

Partie A

ETUDE DE LA DISTRIBUTION D'ÉNERGIE

A1. Dimensionnement du transformateur

A1.1. Bilan des puissances

Voir document réponse DRA-1

Puissance nécessaire pour l'installation : 1 381 kVA

Puissance assignée : 1 600 kVA

A1.2. Compensation de l'énergie réactive

A1.2.1.

Économiques :

Réduction de la facture d'électricité par :

- diminution de l'énergie réactive à facturer ;
- diminution des kWh facturés (moins de pertes Joules).

Techniques :

- diminution des chutes de tension dans les câbles en amont de la compensation ;
- diminution des pertes Joules dans les câbles ;
- augmentation de la puissance disponible au secondaire du transformateur.

A1.2.2.

Tarif Vert :

La quantité d'énergie réactive consommée pendant les heures pleines ou les heures de pointes est facturée pendant les mois d'hiver. Une partie de l'énergie réactive correspondant à 40% de l'énergie active consommée ($\text{tg } \varphi = 0,4$ côté primaire du transformateur) est fournie gratuitement.

Tarif Jaune :

La puissance est souscrite en kVA. L'énergie réactive n'est pas facturée mais la puissance utile maximum est limitée par la puissance souscrite.

A1.2.3. La différence représente la consommation d'énergie réactive du transformateur prise forfaitairement égale à 0,09.

A1.2.4.

$$Q_0 = S_n \cdot \frac{I_0}{100} = 1\,600 \times 0,022 = 35,2 \text{ kvar}$$

$$Q_{ch} = S_n \times \left(\frac{S}{S_n} \right)^2 \times \frac{U_{cc}}{100} = 1\,600 \times \left(\frac{1\,381}{1\,600} \right)^2 \times 0,065 = 77 \text{ kvar}$$

$$\text{d'où } Q_c = 35,2 + 77 = 112,2 \text{ kvar}$$

A1.2.5.

La valeur de la $\text{tg } \varphi$ en ne tenant compte que du réactif du transformateur est :

$$Q_{total} = Q_{transfo} + Q_{charge} = 112,2 + 643 = 755,2 \text{ kvar}$$

$$P_{total} = P_{transfo} + P_{charge} = P_{vide} + P_{cu} \left(\frac{I}{I_n} \right)^2 = 2,9 + 19,2 \cdot \left(\frac{1993}{2253,1} \right)^2 + 1221 = 1239 \text{ kW}$$

$$\text{tg} \varphi_{total} = \frac{Q_{total}}{P_{total}} = \frac{755,2}{1239} = 0,61$$

$$\text{tg} \varphi = \frac{Q}{P} = \frac{643}{1222} = 0,526$$

$$\text{tg} \varphi_{total} - \text{tg} \varphi = (0,61 - 0,526) = 0,084$$

Cette valeur est très proche des 0,09 prévue par EDF.

A1.2.6.

$$Q_{batterie} = P(\text{tg} \varphi - 0,31) = 1222 \cdot (0,526 - 0,31) = 264 \text{ kvar}$$

A1.2.7.

$$Q = Q_{charge} - Q_{batterie} = 643 - 264 = 379 \text{ kvar}$$

$$S = \sqrt{1222^2 + 379^2} = 1279 \text{ kVA}$$

$$\text{soit une réserve de } \left(1 - \frac{1279}{1600} \right) \times 100 = 20\%$$

A1.3. Protection du transformateur

1° Le courant d'appel du transfo doit être inférieur au courant de fusion du fusible en 0,1 s

$$I(A) = 12 \times I_{n1} = 12 \times \frac{1600}{\sqrt{3} \times 20} = 12 \times 46,2 = 554 \text{ A}$$

Pour le fusible de 63 A on a $I(C) = 680$

$$0,8 \times 680 = 544 \text{ A} < I(A)$$

Le calibre est insuffisant il faut installer un calibre 80 A

On a alors $I(C) = 810 \text{ A}$

$$0,8 \times 810 = 648 \text{ A} > I(A)$$

2° Le courant de court-circuit du transfo doit être supérieur au courant minimum de fusion du fusible.

$$I_n \times \frac{100}{U_{cc}} > I_3$$

$$46,2 \times \frac{100}{6} > 360$$

$$770 > 360$$

3° calibre $\geq 1,3 I_n$

$$80 > 1,3 \times 46,2$$

$$80 > 60$$

A2. Étude harmonique

A2.1. Questions préliminaires

A2.1.1. Toute fonction périodique de fréquence f peut être représentée sous la forme d'une somme composée :

- d'un terme sinusoïdal à la fréquence f de valeur efficace Y_1 appelé fondamental ;

- de termes sinusoïdaux dont les fréquences sont égales à n fois la fréquence du fondamental et de valeurs efficaces Y_n , appelés harmoniques ;
- d'une composante continue éventuelle Y_0 .

A2.1.2.

- **les câbles :**
 - ❑ échauffement des câbles ;
 - ❑ pertes supplémentaires dues à l'effet de peau ;
 - ❑ élévation des pertes diélectriques de l'isolant.
- **les condensateurs :**
 - ❑ présentent une impédance qui diminue quand la fréquence augmente, ce qui favorise la circulation des courants harmoniques ;
 - ❑ risque de résonances provoquant surintensités et surtensions ;
 - ❑ échauffements et claquage.
- **le transformateur :**
 - ❑ augmentation des pertes Joule ;
 - ❑ augmentation des pertes fer (hystérésis et courants de Foucault) ;
 - ❑ déformation de la tension de sortie.

A2.1.3.

Ce sont principalement les deux variateurs de vitesse de 400 kW, car ils comportent en entrée un pont redresseur triphasé à diodes devant une charge capacitive, qui absorbe un courant non-sinusoïdal présentant des composantes harmoniques 5, 7, 11 et 13 importantes.

A2.2. Effets des harmoniques sur le transformateur :

A2.2.1.

$$TDH_F(\%) = 100 \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{n=\infty} (I_n)^2}}{I_1} = \sqrt{\sum_{n=2}^{n=\infty} (h_n)^2}$$

$$TDH_F(\%) = \sqrt{1,89^2 + 25,7^2 + 13,68^2 + 12,24^2 + 6,04^2} = 32,21\%$$

A2.2.2.

$$\sum H_i^{1,6} T_i^2 = 3^{1,6} \cdot 1,89^2 + 5^{1,6} \cdot 25,7^2 + 7^{1,6} \cdot 13,68^2 + 11^{1,6} \cdot 12,24^2 + 13^{1,6} \cdot 6,04^2 = 2,2062$$

$$K = 0,905$$

La puissance disponible au transformateur est donc de $1\,600 \times 0,905 = 1\,448$ kVA

La réserve de puissance est alors de $\left(1 - \frac{1\,279}{1\,448}\right) \times 100 = 11,5\%$

A2.3. Effets des harmoniques sur les condensateurs

A2.3.1.

$$Q = 3.C.V^2.\omega = C.\omega.U^2$$
$$C = \frac{Q}{\omega.U^2} = \frac{150\,000}{314 \times 400^2} = 3\,000 \mu F$$

A2.3.2.

$$\frac{U_n}{\sqrt{3}} = L_{cc}.\omega.I_{cc} \text{ d'où}$$
$$L_{cc} = \frac{U_n}{\sqrt{3}.I_{cc}.\omega} = \frac{U_n}{\sqrt{3}.\frac{I_n}{U_{cc}}.\omega} = \frac{U_n.U_{cc}}{\sqrt{3}.I_n.\omega} = \frac{U_n.U_{cc}.U_n}{\sqrt{3}.I_n.\omega.U_n} = \frac{U_n^2.U_{cc}}{S_n.\omega} = \frac{U_n^2}{S_{cc}.\omega}$$

A2.3.3. $P = 3 \frac{V^2}{R} \Rightarrow R = \frac{U^2}{P} = 0,127 \Omega$

A2.3.4. $L_{cc} = \frac{400^2.0,065}{1600.10^3.314} = 0,02 \text{ mH}$

A2.3.5.

$$Z_{LC} = \frac{1}{\frac{1}{j.L_{cc}.\omega_n} + j.C.\omega_n} = j.\frac{L_{cc}.\omega_n}{1 - L_{cc}.C.\omega_n^2}$$

Avec $\omega_n = 2\pi.f_n$

Le module de Z_{LC} passe par l'infini pour $L_{cc}.C.\omega_n^2 = 1$ d'où $f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{cc}.C}}$

$$f_r = \frac{1}{2\pi.\sqrt{20.10^{-6}.3.10^{-3}}} = 650 \text{ Hz}$$

f_r est très proche de l'harmonique de rang 13.

A3. Choix de la batterie de condensateurs

A3.1.

$S_n = 1\,600 \text{ kVA}$

$G_h = 365 \times 2 = 730 \text{ kVA}$

$Q_c = 250 \text{ kvar}$

$$\frac{Q_c}{S_n} = \frac{250}{1\,600} = 0,156 > 15\% \text{ d'où une compensation automatique}$$

$$\frac{G_h}{S_n} = 0,45 > 25\% \text{ d'où type SAH}$$

A3.2.

Choix : réf : 96589 250 kvar = 5 x 50 kvar
ou réf : 96590 300 kvar = 6 x 50 kvar

A3.3.

.Type H : condensateurs surdimensionnés en tension et en courant.

Type SAH : condensateurs surdimensionnés associés à des selfs anti-harmoniques permettant de fixer la résonance en dehors des harmoniques.

A3.4.

A3.4.1.

$$Z_{hc} = r + j\left(L_h \omega - \frac{1}{C\omega}\right)$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_h \cdot C}}$$

pour $f = f_r$, Z_{hc} est équivalent à la résistance r .

A3.4.2.

$$\omega_r = n \times \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_h \cdot C}}$$

$$L_h \cdot C = \frac{1}{n^2 \cdot \omega_0^2}$$

$$n = \frac{215}{50} = 4,3$$

A3.4.3. $\bar{S} = \bar{V} \cdot \bar{I}^*$ où \bar{I}^* est le nombre complexe conjugué de \bar{I} .

$$\bar{S} = \bar{V} \cdot \left(\frac{\bar{V}}{\bar{Z}}\right)^* = \frac{V^2}{Z^*} = \frac{V^2}{-j\left(L_h \cdot \omega - \frac{1}{C \cdot \omega}\right)} = j \frac{V^2}{\left(L_h \cdot \omega - \frac{1}{C \cdot \omega}\right)} = j \frac{V^2 \cdot C \cdot \omega}{L_h \cdot C \cdot \omega^2 - 1}$$

$$\bar{S} = P + j \cdot Q \quad \text{d'où}$$

$$Q_{Lhc} = \frac{V^2 \cdot C \cdot \omega}{L_h \cdot C \cdot \omega^2 - 1}$$

A3.4.4. Pour $\omega = \omega_0$ on a :

$$Q_{Lhc} = \frac{V^2 \cdot C \cdot \omega_0}{L_h \cdot C \cdot \omega_0^2 - 1} = \frac{V^2 \cdot C \cdot \omega_0}{\frac{\omega_0^2}{n^2 \cdot \omega_0^2} - 1} = \frac{V^2 \cdot C \cdot \omega_0}{1 - n^2} \cdot n^2$$

pour $n > 1$, Q est négatif donc il y a bien fourniture d'énergie réactive.

$$|Q| = V^2 \cdot C \cdot \omega_0 \cdot \left(\frac{n^2}{n^2 - 1}\right)$$

$$C = \frac{|Q|}{V^2 \cdot \omega_0} \times \left(\frac{n^2 - 1}{n^2}\right)$$

$$C = \frac{50 \cdot 10^3}{3} \times \frac{1}{\frac{400^2}{3} \times 314} \times \frac{4,3^2 - 1}{4,3^2} = 941 \mu F$$

A3.4.5. La fréquence d'accord indiquée sur le document 4 est de 215 Hz.

Soit :

$$L_h \cdot C \cdot \omega_r^2 = 1$$

$$L_h = \frac{1}{C \cdot \omega_r^2} = \frac{1}{941 \cdot 10^{-6} \cdot (2 \times \pi \times 215)^2} = 0,58 \text{ mH}$$

A3.4.6.

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{jL_{cc} \cdot \omega} + \frac{1}{j(L_h \cdot C \cdot \omega^2 - 1)} = \frac{1 - (L_{cc} + L_h)C\omega^2}{jL_{cc} \cdot \omega(1 - L_h \cdot C\omega^2)}$$

$$Z = j \cdot \frac{L_{cc} \cdot \omega(1 - L_h \cdot C\omega^2)}{1 - (L_{cc} + L_h)C\omega^2}$$

Z passe par un maximum pour $(L_{cc} + L_h) \cdot C \cdot \omega^2 = 1$

$$f_{ar} = \frac{1}{2\pi \sqrt{(0,58 \cdot 10^{-3} + 0,02 \cdot 10^{-3}) \cdot 941 \cdot 10^{-6}}} = 212 \text{ Hz}$$

La self a permis de déplacer la fréquence de résonance du circuit parallèle à une valeur de fréquence inférieure aux harmoniques de courant.

A4. Régulateur varmétrique

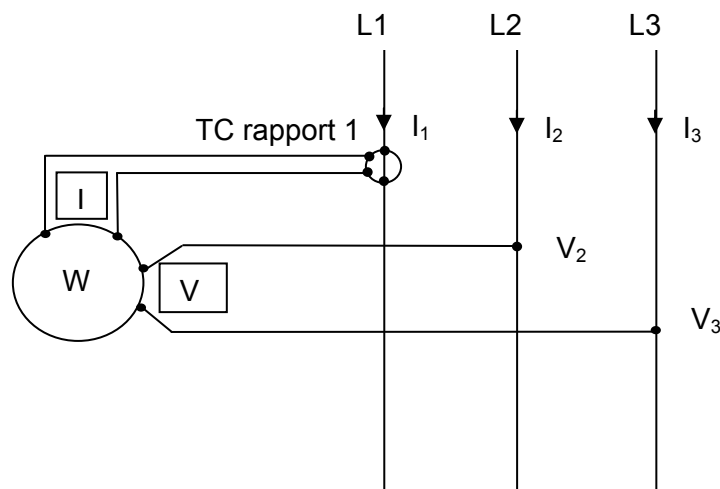
A4.1. Le régulateur varmétrique mesure en permanence la puissance réactive de l'installation et contrôle l'enclenchement et le déclenchement des gradins de condensateurs pour obtenir le facteur de puissance désiré.

A4.2. Les contacteurs subissent à l'enclenchement une pointe de courant due à la mise sous tension des condensateurs.

Les solutions de protections sont :

- Insertion de résistances d'amortissement mises hors-service après la pointe d'enclenchement ;
- Mise en série d'inductance de choc ;
- Commande par contacteurs statiques au zéro de tension.

A4.3.



$$W_{\text{lue}} = I_1 \times (V_2 - V_3) \times \cos\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right) = I_1 \times U_{23} \times \cos\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right) = I_1 \times U_{23} \times \sin \varphi = \frac{Q}{\sqrt{3}}$$

A4.4. Courant dans le premier gradin : $\frac{50\,000}{400\sqrt{3}} = 72\text{ A}$

$$K = \frac{2\,500}{5} = 500$$

$$\frac{C}{K} = \frac{72}{500} = 0,144$$

Partie B

B1. Choix du contacteur de puissance :

B1.1. Courant nominal d'un moteur 22 kW.

$$I = \frac{P_u}{\eta \times \sqrt{3} \times U \times \cos \varphi} = \frac{22\,000}{0,924 \times \sqrt{3} \times 400 \times 0,83} = 42\text{ A}$$

B1.2. Catégories d'emploi

AC1 : Appareils d'utilisation à courant alternatif, dont le facteur de puissance est au moins égal à 0,95.

AC3 : Moteurs à cage dont la coupure s'effectue moteur lancé.

AC4 : Moteurs à cage ou à bagues, applications avec freinage en contre courant et marche par "à-coup"

B1.3. Contacteur (circuit de commande : 230 V alternatif).

LC1 D50P7 (catégorie AC3, 22 kW sous 400 V)

Nombre de manœuvres : 2×10^6

B2. Protection du moteur asynchrone et de la canalisation :

B2.1. Relais de protection : LT6 P0M005FM

3 Transformateurs : LT6 CT1001 (100 A / 1 A)

B2.2. Valeur de I_r (en %) : $I_r = 42\%$

B2.3. Donner la valeur de I_v (en %) : $I_v = \frac{30 \times 100}{42} = 71\%$

B2.4. Classe thermique : Classe 20

B2.5. Sonde PTC 150 : thermistances (disposées par le constructeur au cœur des enroulements) à coefficient de température positif. La valeur ohmique augmente très fortement dès que la température atteint un seuil défini (150 °C).

Les sondes PTC font une mesure directe de l'état thermique du moteur. Elles protègent en cas de refroidissement défectueux du moteur.

B2.6. Disjoncteur : NS 100 Déclencheur MA 50

B2.7. DRB-2 Pdc \geq : $I_{k3\max}B = 35,2\text{ kA}$ NS 100 H (Pdc = 70 kA)

B2.8. La filiation est l'utilisation du pouvoir de limitation des disjoncteurs, qui permet d'installer en aval des disjoncteurs moins performants.

La filiation permet à des disjoncteurs de pouvoir de coupure inférieur au courant de court-circuit présumé d'être sollicités dans leurs conditions normales de coupure.

Référence du disjoncteur Q1 NS 100 N

B3. Protection des personnes :

B3.1.

TNC T : neutre du transformateur relié à la terre.

N : masses électriques des récepteurs reliées au conducteur neutre.

C : conducteur neutre et de protection confondus.

Un seul câble (PEN) pour le neutre et le conducteur de protection, utilisation de disjoncteurs 3 pôles.

Le schéma TN permet d'utiliser les protections de surintensité habituelles pour assurer la protection des personnes.

Par contre il demande la maîtrise des impédances de boucle des défauts éventuels.

B3.2. DRB-3.

B3.3. $I_f C = 720 \text{ A}$

$$\begin{array}{llllll}
 I_m \times 1,2 < 720 \text{ A} & I_m < 600 \text{ A} & I_m = k \times I_n & k < \frac{600}{50} & k < 12 \\
 I_m \times 0,8 > I_d & I_m > 367,5 \text{ A} & I_m = k \times I_n & k > \frac{367,5}{50} & k > 7,35 \\
 & & & & 7,35 < k < 12
 \end{array}$$

B4. Schéma de commande et puissance :

B4.1. DRB-4

B5. Communication :

B5.1. RS 232 / RS 485.

	RS 232	RS 485
Longueur max. de la liaison	≈ 15 m	≈ 1 400 m
Nombres de connectés	2	32
	Commande en tension	Mode différentiel

B5.2. Protocole Modbus

Le protocole est une description de règles et de conventions selon laquelle les appareils communiquent à travers un réseau.

B5.3. 64 adresses : 6 bits

B5.4. $27_{(10)} \rightarrow 00011011_{(2)}$

$$27_{(10)} \rightarrow 1B_{(16)}$$

Partie C

C1. Motorisation des ventilateurs :

C1.1. Différentes motorisations possibles pour un entraînement à vitesse variable.

- Moteur à courant continu, variation de vitesse par variation de la tension d'induit ;
- Moteur synchrone, variation de vitesse par variation de fréquence ;
- Moteur asynchrone, variation de vitesse par variation de fréquence.

Moteur courant continu :

Coût moteur élevé + entretien ;
Variateur simple (pont thyristors).

Moteur synchrone :

Moteur avec capteur position rotor, très bon rapport puissance / masse ;
Variateur plus sophistiqué par rapport au Mcc.

Moteur asynchrone.

Moteur le plus économique ;
Variateur plus sophistiqué par rapport au Mcc.

C1.2. Le moteur asynchrone est le plus économique et ne nécessite pas d'entretien.

C1.3. L'usage d'un variateur entraîne un déclassement de la puissance du moteur. La documentation (annexe C1-1) indique une perte de 10% à la fréquence de 50 Hz.

90% P moteur > 340 kW

Type M2BA 355 MLA 4 3GBA 352 410 - A - S A.

C1.4. IP 55 : indice de protection 1° chiffre : protection contre les corps solides.

2° chiffre : protection contre les corps liquides.

Classe F : Classe d'isolement des bobinages $\Delta t = 100^\circ\text{C}$ max si $t_a \leq 40^\circ\text{C}$.

S1 : type de service : service continu.

C1.5. DRC-1.

C.2 Variateur de vitesse :

C2.1. Couple quadratique : ACS 607 - 0400 -3 (400 kW 712 A)

C2.2. φ_1 : déphasage entre le fondamental de la tension simple et le fondamental du courant. Facteur de puissance : $F_p = \text{puissance active} / \text{puissance apparente}$.

C2.3. Valeur efficace du courant en ligne du variateur I_{LV} .

Courant efficace du fondamental : I_1 I

Courant efficace de l'harmonique 5 : $I_5 = 50\% I_1$

Courant efficace de l'harmonique 7 : $I_7 = 25\% I_1$

Courant efficace de l'harmonique 11 : $I_{11} = 7\% I_1$

Courants efficaces des harmoniques ≥ 13 négligeables

$$I_{LV} = \sqrt{I_1^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_{11}^2} = I_1 \sqrt{1 + 0,5^2 + 0,25^2 + 0,07^2} = 705,9 \text{ A}$$

On doit utiliser un ampèremètre TRMS (courant non sinusoïdal).

C.3 Câblage du variateur de vitesse :

C3.1 0 à 10 V :

- Commande facile à mettre en œuvre, possible par potentiomètre ;

4 à 20 mA :

- Nécessite une alimentation ;
 - Détection de fil coupé ;
 - Possibilité d'un câblage sur une plus grande distance car bonne immunité aux bruits.
- Ici l'emploi d'une commande en courant 4 à 20 mA est justifié pour les caractéristiques ci-dessus.

C3.2 Pour une commande 4 à 20 mA (résolution 10 bits) :

Incrément de consigne minimum. $(20 \text{ mA} - 4 \text{ mA}) / 2^{10} = 15,6 \mu\text{A}$
 Variation de vitesse correspondante : $1500 / 2^{10} \approx 1,5 \text{ trs} \times \text{mn}^{-1}$

C3.3 Il faut utiliser du câble blindé et 2 fils torsadés. Voir document réponse DRC-2

C.4 Étude de la commande simplifiée de l'onduleur de tension :

C.4.1 Suppression des harmoniques 3, 5 et 7

$$A'_n = \frac{4 \times U_0}{n \times \pi} [(\cos(n \times \alpha_1) - \cos(n \times \alpha_2) + \cos(n \times \alpha_3))]$$

$$V_n = \left| \frac{2 \times A'_n}{3} \sin\left(n \times \frac{\pi}{3}\right) \right| \times \frac{1}{\sqrt{2}}$$

Fondamental

$$V_1 = \left| \frac{2 \times 4 \times 540}{3 \times 1 \times \pi} [(\cos(1 \times 22,7^\circ) - \cos(1 \times 33,8^\circ) + \cos(1 \times 46,8^\circ))] \times \sin(1 \times 60^\circ) \right| \times \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$V_1 = 217,6 \text{ V}$$

Harmonique 3 $V_3 = 0 \text{ V}$ (en généralisant, harmoniques multiples de 3 : = 0)

Harmonique 5 $V_5 = 0,37 \text{ V}$

Harmonique 7 $V_7 = 18,5 \text{ V}$

Harmonique 11 $V_{11} = 57 \text{ V}$

$$V_{11} = \left| \frac{2 \times 4 \times 540}{3 \times 11 \times \pi} [(\cos(11 \times 22,7^\circ) - \cos(11 \times 33,8^\circ) + \cos(11 \times 46,8^\circ))] \times \sin(11 \times 60^\circ) \right| \times \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$\frac{V_1}{V_{11}} = \frac{217,6}{57} \approx 3,8$$

C.4.2 Comportement de la machine asynchrone en présence de l'alimentation précédente :

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{400}{\sqrt{3} \times 685} = 0,337 \Omega$$

$$R = Z \times \cos \varphi = 0,337 \times 0,87 = 0,293 \Omega$$

$$X = Z \times \sin \varphi = 0,337 \times 0,493 = 0,166 \Omega$$

$$X_n = n \times X \quad Z_n = \sqrt{R^2 + X_n^2}$$

$$n = 11 \quad X_{11} = 11 \times 0,166 = 1,828 \Omega \quad Z_{11} = \sqrt{0,293^2 + 1,828^2} = 1,85 \Omega$$

Valeurs efficaces des harmoniques de $i_1(\theta)$ $I_n = \frac{V_n}{Z_n}$

$$I_1 = \frac{217,6}{0,337} = 645 \text{ A} \quad I_{11} = \frac{57}{1,85} = 30,8 \text{ A} \quad \frac{I_1}{I_{11}} = \frac{645}{30,8} \approx 21$$

Les valeurs efficaces des harmoniques de courant sont faibles par rapport au fondamental, le courant $i_1(\theta)$ est quasi sinusoïdal.

Document réponse DRA-1 (Corrigé)

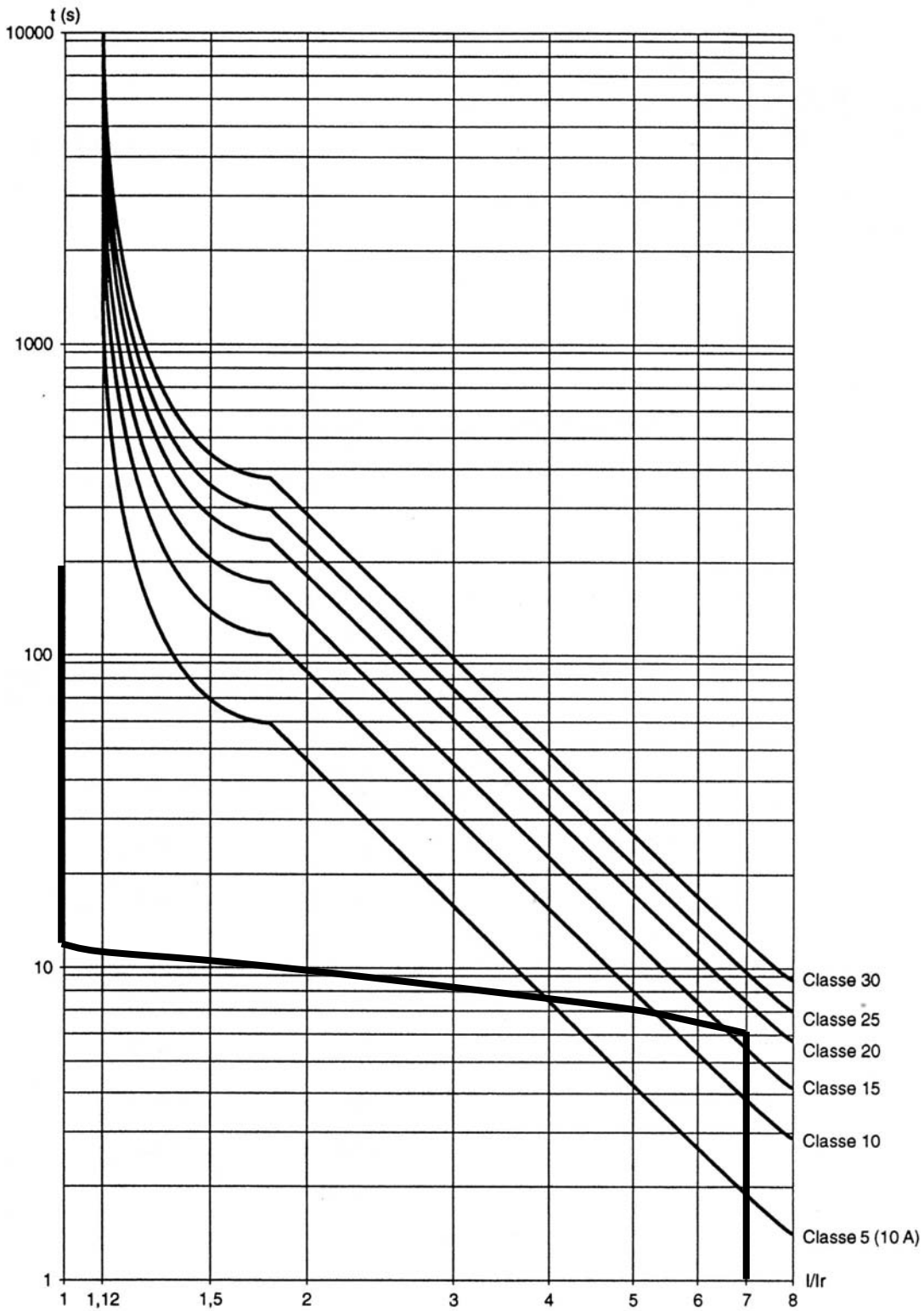
DESIGNATION	Puissance mécanique installée (kW)	Facteur d'utilisation	Rendement	cos φ	Tension (V)	Intensité absorbée (A)	Puissance active (kW)	Puissance réactive (kVAR)	Puissance absorbée (kVA)
Armoire variateur du ventilateur ligne 1	400,00	0,85	0,96	0,97	400 TRI	527	354	88,76	365,12
Armoire variateur du ventilateur ligne 2	400,00	0,85	0,96	0,97	400 TRI	527	354	88,76	365,12
Armoire auxiliaire usine		1		0,75	400 TRI	460	239	210,79	318,69
Armoire MCC traitement fumées		1		0,79	400 TRI	400	220,00	168,51	277,12
Armoire filtre à manches		1		0,76	400 TRI	250	131,00	113,30	173,20
Armoire éclairage et PC		1		0,80	400 TRI	100	55	41,57	69,28
Ventilateur local compresseur	3,00	1	0,81	0,80	400 TRI	6,7	3,7	2,79	4,64

Total	1357,49	714,48	1534,03
--------------	---------	--------	---------

Coefficient de simultanéité au niveau du jeu de barres :	0,90
1 221,738	643,03343
1 380,63	

Document réponse DRB-1 (Corrigé)

Courbes de déclenchement à chaud



Précision des temps de déclenchement : $\pm 8\%$ à $7 \times I/r$.

Document réponse DRB-2 (Corrigé)

Calcul du courant de court-circuit triphasé maximal I_{k3max}

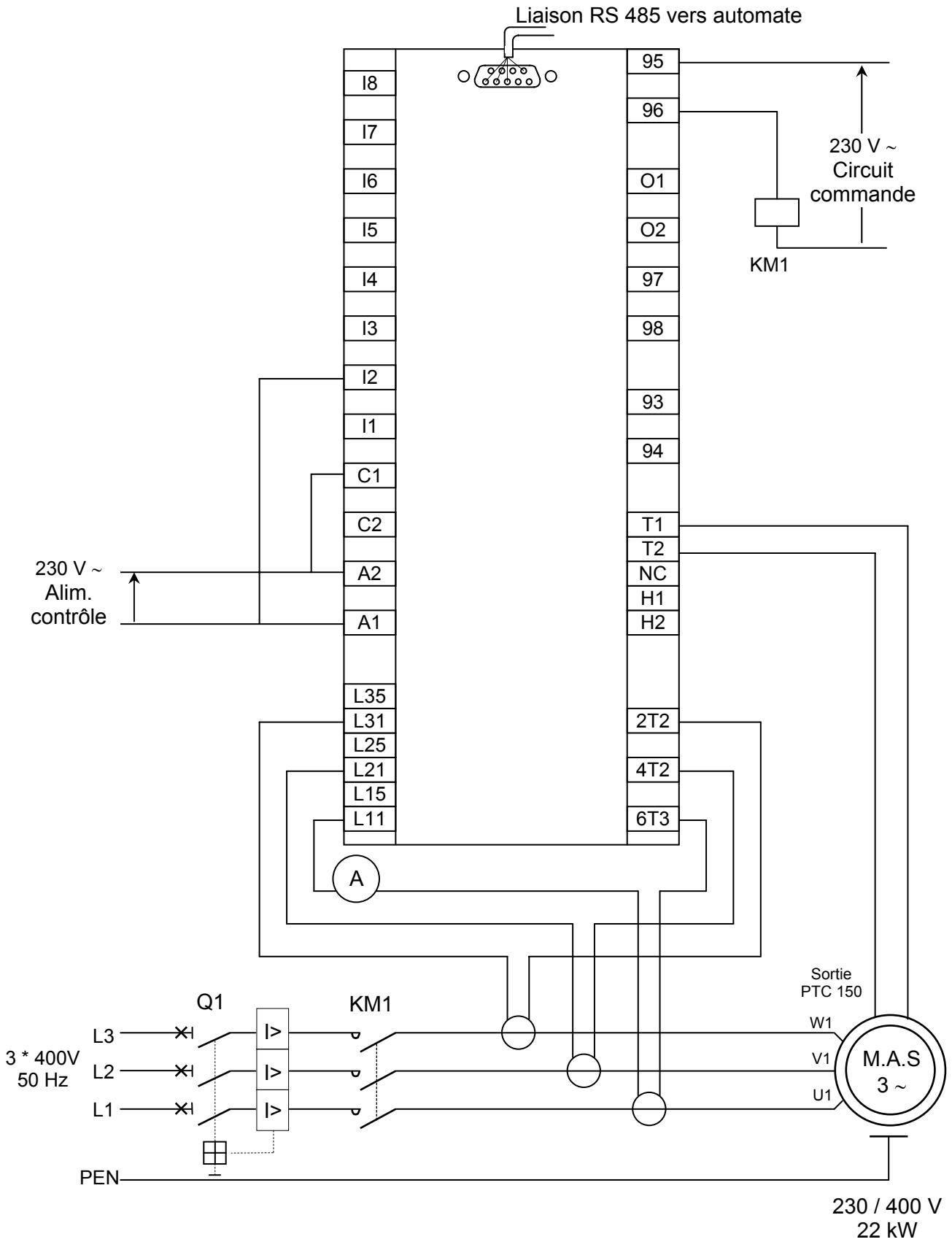
	R(mΩ)	X(mΩ)
Réseau HTA Ramené en BT $S_{kQ} = 500 \times 10^3$ kVA	$R_Q = 0,1 Z_Q$ $R_Q = 0,035$	$Z_Q = (m \times U_n)^2 / S_{kQ}$ $X_Q = 0,995 Z_Q$ $X_Q = 0,995 (1,05 \times 400)^2 / 500 \times 10^3$ $X_Q = 0,35$
Transformateur 1600 kVA	$R_T = 0,31 Z_T$ $R_T = 1,95$	$Z_T = \frac{(m \times U_n)^2}{S_{rT}} \times \frac{u_{kr}}{100}$ $X_T = 0,95 Z_T$ $X_T = 0,95 \frac{(1,05 \times 400)^2}{1600} \times \frac{6}{100}$ $X_T = 6,28$
Câble 18 m	$\frac{0,01851 \times 18}{6 \times 300} \Omega$ 0,185	$\frac{0,08 \times 18}{6} m\Omega$ 0,24
I_{k3max} en A	$I_{k3max} = \frac{C_{max} \times m \times U_0}{\sqrt{(\sum R)^2 + (\sum X)^2}} \text{ kA}$ $I_{k3max} = \frac{1,05 \times 1,05 \times 231}{\sqrt{2,17^2 + 6,87^2}} \text{ kA} \qquad I_{k3max} = 35,3 \text{ kA}$	
Câble 5 m	$\frac{0,01851 \times 5}{240} \Omega$ 0,385	$0,08 \times 5 m\Omega$ 0,4
I_{k3max} en B	$I_{k3max} = \frac{1,05 \times 1,05 \times 231}{\sqrt{2,55^2 + 7,27^2}} \text{ kA} \qquad I_{k3max} = 33 \text{ kA}$	
Câble 110 m	$\frac{0,01851 \times 110}{16 \times 127} \Omega$	$0,08 \times 110 m\Omega$ 8,8
I_{k3max} en C	$I_{k3max} = \frac{1,05 \times 1,05 \times 231}{\sqrt{130^2 + 16,07^2}} \text{ kA} \qquad I_{k3max} = 1,94 \text{ kA}$	
Disjoncteur Q₂	NS 100 H Pdc = 70 kA > 33 kA	

Document réponse DRB-3 (Corrigé)

Calcul du courant de défaut

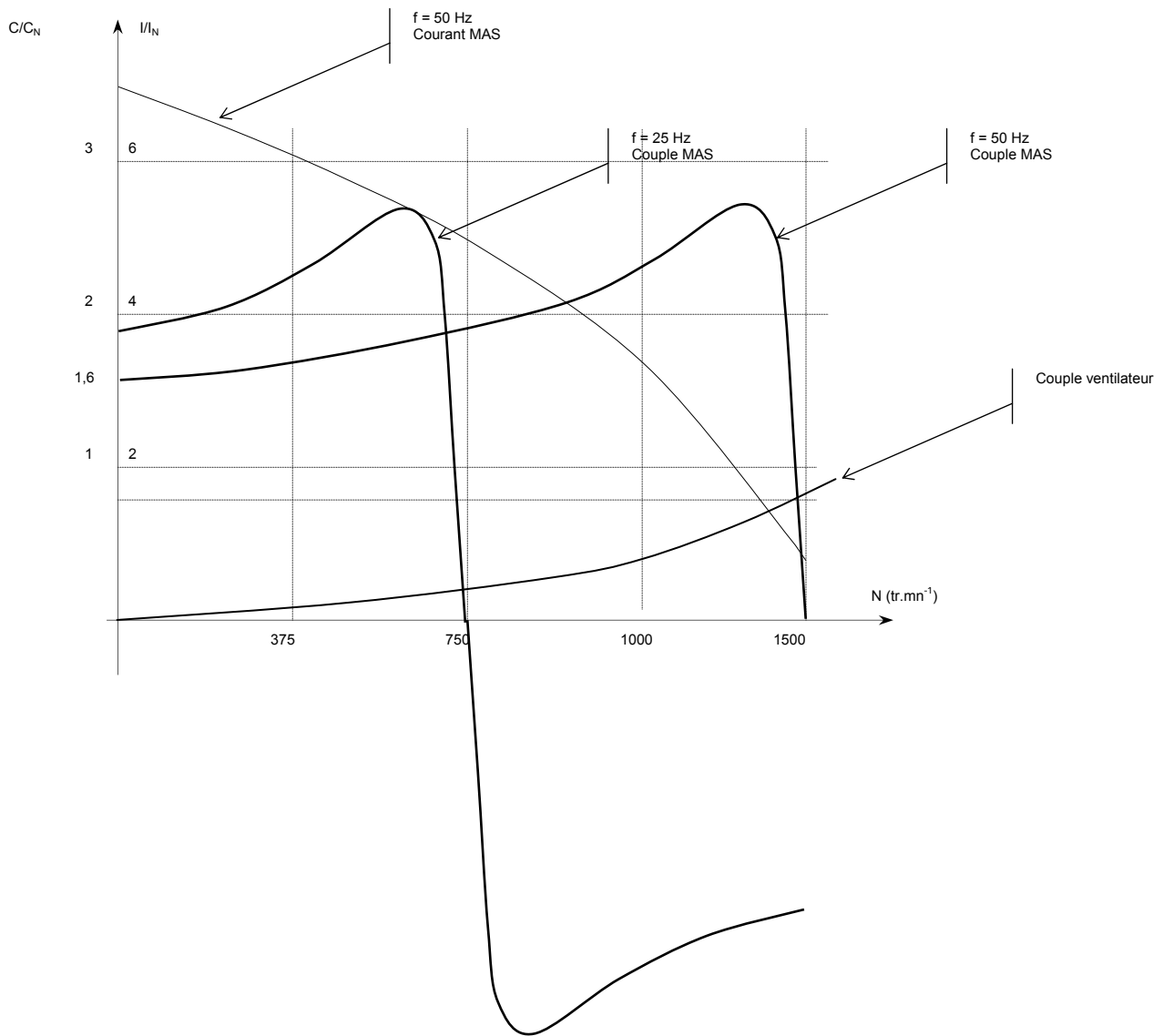
	$R_{PH}(m\Omega)$	$R_{PEN}X(m\Omega)$	$X_{PH}(m\Omega)$	$X_{PEN}(m\Omega)$
Réseau HTA Ramené en BT $S_{kQ} = 500 \text{ MVA}$	0,035	/	0,35	/
Transformateur 1600 kVA	2	/	6,28	/
Câble 18 m	$\frac{0,023 \times 18}{6 \times 300} \Omega$ 0,23	$\frac{0,023 \times 18}{6 \times 300} \Omega$ 0,23	$\frac{0,08 \times 18}{6} m\Omega$ 0,24	$\frac{0,08 \times 18}{6} m\Omega$ 0,24
I_f en A	$I_f = \frac{C_{min} \times m \times U_0}{\sqrt{(\sum R)^2 + (\sum X)^2}} \text{ kA}$ $I_f = \frac{0,95 \times 1,05 \times 231}{\sqrt{2,49^2 + 7,11^2}} \text{ kA} \qquad I_f = 30,6 \text{ kA}$			
Câble 5 m	$\frac{0,023 \times 5}{240} \Omega$ 0,5	$\frac{0,023 \times 5}{70} \Omega$ 1,6	$0,08 \times 5 m\Omega$ 0,4	$0,08 \times 5 m\Omega$ 0,4
I_f en B	$I_f = \frac{0,95 \times 1,05 \times 231}{\sqrt{4,6^2 + 7,91^2}} \text{ kA} \qquad I_f = 25,2 \text{ kA}$			
Câble 110 m	$\frac{0,023 \times 110}{16} \Omega$ 158	$\frac{0,023 \times 110}{16} \Omega$ 158	$0,08 \times 110 m\Omega$ 8,8	$0,08 \times 110 m\Omega$ 8,8
I_f en C	$I_f = \frac{0,95 \times 1,05 \times 231}{\sqrt{318^2 + 25,5^2}} \text{ kA} \qquad I_f = 0,722 \text{ kA}$			

Document réponse DRB-4 (Corrigé)



Document réponse DRC-1 (Corrigé)

Couples et courant en fonction de la vitesse.



Document réponse DRC-2 (Corrigé)

Schéma commande variateur.

