Sccmax + Gén. + 2L)}$$

$$= 2 \times 430$$

$$= 860 A$$

$$I_{>>} = 860/50 = \mathbf{17,2 In}$$

$$\text{temporisation } t_{s>} = \mathbf{0,3 s}$$

Vérification :

$$I_{>>} < I_{cc} \text{ amont mini (Sccmin + Gén. + 1L)}/2 \Rightarrow < 2870/2$$

$$\Rightarrow 860 < 1435 A \Rightarrow I_{>>} < 1,5 \text{ Icrête à } 0,3 s$$

$$I_{crête} = k \times I_n \times e^{-t/T_e}$$

$$I_{>>} > 184 A$$

➤ Surintensité phases F51 :

$$I_{>} = 1,6 \times I_n \text{ TR}$$

$$= 1,6 \times 28,9$$

$$= 46 A$$

$$I_{>} = 46/50 = \mathbf{0,92 In}$$

$$\text{temporisation } t_{s>} = \mathbf{0,9 s}$$

Vérification :

$$I_{>} < I_t \text{ mini}/2 \Rightarrow I_{>} < 199/2 \Rightarrow 5 < 99 A$$

Note : Les ordres logiques de verrouillage de P pour la protection JdB3 sont émis vers M & N.

Protections du départ Transformateur TR5 (Disjoncteur Q) :

(relais [IM30/AP](#) - Cliquez pour télécharger la documentation).

➤ Court-circuit phases F50 :

$$I_{>>} \text{ réglé à } 2 \times I_{cc} \text{ aval maxi (Sccmax + Gén. + 2L)}$$

$$= 2 \times 770$$

$$= 1540 A$$

$$I_{>>} = 1540/100 = \mathbf{15,4 In}$$

$$\text{temporisation } t_{s>} = \mathbf{0,3 s}$$

Vérification :

$$I_{>>} < I_{cc} \text{ amont mini (Sccmin + Gén. + 1L)}/2 \Rightarrow I_{>>} < 2870/2 \Rightarrow 1540 > 1435 A$$

L'équation n'est pas vérifiée, le réglage à adopter sera de $(1540 + 1435)/2 = 1490 A$ soit un coefficient de sécurité de : $1490/770 = 1,94$ au lieu de 2.

Réglage typique :

$$I_{>>} = 1490/100 = \mathbf{14,9 In}$$

$$\text{temporisation } t_{s>} = \mathbf{0,3 s}$$

$$I_{>>} > 1,5 \text{ Icrête à } 0,3 s$$

$$I_{crête} = k \times I_n \times e^{-t/T_e}$$

$$I_{>>} > \mathbf{356 A}$$

➤ Surintensité phases F51 :

$$I_{>} = 1,6 \times I_n \text{ TR}$$

$$= 1,6 \times 57,7$$

$$= 92 A$$

$$I_{>} = 92/100 = \mathbf{0,92 In}$$

$$\text{temporisation } t_{s>} = \mathbf{0,9 s}$$

Vérification :

$$I_{>} > 1,5 \text{ Idem} \Rightarrow > 1,5 \times 22 \Rightarrow > 33 A \Rightarrow I_{>} > 1,5 \text{ Icrête à } 0,9 s$$

$$I_{crête} = k \times I_n \times e^{-t/T_e}$$

$$I_{>} > 62 A$$

➤ Défaut terre F51N :

Réglage typique :

$I_{o>} >$ réglé à 10% I_n TC pour s'affranchir des erreurs pseudo-différentielles

$$I_{o>} = 0,1 \times 100 = 10 A$$

$$I_{o>} = 10/100 = \mathbf{0,1 In}$$

$$\text{temporisation } t_{I_{o>}} = \mathbf{0,1 s}$$

Vérification :

$$I_{o>} < I_t \text{ mini}/2 \Rightarrow < 199/2 \Rightarrow 10 < 99 A$$

Note : Les ordres logiques de verrouillage de Q pour la protection JdB3 sont émis vers M & N.

Protection d'Arrivée Transformateur TR1 (Disjoncteur A) :

(relais [IM30/T](#) - Cliquez pour télécharger la documentation).

➤ Surcharge phases F49 :

$$I_{nTR1} = 721,97 A$$

$$I_{nTR1} = 721,97/750$$

$$= 0,96 I_n$$

$$\text{Surcharge permanente admissible} = 105\%$$

$$\text{Constante de temps à l'échauffement} = 20 \text{ mn}$$

$$\text{Alarme} = 90\%$$

$$\text{Déclenchement} = 95\%$$

➤ Court-circuit phases F50/F51 :

I>> réglé à 0,5 Icc aval mini (Scmin)
 Icc aval mini pour Zdsmaxi + ZdTR1
 $Zdsmaxi + ZdTR1 = (0,049 + j0,765) + (0,144 + j1,92) = 2,692 \Omega$
 Icc aval mini = $(Un/\sqrt{3}) / (Zdsmaxi + ZdTR1) = 4,3 \text{ kA}$
 $I>> = 4300/2 = 2150 \text{ A}$
 $I>> = 2150/750 = 2,87 \text{ In}$
 temporisation ts> = 0,9 s (secours)
 temporisation ts> = 0,1 s (sélectivité logique)

Note: A reçoit les ordres logiques de verrouillage de B, C, D, E, F, G, H pour la protection JdB1

➤ Surintensité phases F51 :

$I> = 1,6 \times In \text{ TR}$
 $= 1,6 \times 721,7$
 $= 1155 \text{ A}$

$I> = 1155/750 = 1,54 \text{ In}$
 temporisation ts = 1,5 s

Cette valeur est compatible avec la tenue thermique de TR1 (1,54 In TR pendant 1,5 s)

Note: A reçoit les ordres logiques de verrouillage de B, C, D, E, F, G, H pour la protection JdB1

➤ Défaut terre F51N :

Réglage typique :

Io> réglé à 10% In TC pour s'affranchir des erreurs pseudo-différentielles

$Io> = 0,1 \times 750 = 75 \text{ A}$
 $Io> = 75/750 = 0,1 \text{ In}$
 Temporisation tIo> = 0,1 s

Vérification :

$Io> < It \text{ mini}/2 \Rightarrow < 288/2 \Rightarrow 75 < 144 \text{ A}$

➤ Protection différentielle transformateur F87T :

(relais [MD32/T](#) - Cliquez pour télécharger la documentation).

Primaire (60kV) :

$InTR1 = 240,56 \text{ A}$
 $= 240,56/250$
 $= 0,96 \text{ In}$

Secondaire (20kV) :

$InTR1 = 721,97 \text{ A}$
 $= 721,97/750$
 $= 0,96 \text{ In}$

Réglage typique :

Courant différentiel Id/In = 30% (régleur en charge)

Pente Itr/In :
 de 0 à 0,5 - P = 0%
 de 0,5 à 2,5 - P = 20%
 de 2,5 à 8,5 - P = 50%

Verrouillage taux Harmonique 2, H2 = 20%
 Verrouillage taux Harmonique 5, H5 = 30%

Temps où le courant d'enclenchement sera inférieur à 5% de In

$Icrête = k \times In \times e^{-t/Te}$
 $t = 2,85 \text{ s}$

Lorsque la protection comporte un réglage de durée de blocage, ce temps sera réglé à 1,51 t soit 4,3 s

Réglage seuil haut :

I>> réglé à 1,5 Icc aval maxi (Scmax)
 Icc aval maxi pour Zdsmini + ZdTR1
 $Zdsmini + ZdTR1 = (0,034 + j 0,532) + (0,144 + j 1,92)$
 $= (0,178 + j 2,452) = 2,458 \Omega$
 Icc aval mini = $(Un/\sqrt{3}) / (Zdsmaxi + ZdTR1) = 4,7 \text{ kA}$
 $I>> = 1,5 \times 4700 = 7050 \text{ A}$
 En valeur 60 kV (réglage) 7050 A (20 kV) correspond à $7050 \times (60/20) = 2350 \text{ A}$
 $I>> = 2350/750 = 9,4 \text{ In}$

Vérification :

$I>> > 1,5 \text{ Icrête}$ à 0,02 s (temps de mesure de la fonction instantanée)
 $Icrête$ à 0,02 s = 5,8 In => 9,4 In > 1,5 x 5,8 In => 9,4 In > 8,7 In

$I>> < Iccmini \text{ amont}/2 \Rightarrow 2350/5000/2 \text{ A} \Rightarrow 2350/2500 \text{ A}$

➤ Protection masse cuve transformateur F51C :

(relais [IM30/B00](#) - Cliquez pour télécharger la documentation).

Réglage typique :

I> courant = 100 A
 Temporisation = 0,1 s

Vérification :

$I> < Itmini/2 \Rightarrow$ Côté 60kV : It mini = 4800 A => Côté 20kV : Itmini = 288 A => $100 < 4800/2 \text{ A} \Rightarrow 100 < 288/2 \text{ A}$

Note: Le réglage minimum en courant est de 50A, valeur qui nécessite un bon isolement de la cuve du transformateur

Protections d'Arrivée Transformateur TR2 (Disjoncteur D) :

(relais [IM30/T](#) - Cliquez pour télécharger la documentation).

➤ Surcharge thermique F49 :

$InTR1 = 288,68 \text{ A}$
 $inTR1 = 288,68 / 300 = 0,96 \text{ In}$
 Surcharge permanente admissible = 105%
 Constante de temps à l'échauffement = 15 mn
 Alarme = 90%
 Déclenchement = 95%

➤ Court-circuit phases F50 :

I>> réglé à 0,5 Icc aval mini (Sc à 0,9 s)
 Icc aval mini pour Zdgén (0,9s) + ZdTR2

$Zdgén (0,9s) + ZdTR2$
 $= (0,185 + j 21,164) + (0,36 + j 3,94)$
 $= (0,545 + j 25,104)$
 $= 25,11 \Omega$

$$I_{cc} \text{ aval mini} = (U_n / \sqrt{3}) / (Z_{dgén}(0,9s) + Z_{dTR2}) = 0,46 \text{ kA}$$

$$I_{>>} = 460 / 2 = 230 \text{ A}$$

$$I_{>>} = 230 / 300 = \mathbf{0,77 \text{ In}}$$

Cette fonction ne pourra pas être utilisée.

➤ **Surintensité phases F51 :**

$$I_{>} = 1,05 \times I_n \text{ TR2}$$

$$I_{>} = 1,05 \times 288,68 = 303 \text{ A}$$

$$I_{>} = 303 / 300 = \mathbf{1,01 \text{ In}}$$

temporisation $t_s = \mathbf{1,5 \text{ s}}$

Cette valeur est compatible avec la tenue thermique de TR2.

Vérification :

$$I_{>} < 1,05 \text{ Icc aval mini pour Zdgén}(1,5s) + Z_{dTR2}$$

$$\text{Icc aval mini pour Zdgén}(1,5s) + Z_{dTR2}$$

$$\begin{aligned} & Z_{dgén}(1,5s) + Z_{dTR2} \\ &= (0,185 + j 32,315) + (0,36 + j 3,94) \\ &= (0,545 + j 36,255) \\ &= 36,26 \Omega \end{aligned}$$

$$I_{cc} \text{ aval mini} = (U_n / \sqrt{3}) / (Z_{dgén}(1,5 \text{ s}) + Z_{dTR2}) = 0,32 \text{ kA} \Rightarrow 303 < 305 \text{ A}$$

Note : Une protection à minimum d'impédance F21 serait mieux adapté, compte tenu du faible courant de défaut : avec un TC de 5 A, et $I_{>} = 1,01 \text{ In}$ et un TP de $100 / \sqrt{3} \text{ V}$, l'impédance BT sera de 11,43 Ω avec un TC de 1 A, et $I_{>} = 1,01 \text{ In}$ et un TP de $100 / \sqrt{3} \text{ V}$, l'impédance BT sera de 57,16 Ω

D reçoit les ordres logiques de verrouillage de B, C, E, F, G, H pour la protection JdB1.

➤ **Défaut terre F51N :**

Réglage typique :

$I_{o>}$ réglé à 10% I_n TC pour s'affranchir des erreurs pseudo-différentiels

$$I_{o>} = 0,1 \times 300 = 30 \text{ A}$$

$$I_{o>} = 30 / 300 = \mathbf{0,1 \text{ In}}$$

temporisation $t_s = \mathbf{0,1 \text{ s}}$

Vérification :

$$I_{o>} < I_t \text{ mini} / 2$$

$$I_{o>} < 246 / 2 \Rightarrow 30 < 123 \text{ A}$$

➤ **Protection différentielle transformateur F87T :**

(relais **MD32/T** - Cliquez pour télécharger la documentation).

Primaire (20 kV) :

$$I_{nTR2} = 288,68 \text{ A}$$

$$i_{nTR2} = 288,68 / 300 = 0,96 \text{ In}$$

Secondaire (5,5 kV) :

$$I_{nTR2} = 1049,73 \text{ A}$$

$$i_{nTR2} = 1049,73 / 1250 = 0,84 \text{ In}$$

Réglage typique :

Courant différentiel $I_d / I_n = 20\%$ (pas de réglage en charge)

Pente I_{tr} / I_n :

$$\begin{aligned} & \text{de } 0 \text{ à } 0,5, P = 0 \\ & \text{de } 0,5 \text{ à } 2,5, P = 20\% \\ & \text{de } 2,5 \text{ à } 5, P = 50\% \end{aligned}$$

Verrouillage taux Harmonique 2, H2 = 20%

Verrouillage taux Harmonique 5, H5 = 30%

Temps où le courant d'enclenchement sera inférieur à 5% de I_n : $t = 2,8 \text{ s}$ $I_{crête} = k \times I_n \times e^{-t/T_e}$

Lorsque la protection comporte un réglage de durée de blocage ce temps sera réglé à 1,5 t soit 4,2 s.

Réglage seuil haut :

$$I_{>>} \text{ réglé à } 1,5 \text{ Icc aval maxi (Zdgén}(1,5s))$$

$$\text{Icc aval maxi pour Zdgén}(1,5s) + Z_{dTR2}$$

$$\begin{aligned} & Z_{dgén}(1,5s) + Z_{dTR2} \\ &= (0,185 + j 7,549) + (0,36 + j 3,94) \\ &= (0,545 + j 11,489) \\ &= 11,502 \Omega \end{aligned}$$

$$I_{cc} \text{ aval mini} = (U_n / \sqrt{3}) / (Z_{dgén}(1,5s) + Z_{dTR2}) = 1 \text{ kA}$$

$$I_{>>} = 1,5 \times 1000 = 1500 \text{ A}$$

$$I_{>>} = 1500 / 300 = \mathbf{5 \text{ In}}$$

Vérification :

La magnétisation du transformateur ayant lieu à la montée en tension du groupe (avant couplage), le courant magnétisant ne posera pas de problème

Le seuil haut ne fonctionnera que lorsque TR1 sera en service.

$$I_{>>} < I_{cc \text{ mini}} \text{ aval} / 2$$

$$1500 < 4750 / 2 \text{ A} \Rightarrow 1500 < 2375 \text{ A}$$

➤ **Protection masse cuve transformateur F51C :**

(relais **IM30/B00** - Cliquez pour télécharger la documentation).

Réglage typique :

$$I_{>} \text{ courant} = \mathbf{100 \text{ A}}$$

$$\text{temporisation} = \mathbf{0,1 \text{ s}}$$

Vérification :

$$I_{>} < I_t \text{ mini} / 2$$

$$\text{Côté } 20 \text{ KV} : I_t \text{ mini} = 246 \text{ A}$$

$$\text{Côté } 5,5 \text{ KV} : I_t \text{ mini} = 10 \text{ A}$$

$100 \text{ A} < 246 / 2 \text{ A} \Rightarrow 100 \text{ A} > 10 / 2 \text{ A}$ (détection impossible des défauts terre côté 5,5 kV)

Note : Le réglage minimum en courant est de 50 A, valeur qui nécessite un bon isolement de la cuve du transformateur.

Protections des liaisons en boucle fermée 20 kV :

➤ Boucle d'alimentation de JdB2 (Disjoncteurs E, F, J, K) :

Le jeu de barres JdB2 ne comportant pas de transformateurs de tension, la solution directionnelle n'est pas applicable (pas de référence tension pour la directionnalité), seule la solution différentielle peut être retenue.

Cette liaison étant en câble, le déclenchement sera triphasé définitif (impossibilité de faire du déclenchement monophasé suivi de réenclenchement), le montage à fil pilote à somme dissymétrique est techniquement et économiquement bien adapté.

Note : La liaison E - J comporte les mêmes relais que la liaison F - K.

➤ Protection Différentielle Câble F87C :

(relais [MFP/5](#) - Cliquez pour télécharger la documentation).

Le constructeur de relais donne, compte tenu des caractéristiques du transformateur sommateur, la sensibilité suivant la ou les phases en défaut (suivant les constructeurs celles-ci peuvent être données en atténuateur ou en amplificateur).

La phase la plus sensible (détection des défauts phase - terre) sera réglée au double du courant capacitif et au minimum à 10% de I_n TC.

$$I_c = 3 V_n C_o \omega$$

$$= 3 \times (20 / \sqrt{3}) \times 0,8 \times 0,00046 \times 314,16$$

$$= 4 \text{ A}$$

Exemple pour un constructeur :

Réponse du TAS selon les défauts :

- Phase A à la terre (entrée N) = 288,7% Sortie
- Phase B à la terre (entrée N) = 259,8% Sortie
- Phase C à la terre (entrée N) = 230,9% Sortie

Avec un courant de 4 A au primaire (correspondant à la phase A, la plus amplifiée) sur le primaire du TAS on a sur le secondaire $(4 \times 288,7 / 100) = 11,5 \text{ A}$

Avec un coefficient de sécurité de 2 :

Le réglage $d >$ sera $> 2 \times 11,5 = 23 \text{ A}$,
 $d > 23 / 100 = 23\%$ ($> 0,1 \times 100$)

Une pente $K_s = I_d / I_r$ sera réglée à **0,5**

I_r étant le courant de retenue (traversant)

Il y a déclenchement instantané dès que le ratio I_d / I_s est supérieur au seuil K_s (programmé) et que le courant différentiel est supérieur au seuil différentiel $d >$ (programmé).

Certains relais comportent un 2^{ème} différentiel $d >>$ sans retenue (déclenchement instantané dès que le seuil de courant différentiel est supérieur au seuil programmé).

Un seuil $d >>$ de **5 I_n** est recommandé.

Les protections comportent un réglage de désensibilisation par prises intermédiaires du transformateur totalisateur (jouant également sur le temps de réponse pour certains constructeurs),

dont le réglage dépend des caractéristiques des TC et des valeurs maximum de courant de défaut.

Les caractéristiques des fils pilotes (résistance et capacité) sont prises en compte pour l'équilibrage de la protection et pour la surveillance des fils pilotes.

Les relais sont généralement isolés à 2 kV par rapport à la masse, l'adjonction d'un transformateur d'isolement permet d'obtenir une isolation (des fils pilotes) de 15 kV.

La tension longitudinale induite par le câble, en cas de défaut phase - terre, est de l'ordre de : U induite = 5 V / km / 100 A

$$U \text{ induite} = 5 \times 0,8 \times (300 / 100) = 12 \text{ V}$$

Le transformateur d'isolement n'est pas nécessaire lorsque la longueur est inférieure à 10 km ou que le courant de défaut à la terre est limitée ou que la résistance des fils pilotes est inférieure à 1000 Ω .

➤ Court-circuit phases F50 (Disjoncteurs E & F) :

(relais [IM30/AP](#) - Cliquez pour télécharger la documentation).

$$I > \text{ réglé à } 2 \times I_{cc} \text{ aval maxi (Sc}_{cmax} + \text{Gén.} + 2L)$$

$$= 2 \times 670$$

$$= 1340 \text{ A}$$

$$I > = 1340 / 100 \text{ A}$$

$$I > = \mathbf{13,4 I_n}$$

temporisation $t_s = \mathbf{0,9 \text{ s}}$

Vérification :

$$I > < I_{cc} \text{ amont mini (Sc}_{cmin} + \text{Gén.}) / (1,5 \times 2)$$

$$(1,5 \times 2) = \text{coefficient de sécurité de 1,5, et courant de défaut se partageant par 2 (près du poste)}$$

$$I > < 4750 / 3 \text{ A}$$

$$1340 < 1583 \text{ A}$$

$$I > > 1,5 I_{Crête} \text{ TR3 à } 0,9 \text{ s } I_{Crête} = k \times I_n \times e^{-t/T_e}$$

$$I > > 44 \text{ A}$$

➤ Surintensité phases F51 :

$$I > = 2 \times I_n \text{ TR}$$

$$I > = 2 \times 46,2 = 92 \text{ A}$$

$$I > = 92 / 100 = \mathbf{0,92 I_n}$$

temporisation $t_s = \mathbf{1,2 \text{ s}}$

Vérification :

$$I > > 1,5 I_{dem}$$

$$I > > 1,5 \times 77 \text{ A}$$

$$I > > 116 \text{ A}$$

$$I > > 92 \text{ A est impossible et le réglage } I > > 116 \text{ A ou } 116 / 100 = 1,16 I_n \text{ sera retenu.}$$

➤ Défaut terre F51N :

Réglage typique :

$$I > \text{ réglé à } 10\% I_n \text{ TC pour s'affranchir des erreurs pseudo-différentiels}$$

$$I > = 0,1 \times 100 = 10 \text{ A}$$

$$I > = 10 / 100 = \mathbf{0,1 I_n}$$

temporisation $t_s = \mathbf{0,7 \text{ s}}$

Vérification :

$$I > < I_t \text{ mini} / 2$$

$$I > < 208 / 2 \text{ A} \Rightarrow 10 < 104 \text{ A}$$

Note : Les ordres logiques de verrouillage de E & F pour la protection JdB1 sont émis vers A & D1.

➤ Court-circuit phases F50 (Disjoncteurs J & K) :

(relais [IM30/AP](#) - Cliquez pour télécharger la documentation).

$$I > \text{ réglé à } 2 \times I_{cc} \text{ aval maxi (Scemax + Gén. + 2L)}$$

$$= 2 \times 670$$

$$= 1340 \text{ A}$$

$$I > = 1340 / 100 = \mathbf{13,4 \text{ In}}$$

$$\text{temporisation } t_s = \mathbf{0,6 \text{ s}}$$

Vérification :

$$I > < I_{cc} \text{ amont mini (Scemin + Gén.)} / (1,5 \times 2)$$

$$(1,5 \times 2) = \text{coefficient de sécurité de 1,5, et courant de défaut se partageant par 2 (près du poste).}$$

$$I > < 4750 / 3 \text{ A}$$

$$1340 < 1583 \text{ A}$$

$$I > > 1,5 \text{ I Crête TR3 à } 0,6 \text{ s} \quad I_{crête} = k \times I_n \times e^{-t/T_e}$$

$$I > > 66 \text{ A}$$

➤ Surintensité phases F51 :

$$I > = 2 \times I_n \text{ TR}$$

$$I > = 2 \times 46,2 = 92 \text{ A}$$

$$I > = 92 / 100 = \mathbf{0,92 \text{ In}}$$

$$\text{temporisation } t_s = \mathbf{0,9 \text{ s}}$$

Vérification :

$$I > > 1,5 \text{ Idem}$$

$$I > > 1,5 \times 77 \text{ A}$$

$$I > > 116 \text{ A}$$

$I > > 92 \text{ A}$ est impossible et le réglage $I > > 116 \text{ A}$ ou $116 / 100 = 1,16$ In sera retenu.

➤ Défaut terre F51N :

Réglage typique :

$$I_o > \text{ réglé à } 10\% \text{ In TC pour s'affranchir des erreurs pseudo-différentiels}$$

$$I_o > = 0,1 \times 100 = 10 \text{ A}$$

$$I_o > = 10 / 100 = \mathbf{0,1 \text{ In}}$$

$$\text{temporisation } t_s = \mathbf{0,4 \text{ s}}$$

Vérification :

$$I_o > < I_t \text{ mini} / 2$$

$$I_o > < 208 / 2$$

$$10 < 104 \text{ A}$$

Note : Les ordres logiques de verrouillage à J & K pour la protection JdB2 sont reçus de L.

➤ Boucle d'alimentation de JdB3 (Disjoncteurs G, H, M, N)

(relais [IM30/AP](#) - Cliquez pour télécharger la documentation).

Le jeu de barres JdB3 comportant des transformateurs de tension, la solution directionnelle est applicable (référence tension pour la directionnalité), la solution différentielle peut être également retenue.

Note : La liaison G – M comporte les mêmes relais que la liaison H – N.

➤ Court-circuit phases F50 (Disjoncteurs G & H) :

(relais [IM30/AP](#) - Cliquez pour télécharger la documentation).

$$I > \text{ réglé à } 2 \times I_{cc} \text{ aval maxi (Scemax + Gén. + 2L)}$$

$$= 2 \times 770$$

$$= 1540 \text{ A}$$

$$I > = 1540 / 500 = \mathbf{3,1 \text{ In}}$$

$$\text{Temporisation } t_s = \mathbf{0,6 \text{ s}}$$

Vérification :

$$I > < I_{cc} \text{ amont mini (Scemin + Gén.)} / (1,5 \times 2)$$

$$(1,5 \times 2) = \text{coefficient de sécurité de 1,5, et courant de défaut se partageant par 2 (près du poste).}$$

$$I > < 4750 / 3 \text{ A}$$

$$1540 < 1583 \text{ A}$$

$$I > > 1,5 \text{ I Crête TR5 à } 0,6 \text{ s} \quad I_{crête} = k \times I_n \times e^{-t/T_e}$$

$$I > > 122 \text{ A}$$

➤ Surintensité phases F51 :

$$I > = 2 \times I_n \text{ TR5 + TR6}$$

$$I > = 2 \times (57,7 + 28,9)$$

$$= 173 \text{ A}$$

$$I > = 173 / 100 = \mathbf{1,73 \text{ In}}$$

$$\text{temporisation } t_s = \mathbf{1,2 \text{ s}}$$

Vérification :

$$I > > 1,5 \text{ Idem (M2)}$$

$$I > > 1,5 \times 22$$

$$I > > 33 \text{ A}$$

➤ Défaut terre F51N :

Réglage typique :

$I_o >$ réglé à 10% In TC pour s'affranchir des erreurs pseudo-différentiels

$$I_o > = 0,1 \times 500$$

$$= 50 \text{ A}$$

$$I_o > = 50 / 100 = \mathbf{0,1 \text{ In}}$$

$$\text{temporisation } t_s = \mathbf{0,7 \text{ s}}$$

Vérification :

$$I > < I_t \text{ mini} / (1,5 \times 2)$$

$$(1,5 \times 2) = \text{coefficient de sécurité de 1,5, et courant de défaut se partageant par 2 (près du poste)}$$

$$I > < 199 / 3$$

$$50 < 66 \text{ A}$$

Note : Les ordres logiques de verrouillage de G & H pour la protection JdB1 sont émis vers A & D1.

- Court-circuit phases F67-50 (Disjoncteurs M & N) :
(relais **DM33** - Cliquez pour télécharger la documentation).

$$\begin{aligned} I_{\Delta} & \text{ réglé à } 0,2 \times I_n \text{ TC} \\ & = 2 \times 500 \\ & = 100 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{\Delta} & = 100 / 500 = \mathbf{0,2 \text{ In}} \\ \text{temporisation } t_s & = \mathbf{0,1 \text{ s}} \end{aligned}$$

Au niveau de JdB3 avec Scmmin + Gén. + 1L, l'impédance est :
 $0,913 + j \, 3,924$
correspondant à un angle $\varphi = 77^\circ$,
Avec Scmax + Gén. + 1L, l'impédance est :
 $0,902 + j \, 3,737$
correspondant à un angle $\varphi = 76^\circ$,

l'angle caractéristique sera réglée à **77°**.

Vérification :

$I_{\Delta} < I_{cc} \text{ amont mini (Scmmin + Gén. + 1L)} / (1,5 \times 2)$
(1,5 x 2) = coefficient de sécurité de 1,5, et courant de défaut se partageant par 2 (près du poste).

$$\begin{aligned} I_{\Delta} & < 2870 / 3 \\ 100 & < 957 \text{ A} \end{aligned}$$

- Surintensité phases F51 :

$$\begin{aligned} I_{\Delta} & = 2 \times I_n \text{ TR5} + \text{TR6} \\ I_{\Delta} & = 2 \times (57,7 + 28,9) \\ & = 173 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{\Delta} & = 173 / 100 = \mathbf{1,73 \text{ In}} \\ \text{temporisation } t_s & = \mathbf{0,9 \text{ s}} \end{aligned}$$

Vérification :

$$\begin{aligned} I_{\Delta} & > 1,5 \text{ Idem (M2)} \\ I_{\Delta} & > 1,5 \times 22 \\ I_{\Delta} & > 33 \text{ A} \end{aligned}$$

- Défaut terre F67N :

Réglage typique :

I_o réglé à 10% I_n TC pour s'affranchir des erreurs pseudo-différentiels

$$\begin{aligned} I_o & > 0,1 \times 500 \\ & = 50 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_o & > 50 / 500 = \mathbf{0,1 \text{ In}} \\ \text{temporisation } t_s & = \mathbf{0,4 \text{ s}} \end{aligned}$$

La mise à la terre étant assurée par une BPN dont la résistance est négligeable,
l'angle caractéristique sera réglée à **90°**.

Vérification :

$I_o > I_t \text{ mini} / (1,5 \times 2)$
(1,5 x 2) = coefficient de sécurité de 1,5, et courant de défaut se partageant par 2 (près du poste)
 $I_o > 199 / 3$
 $50 < 66 \text{ A}$

Note : Les ordres logiques de verrouillage à M & N pour la protection JdB3 sont reçus de P & Q.

Protections des jeux de barres 20 kV

- Rappel sur les temporisations utilisées dans la sélectivité logique :
La protection d'un départ (quel que soit sa place dans le réseau) détectant un défaut émet un ordre logique d'attente de 0,2 s vers la protection d'arrivée du jeu de barres; la protection d'arrivée est temporisée à 0,1 s.
La protection du départ détectant le défaut donne un ordre de déclenchement à l'expiration de sa temporisation t.

En cas de défaillance du disjoncteur ou de la protection du départ, la protection d'arrivée est activée après $t + 0,2 \text{ s}$.
Si le défaut se trouve sur le jeu de barres la protection d'arrivée qui n'est pas verrouillée par la sélectivité logique déclenche en 0,1 s.

En conséquence :

Pour le jeu de barres JdB1, les protections en B, C, E, F, G & H enverront un ordre de verrouillage à A & D1.

Pour le jeu de barres JdB2, la protection en L enverra un ordre de verrouillage à J & K.

Pour le jeu de barres JdB3, les protections en P & Q enverront un ordre de verrouillage à M & N.

Pour le jeu de barres JdB4, les protections en S, T, U, V & W enverront un ordre de verrouillage à R.

Pour le jeu de barres JdB5, les protections en X & Z enverront un ordre de verrouillage à Y.

Protections du moteur M1

- (relais **MM30** - Cliquez pour télécharger la documentation).

Démarrage du moteur M1 (Disjoncteur L) :

Puissance apparente :

$$\begin{aligned} S_n & = (P_n / \eta) \times (1 / \cos \varphi_n) \\ & = (1 / 0,92) \times (1 / 0,9) \\ & = 1,208 \text{ MVA} \end{aligned}$$

Courant nominal (valeur 5,5 kV) :

$$\begin{aligned} I_n & = S_n / (U_n \times \sqrt{3}) \\ & = 1208 / (5,5 \times \sqrt{3}) \\ & = 126,8 \text{ A} \end{aligned}$$

Courant nominal (valeur 20 kV) :

$$\begin{aligned} I_n & = S_n / (U_n \times \sqrt{3}) \\ & = 1208 / (20 \times \sqrt{3}) \\ & = 34,9 \text{ A} \end{aligned}$$

Puissance apparente de démarrage :

$$\begin{aligned} S_{\text{dém}} & = S_n \times (I_n / I_d) \\ & = 1,208 \times 2,5 \\ & = 3,02 \text{ MVA} \end{aligned}$$

Alimentation des moteurs :

Courant de court-circuit minimum, alimentation par TR3 :
 $I_{cc} \text{ mini par Réseau mini + Gén + 1 L + ZdTR3}$
 $Z_{\text{dam}} = 3,448 + j \, 17,151$
 $= 17,494 \, \Omega$

Puissance de court-circuit :

$$\begin{aligned} S_{cc} & = U_n^2 / Z_{\text{dam}} \\ S_{cc} & = 20^2 / 17,494 \\ & = 22,86 \text{ MVA} \end{aligned}$$

Chute de tension au démarrage :

$$\Delta U = S_{dém} / (S_{dém} + S_{cc})$$

$$\Delta U = 3,02 / (3,02 + 22,86)$$

$$= 11,7\%$$

Dans les conditions de I_{cc} mini par le réseau, la chute de tension au démarrage est compatible avec un démarrage normal du moteur ($\Delta U < 15\%$).

Protections du moteur M1 (Disjoncteur L)

(relais [MM30](#) - Cliquez pour télécharger la documentation).

➤ Surcharge thermique F49 :

Courant nominal du moteur $I_n = S_n / (U_n \times \sqrt{3})$
 = 34,9 A,
 $i_n = 34,9 / 100 = 0,35 I_n$

Courant rotor bloqué = **5 I_n**
 Temps de démarrage = **8 s**
 Constante à l'échauffement $\tau_{éch.} =$ **13 mn**
 Rapport Constante au refroidissement / Constante à l'échauffement = $\tau_{ref.} / \tau_{éch.} = 40 / 13 =$ **3**
 Alarme = **90%**
 Déclenchement = **95%**

Note : La surcharge thermique peut intégrer la partie directe et inverse du courant sous forme :

$$I_e = \sqrt{I_d^2 + kI_i^2}$$

Le coefficient de sur-valorisation k pouvant ou non être réglable, une valeur de l'ordre de 3 est conseillée.

➤ Surintensité phases F51 :

▷ réglé à 1,5 I_{dem}, temporisation $t_s = 0,1$ s
 $I_{dem} = S_{dém} / (U_n \times \sqrt{3})$
 $I_d = 3020 / (20 \times \sqrt{3}) = 87,2$ A
 $I_{>} = 1,5 \times 87,2 = 131$ A
 $I_{>} = I_{>} / I_{np} = 131 / 100 =$ **1,31 I_n**

Vérification :

$I_{>} < I_{cc \text{ mini}} / 2$
 $131 < (660 / 2)$
 $131 < 330$ A

➤ Déséquilibre phases F46 :

réglage typique :

▷ réglé à **0,2 I_n**,
 temporisation $t_s =$ **2 s**

Note : Cette fonction peut être désensibilisée par la composante directe du courant donc de la forme = I_i / I_d , pour un rapport de 0,4 la temporisation est $t_s = 0,1$ s.

➤ Démarrage trop long F48 :

Réglage typique :

▷ réglé à **2 I_n**,
 temporisation $t_s =$ **1,3** temps de démarrage

Exemple pour $t_{dém} = 8$ s, $t_s = 1,3 \times 8 = 10$ s

➤ Rotor bloqué F51LR :

Réglage typique :

▷ réglé à I rotor bloqué = **5 I_n**
 temporisation d'inhibition au démarrage $t_{Lr} =$ **2** * temps de démarrage
 temporisation $t_{Lr} = 16$ s

➤ Défaut terre F64 :

Le courant de limitation est de
 $I_o = V_n / R_{n2}$
 $= (5500 / \sqrt{3}) / 317$
 $= 10$ A

Réglage typique :

$I_o >$ réglé à $I_o / 2 = 10 / 2 = 5$ A

avec un tore 100 t,

$I_o > = 5 / 100 =$ **0,05 A**,
 temporisation $t_s =$ **0,1 s**

Note : Cette fonction devra être installée sur un TC en série avec R_{n2}.

➤ Limitation du nombre de démarrage F66 :

Nombre de démarrage autorisé = 3
 Temps de référence = 45 mn
 Temps de non autorisation après déclenchement = 60 mn

Protections de l'alternateur GR1

(relais [MG30/I](#) - protection pour générateur - Cliquez pour télécharger la documentation).

(relais [SPM21](#) - synchronocoupleur - Cliquez pour télécharger la documentation).

(relais [RHS](#) - défaut diodes tournantes - Cliquez pour télécharger la documentation).

(relais [UBO/CR](#) - protection masse rotor - Cliquez pour télécharger la documentation).

(relais [MD32/G](#) - protection différentielle machine - Cliquez pour télécharger la documentation).

Rappel :

Rapport TP = $(5500 / \sqrt{3}) / (100 / \sqrt{3}) = 55$
 Rapport TC = $1250 / 1 = 1250$
 Rapport Impédance HT / BT = $55 / 1250 = 0,044$

➤ Protection à minimum d'impédance F21 :

Seuil 1, détection côté machine des défauts phases, temporisation $t_{Z1} = 0,1$ s

$Z1 <$ réglé à $Z_{dgén} + (Z_{dTr2} / 2)$
 $Z_{dgén}$ sera pris à 0,1 s

$Z1 < = (0,185 + j 10,647) + (0,36 + j 3,984) / 2$
 $= 0,365 + j 12,639$
 $=$ **12,644 Ω** (20 kV)

valeur 5,5 KV = valeur 20 KV x (5,5 / 20)²
 12,644 Ω (20 kV) = 0,9562 Ω (5,5 kV) en HT

valeur BT = valeur HT / 0,044
 Z1< = 21,73 Ω (BT)

vérification : (Calculs en valeur 20 KV)
 $I_{cctri} = V_n / (Z1<) = (20000 / \sqrt{3}) / 12,644 = 913 \text{ A}$
 $I_{cbbi} = U_n / (Z_d + Z_i)$
 $X_{igén} = X_i\% \times (U_n^2 / S_n) = 0,2 \times (20^2 / 10) = 8 \Omega$
 $Z_d = Z1< = 0,365 + j 12,639$
 $Z_i = (0,185 + j 8) + (0,36 + j 3,984) / 2 = 0,365 + j 9,992$
 $Z_d + Z_i = 0,73 + j 22,631 = 22,643 \Omega$
 $I_{cbbi} = 20000 / 22,643 = 883 \text{ A}$

Icbbi est du même ordre que Icctri (à 3% près), les réglages Z1< = 21,73 Ω (BT) et tZ1< = 0,1 s conviennent.

Pour certains constructeurs Z1< s'exprime sous la forme de %, avec Zn = 100 Ω (1 A, 100 V)
 $Z1< = 21,73 / 100$
 = **0,22% Zn**

Seuil 2, détection côté réseau industriel des défauts phases, temporisation tZ2 = 1,5 s

Z2< réglé à Zdgén + ZdTr2 + (ZdTr1 / 2)
 Les défauts côté 60 kV ne seront pas détectés
 Zdgén sera pris à 1,5 s

$Z2< = (0,185 + j 32,315) + (0,36 + j 3,984) + (0,144 + j 1,915) / 2$
 = 0,617 + j 37,256
 = **37,262 Ω** (20 kV)

valeur 5,5 KV = valeur 20 KV x (5,5 / 20)²
 37,262 Ω (20 kV) = 2,818 Ω (5,5 kV) en HT

valeur BT = valeur HT / 0,044
 Z2< = 64,04 Ω (BT)

vérification : (Calculs en valeur 20 KV)
 $I_{cctri} = V_n / (Z2<) = (20000 / \sqrt{3}) / 64,04 = 310 \text{ A}$
 $I_{cbbi} = U_n / (Z_d + Z_i)$
 $X_{igén} = X_i\% \times (U_n^2 / S_n) = 0,2 \times (20^2 / 10) = 8 \Omega$
 $Z_d = Z2< = 0,617 + j 37,257$
 $Z_i = (0,185 + j 8) + (0,36 + j 3,984) + (0,144 + j 1,915) / 2$
 = 0,617 + j 12,942
 $Z_d + Z_i = 1,234 + j 50,199 = 50,214 \Omega$
 $I_{cbbi} = 20000 / 50,214 = 398 \text{ A}$

Icbbi est supérieur à Icctri, l'impédance mesurée en cas de défaut bi est inférieure, les réglages Z2< = 64,043 Ω (BT) et tZ2 = 1,5 s conviennent.

Pour certains constructeurs Z2< s'exprime sous la forme de %, avec Zn = 100 Ω (1 A, 100 V)
 $Z2< = 64,043 / 100$
 = **0,64% Zn**

Note : Cette fonction doit être inhibée en cas de fusion fusible.

➤ Protection de sur-excitation ("overfluxing") F24 :

Avec en permanence Un + 10% et Fn - 5%, la sur-excitation permanente admissible est :
 $1,1 \times (1 / 0,95) = 1,16 \text{ PU}$

Le **seuil 1** en alarme sera réglé à **1,16 PU**

avec une temporisation de **2,5 s**.

Le **seuil 2** en déclenchement sera réglé à **1,25 PU**
 avec une temporisation à temps **dépendant** (l'alternateur tolère de fonctionner à 1,25 PU pendant 30 s).

Exemple de réglage pour un constructeur :
 formule : $t = [K / [(V/F) - 1\phi] \text{ PU}] + t_0$

Avec $t_0 = 0,5 \text{ s}$ (donnée constructeur du relais), un coefficient de sécurité de 5% sur le temps de déclenchement, soit :
 $30 \times 0,95 = 28,5 \text{ s}$ à 1,25 PU et $1\phi = 1,16$
 $28,5 = [K / (1,25 - 1,16) \text{ PU}] + 0,5$
 d'où $K = 2,52$

➤ Relais de synchronisme F25 :

Cette fonction permet la fermeture du disjoncteur D1, pour le couplage au réseau de l'alternateur lorsqu'il fonctionne en régime normal évitant ainsi les à coup pour la machine.

Minimum de tension $U < = 95\%$
 Maximum de tension $U > = 105\%$
 Minimum de fréquence $f < = 49 \text{ Hz}$
 Maximum de fréquence $f > = 51 \text{ Hz}$
 Différence de tension $\Delta U = 10\%$
 Différence de fréquence $\Delta f = 0,1 \text{ Hz}$
 Différence angulaire $\alpha = 10^\circ$
 Temps maximum (glissement) $t :$
 $t = \alpha / (360 \times \Delta f) = 0,28 \text{ s}$
 Temps du disjoncteur $t_{dis} = 0,03 \text{ s}$
 Durée de l'impulsion de fermeture 1 s

➤ Protection à minimum de tension F27 :

Avec un temps de la régulation tension (excitation) < 0,7 s

Le **seuil 1** sera réglé à
 $U1 < = 90\%$ de U_n ,
 temporisation $tU1 < = 2,5 \text{ s}$

Le **seuil 2** sera réglé à
 $U2 < = 85\%$ de U_n ,
 temporisation $tU2 < = 1 \text{ s}$

Note : Cette fonction doit être inhibée en cas de fusion fusible.

➤ Retour de puissance F32 :

Le réglage correspond à la moitié des pertes mécaniques (directionnel).
 $P_s = 500 \text{ kW} / 2 = 250 \text{ kW}$ (HT)

en valeur BT :
 valeur HT / (rapport TP x rapport TC)
 = $250000 / (55 \times 1250) = 3,6 \text{ W}$

Certains constructeurs l'expriment en fonction de Sn :
 $S_n = 100 \times \sqrt{3} \times 1 = 173,2 \text{ VA}$

$I_s = 3,6 / 173,2 = 0,02\% I_n$
 temporisation $t_s = 5 \text{ s}$

➤ Perte de champ F40 :

Avec un temps de la régulation tension (excitation) < 0,7 s

Suivant le diagramme de Blondel (réactance capacitive), où 2 points du cercle sont définis :

$$L_h = X'd / 2$$

en valeur 5,5 KV

$$X'd = 0,25 \times (5,5 / 10)^2 \\ = \mathbf{0,756 \Omega} \text{ (HT)}$$

en valeur BT

$$X'd = \text{valeur HT} / \text{rapport impédance HT/BT} \\ = 0,756 / 0,044 \\ = 17,19 \Omega \text{ (BT)}$$

$$L_h = 8,6 \Omega$$

Certains constructeurs l'exprime en %

$$\text{Offset (décalage de l'origine)} = X'd / 2 = 0,25 / 2 \\ = 0,125 X_d$$

$$L_b = L_h + X_d$$

en valeur 5,5 KV

$$X_d = 2,25 \times (5,5 / 10)^2 \\ = \mathbf{6,806 \Omega} \text{ (HT)}$$

en valeur BT

$$X'd = \text{valeur HT} / \text{rapport impédance HT/BT} \\ = 6,806 / 0,044 \\ = 154,69 \Omega \text{ (BT)}$$

$$L_b = 8,6 + 154,7 = 163,3 \Omega \text{ (BT)}$$

Certains constructeurs l'exprime en fonction du diamètre du cercle et en fonction % du diamètre du cercle

$$X_d = \mathbf{225\%} \\ \text{temporisation } t_s = \mathbf{1 \text{ s}}$$

Note : Cette fonction doit être inhibée en cas de fusion fusible.

➤ Protection de déséquilibre F46 :

Le **seuil 1** en alarme sera réglé à 90% du courant inverse permanent admissible, soit :

$$0,9 \times 8\% = \mathbf{7\% I_n} \\ \text{temporisation de } \mathbf{5 \text{ s}}$$

Le **seuil 2** en déclenchement sera réglé à 90% du courant inverse temporaire admissible avec une temporisation à temps dépendant.

$$K = 40 \text{ s soit } K_s = 0,9 \times 40 = 36 \text{ s}$$

L'équation de déclenchement est :

$$K = (I_i / I_n)^2 \times t$$

Le courant nominal de l'alternateur est :

$$I_n = S_n / (U_n \times \sqrt{3}) = 1050 \text{ A}$$

Le courant nominal primaire des TC est 1250 A

Le courant nominal de l'alternateur est donc : 1050 / 1250 = 0,84 I_n TC

$$\text{Le réglage } K_s \text{ sera : } 36 \times 0,84^2 = \mathbf{25 \text{ s}}$$

➤ Protection de surcharge F49 :

Constante de temps thermique $t = \mathbf{15 \text{ mn}}$
 Alarme = $\mathbf{95\%}$ de θ_m

➤ Protection de surintensité F51 :

Cette protection a pour but de surveiller les surcharges admissibles de courte durée.

$$I_s = 110\% I_n \\ = 1,1 \times 1050 \text{ A} \\ = 1155 \text{ A}$$

$$i_s = 1155 / 1250 = \mathbf{0,92 I_n} \\ \text{temporisation } t_s = \mathbf{5 \text{ s}}$$

➤ Détection défaut diodes tournantes F58 :

Le réglage expérimental conseillé est :

Ouverture d'un circuit de diodes :
 $V_\infty / V =$ réglé à $\mathbf{25\%}$
 avec temporisation de $\mathbf{20 \text{ s}}$.
 Court – circuit de diodes :
 $V_\infty / V =$ réglé à $\mathbf{60\%}$
 avec temporisation de $\mathbf{2 \text{ s}}$

➤ Protection à maximum de tension F59 :

Avec un temps de la régulation tension (excitation) < 0,7 s

Seuil 1 réglé à

$$U_{1>} = \mathbf{110\%} \text{ de } U_n, \\ \text{temporisation } t_{U_{1>}} = \mathbf{2,5 \text{ s}}$$

Seuil 2 réglé à

$$U_{2>} = \mathbf{115\%} \text{ de } U_n, \\ \text{temporisation } t_{U_{2>}} = \mathbf{1 \text{ s}}$$

Le seuil 3 sera réglé en cas d'ouverture des disjoncteurs adjacents à D1 en charge.

$$U_{\max} = 1,05 \times \sqrt{[1 + (X''_d + U_{cc}) \sin\phi]^2 + [(X''_d + U_{cc}) \cos\phi]^2}$$

le cas le plus défavorable est $\cos\phi = 1$, $U_{\max} = 130\%$

Seuil 3 réglé à

$$U_{3>} = \mathbf{130\%} \text{ de } U_n, \\ \text{temporisation } t_{U_{3>}} = \mathbf{0,1 \text{ s}}$$

➤ Détection fusion fusible F60 :

Cette détection se fait soit par comparaison des tensions de 2 enroulements soit par une mesure à minimum de tension directe en absence de défaut.

En général cette fonction ne nécessite pas de réglage ou $V_d < = \mathbf{30\%}$ de V_n .

➤ Protection masse rotor F64R1 :

Le rotor étant normalement isolé, un contrôle $R_i < \mathbf{1000 \Omega}$ est effectué
 temporisation $t_{R_i} < = \mathbf{2 \text{ s}}$.

➤ Protection masse stator 95% F64S-1 :

Courant de limitation It à la terre
 $I_t = V_n / R_{n1}$
 $I_t = (5500 / \sqrt{3}) / 317$
 $= 10 \text{ A}$

Réglage en **courant** pour une détection à 95% :
 $I_s = I_t \times (1 - \%)$
 $= 10 \times (1 - 0,95)$
 $= 0,5 \text{ A}$

$$i_s = 0,5 / (5 / 5) = \mathbf{0,5 \text{ A}}$$

Réglage en **tension** pour une détection à 95% :

$$V_s = I_t \times (1 - \%) \times R_{n1}$$

$$= 10 \times (1 - 0,95) \times 317$$

$$= 158,5 \text{ V}$$

$$v_s = 158,5 \times 100 / (5500 / \sqrt{3})$$

$$= \mathbf{5 \text{ V}}$$

ou en fonction de la tension secondaire du TP de neutre :
 $5 / 100 = 0,05 \text{ un}$
 temporisation $t_s (95\%) = \mathbf{0,1 \text{ s}}$

➤ Protection masse stator 100% F64S-2 :

La tension d'harmonique 3 fournit par l'alternateur est :
 $E_3 = 0,03 \times (5500 / \sqrt{3})$
 $= 95 \text{ V (H3)}$

$$v_s (H3) = 0,4 \times 95 \times 100 / (5500 / \sqrt{3})$$

$$= \mathbf{1,2 \text{ V}}$$

ou en fonction de la tension secondaire du TP de neutre : 1,2 /
 100 = 0,01 un
 temporisation $t_s (100\%) = \mathbf{2 \text{ s}}$

➤ Protection différentielle F87G :

Courant différentiel Id :
 Id = **5%** si TC côtés phases et neutres appairés.
 Id = **10%** si TC côtés phases et neutres non appairés.

Pente de la retenue :
 Id de 0 à 0,5 Itr, P = **0%**
 Id de 0,5 à 2 Itr, P = **10%**
 Id de 2 à 7 Itr, P = **30%**

Lorsque la protection possède un verrouillage à l'harmonique 2, celui-ci sera réglé à **20%**.

Cette fonction est instantanée.

➤ Protection à minimum / maximum de fréquence F81 :

Avec un temps de la régulation de fréquence (vitesse) < 0,7 s

Seuil à **maximum** réglé à
 $F_{s>} = \mathbf{52 \text{ Hz}}$,
 temporisation $t_{Fs>} = \mathbf{2 \text{ s} + \text{temps d'inertie de l'alternateur}}$

Seuil à **minimum** réglé à
 $F_{s<} = \mathbf{48 \text{ Hz}}$,
 temporisation $t_{Fs<} = \mathbf{2 \text{ s} + \text{temps d'inertie de l'alternateur}}$

Note : Cette fonction doit être inhibée en cas de fusion fusible.

Protections du banc de condensateurs C1 :

(relais [IM30/C](#) - Cliquez pour télécharger la documentation).

➤ Court-circuit phases F50 :

$$I_s \text{ réglé à } I_{cc} \text{ amont mini (Secmin + Gén.)}$$

$$= 4750 / 2$$

$$= 2375 \text{ A}$$

$$i_s = 2375 / 300 = \mathbf{7,9 \text{ In}}$$
,
 temporisation $t_s = \mathbf{0,3 \text{ s}}$

Vérification :

$t_s >$ temps d'enclenchement de la batterie (valeur communiquée par le fabricant) 0,3s > 0,2s

➤ Surintensité phases F51 :

$$I_s = 1,6 \times I_n \text{ Capacité}$$

$$I_n \text{ Capacité} = 288,7 \text{ A}$$

$$I_s = 1,6 \times 288,7 = 462 \text{ A}$$

$$i_s = 462 / 300 = \mathbf{1,54 \text{ In}}$$

 temporisation $t_s = \mathbf{5 \text{ s}}$

➤ Défaut terre F51N :

Réglage typique :

I_s réglé à 10% I_n TC pour s'affranchir des erreurs pseudo-différentiels

$$I_s = 0,1 \times 300 = 30 \text{ A}$$

$$i_s = 30 / 300 = \mathbf{0,1 \text{ In}}$$
,
 temporisation $t_s = \mathbf{0,1 \text{ s}}$

Vérification :

$$I_s < I_t \text{ mini} / 2$$

$$I_s < 246 / 2$$

$$30 \text{ A} < 123 \text{ A}$$

Note : Les ordres logiques de verrouillage de C pour la protection JdB1 sont émis vers A & D1.

➤ Déséquilibre étoile F46C :

réglage typique :

I_s réglé à 1 A (valeur communiquée par le fabricant)

$$i_s = 1 / (1 / 1) = \mathbf{1 \text{ A}}$$
,
 temporisation $t_s = \mathbf{0,1 \text{ s}}$

Protections du générateur homopolaire G.H. :

Le fonctionnement de ce générateur est occasionnel et est donc dimensionné pour un fonctionnement temporaire, une fonction thermique sera nécessaire sur le courant à la terre.

(relais [IM30/B00](#) - Cliquez pour télécharger la documentation).

Avec une sécurité de 20%, les temps de déclenchement suivants seront retenus :

300 A, temps de déclenchement = 8 s (soit 10 In TC)
225 A, temps de déclenchement = 14 s (soit 7,5 InTC)
150 A, temps de déclenchement = 32 s (soit 5 In TC)
75 A, temps de déclenchement = 128 s (soit 2,5 In TC)
60 A, temps de déclenchement = 200 s(soit 2 In TC)
45 A, temps de déclenchement = 356 s(soit 1,5 In TC)
30 A, non déclenchement

Une alarme à 30 A, 150 s sera prévue.

Note : En cas de déclenchement du Générateur homopolaire, la partie 20 kV ne pourra être exploitée, la totalité du poste sera perdue.

Fin