

CORRECTION - PARTIE A

Étude de l'alimentation en énergie de l'entreprise

A1 Généralités sur l'ouverture du marché de l'énergie électrique

Q1. Quel est l'avantage pour un professionnel de devenir « éligibles » ?

Un professionnel éligible est-il obligé d'exercer son éligibilité ? Expliquer.

Un professionnel « éligible » peut choisir son fournisseur.

Un professionnel peut ne pas exercer son éligibilité, dans ce cas ses tarifs sont réglementés et ne peuvent être négociés.

Q2. Rappeler la chaîne des intervenants entre le producteur et le consommateur d'énergie, préciser le rôle et la fonction de chacun des intervenants.

Le fournisseur produit ou livre l'énergie électrique qu'il achète à un producteur.

Le transporteur assure la liaison entre le producteur et le consommateur.

Pour le réseau public RTE assure ce rôle.

Le client acheteur choisit son fournisseur mais doit utiliser le réseau de transport national géré par RTE.

Les tarifs d'acheminements sont réglementés seuls les tarifs de fourniture sont libres.

Q3. Qui assure la qualité de l'énergie livrée au consommateur ?

C'est le gestionnaire du réseau de distribution qui assure la qualité de l'énergie :

↙ Un service assure la maintenance

↙ Un service assure la distribution

Q4. Quels sont les critères que retiennent les fournisseurs pour faire des offres concurrentielles aux clients ?

La régularité de la consommation et le volume annuel d'énergie.

A2 Etude de l'alimentation HTB de l'entreprise

Q5. Rappeler les niveaux de tensions du réseau HTB et HTA du réseau français.

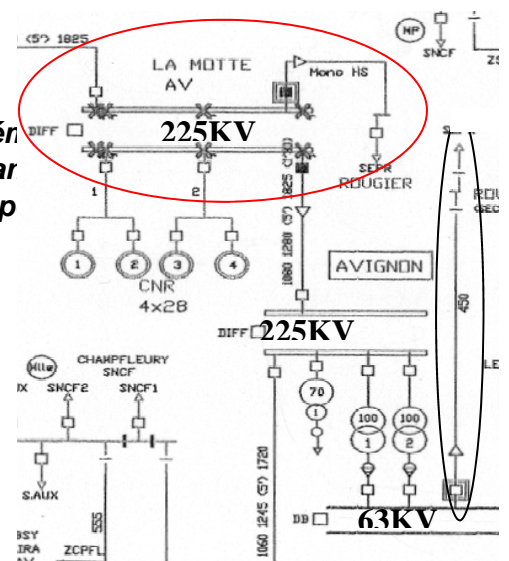
HTB (en kV) 400 – 225 – 150 – 90 - 63

HTA (en kV) 36 - 20 – 15 – 10 - 6,6 - 5,5

Q6. À l'aide des documents DTA3 à DTA5, dessiner un schéma d'alimentation du poste Rougier de l'entreprise en partant d'Avignon. Les 2 postes sources La Motte et Avignon disposent de 225 kV et 63 kV.

Alimentation en 225 kV à partir de la Motte

Alimentation en 63 kV à partir d'Avignon secours



A3 Étude de l'alimentation HTA de l'entreprise

A3.1 Généralités

- Q7. Le réseau HTA de l'entreprise est donné sur les documents DTA9 à DTA12, Donner la structure de l'alimentation normale secours d'après le document DTA 9. Définir les boucles qui permettent d'alimenter les différents postes et identifier les sous stations, à partir des documents DTA10, DTA11 et DTA12.**

Alimentation normale les 2 secondaires du transformateur 225 kV/15 kV alimentent les 3 jeux de barres B01, B02 et B03.

En secours 2 transformateurs 63 kV/15 kV sont en parallèle sur le jeu de barre B01 et les 2 autres alimentent les jeux de barres B22 et B03.

L'installation comprend le poste principal (le poste 1) et deux sous stations (les postes 02 et 26). Elle est constituée de 7 boucles ouvertes à partir du poste principal.

Exemples de boucles, liaison des postes 1-22-23-24-20-1 ou liaison des postes 1-2-4-1.

- Q8. Les 4 transformateurs 63 kV/15 kV sont en parallèle, donner les conditions de couplages de ces transformateurs.**

Même indice horaire ou des indices horaires du même groupe.

Même rapport de transformation.

Même tension de court-circuit réduite.

- Q9. Les transformateurs de l'installation sont équipés de régleur en charge, expliquer le principe du régleur en charge.**

À partir de la documentation fournie, documents DTA6 à DTA8, et l'aide de la représentation de votre choix, expliquer le fonctionnement du régleur en charge lorsque l'on veut augmenter la tension secondaire.

Le régleur en charge permet d'ajuster la tension secondaire en fonction du courant demandé au secondaire.

Pour cela le régleur modifie le nombre de spires du primaire. Quand on veut augmenter la tension secondaire on diminue le nombre de spires au primaire.

A3.2 Étude du transformateur HTB/HTA N°1

- Q10. Donner la signification du sigle ODAF caractérisant le refroidissement de ce transformateur.**

Signification du sigle **ODAF**, transformateur immergé dans l'huile à circulation forcée et refroidi par air à ventilation forcée.

- Q11. Préciser la signification de l'indice horaire et donner la représentation des enroulements pour ce mode de couplage. Sur quoi repose le choix du couplage ?**

Etoile au primaire avec neutre sorti et relié à la terre.

Triangle au secondaire.

Indice horaire de 1.

On évite d'avoir le même couplage au primaire et au secondaire afin de limiter le transfert du déséquilibre éventuel entre les courants.

- Q12. Établir la relation donnant $U_{cc}\%$ en fonction de $R\%$ et de $X\%$.**

$$U_{cc}\% = [(R\%)^2 + (X\%)^2]^{0,5}$$

- Q13. Négliger le déphasage (toujours faible en fonctionnement normal) entre les tensions secondaires, à vide et en charge, relative à une même phase et établir la relation donnant $K\%$ en fonction de $R\%$, $X\%$, I_2 et α_2 . Préciser le signe qu'il faut attribuer à α_2 en fonction de la nature du récepteur.**

$K\% = (R\% \times \cos\alpha_2 + X\% \times \sin\alpha_2) \times (I_2 / I_n)$, si la charge est inductive $\alpha_2 > 0$, si la charge est réactive $\alpha_2 < 0$.

Q14. Rappeler la méthode pour réaliser l'essai en court-circuit sur ce type de transformateur et vérifier par le calcul la valeur de $U_{cc}\%$ garantie par le constructeur. Calculer l'intensité de court-circuit, en fonctionnement équilibré, au secondaire du transformateur.

D'après les relevés donnés, l'essai en court-circuit a été fait en alimentant le secondaire sous tension réduite.

$$R\% = 100 \times (P_{jcc} / S_n) = 0,65\%$$

$$m = 15,9 / 63 = 0,2523. I_{2cc} = 435,84 \text{ A}. S_{cc} = 1,024 \text{ MVA}. \cos\phi_{cc} = P_{cc} / S_{cc} = 0,0761.$$

$$\tan\phi_{cc} = 13,09. X\% = 8,51\% \text{ d'où } U_{cc} = 8,54\%$$

D'où une tension garantie de 9% par le constructeur.

$$I_{cc} = (S_n \times 100) / (U_{20} \times 1,732 \times U_{cc}) = 4841 \text{ A}$$

Q15. Donner les critères de choix du disjoncteur à placer au secondaire du transformateur. En justifiant votre réponse, indiquer si disjoncteur Orthofluor FPX24 convient (documents DTA 13 à DTA 15).

Critères de choix du disjoncteur : I_n , U_n , I_{cu} (pouvoir de coupure), nombre de pôles.

Dans ce cas $I_n = 500 \text{ A}$, $U_n = 15 \text{ kV}$, $I_{cu} > 5 \text{ kA}$

On choisit le disjoncteur au **SF6 Orthofluor FPX24**

A3.3 Analyse d'un défaut au secondaire du transformateur.

Q16. Un court-circuit s'établit entre les phases a et b, la phase c reste isolée. Exprimer le module du courant de court-circuit dans ce cas en fonction du module du courant de court-circuit de la question Q14.

Calculer la valeur du courant de court-circuit dans ce cas et son déphasage par rapport à la tension simple à vide V_{a0} .

L'appareil de protection précédent convient-il ?

$$V_d = E_d - Z_d I_d$$

Transformateur statique : $E_d = V_{a0}$ et $Z_d = Z_i$

Conditions liées au court-circuit: $I_a = I_b$, $I_c = 0$; $I_n = 0$, $V_a = V_b$

Relation des courants : $I_0 = 0$, $I_a + I_b$ donne $I_i = -a^2 V_d$

Relation des tensions : $V_0 = 0$, $V_a - V_b$ donne $V_i = a^2 V_d$

Expression de V_d

$$V_i = -Z_i \times I_i$$

$$a^2 V_d = Z_i a^2 I_d \text{ d'où } V_d = Z_i \times I_d$$

$$V_d = E_d - Z_d I_d = Z_i I_d$$

$$I_d = E_d / (Z_d + Z_i) = E_d / 2 \times Z_d = V_{a0} / (2 \times Z_d)$$

$$V_d = V_{a0} / 2$$

Expression du courant de court-circuit

$$I_i = -a^2 \times I_d = -(a^2 V_{a0}) / (2 \times Z_d)$$

$$V_i = a^2 V_{a0} / 2$$

$$I_a = I_d + I_i = (1 - a^2) \times V_{a0} / (2 \times Z_d)$$

Application numérique

$$Z_d\% = 0,65 + j 8,51, \phi = \arctg(8,51 / 0,65) = 85,6^\circ$$

Module de $Z_d\% = U_{cc}\%$ donc le module de $Z_d = (9 \times V_{20}) / (100 \times I_{2n})$

$$\text{Module de } I_a = (1,732 / 2) \times (V_{20}) / (9 \times V_{20}) / (100 \times I_{2n}) = (1,732 / 2) \times I_{cc} = 4192 \text{ A}$$

Déphasage de I_a , il est en retard de $55,6^\circ (30^\circ - 85,6)$ par rapport à V_{20}

L'appareil de protection précédent convient puisque le courant de court-circuit est plus faible.

A3.4 Analyse de la mise sous tension des batteries de condensateurs.

Q17. Expliquer le rôle des résistances intégrées dans les blocs de condensateurs et rappeler les règles de sécurité en ce qui concerne la tension aux bornes d'un condensateur quand celui est déconnecté du réseau.

Les résistances permettent de décharger les condensateurs quand ceux-ci ne sont plus connectés au réseau. La norme "CEI 871" stipule que la tension résiduelle aux bornes d'une batterie de condensateurs déconnectée doit être inférieure à **75 V au bout de 10 min.**

- Q18. Choisir à l'aide des documents DTA16 à DTA17, la référence de la batterie à installer. Donner le mode de couplage des blocs de condensateurs en le justifiant.**

On choisit la batterie **CP227**.

Pour une tension de service de 15 kV > 10 kV, il faut choisir un couplage double étoile, ce qui est le mode couplage de la batterie retenue.

- Q19. On isole une batterie de condensateurs de 4 200 kvar et on l'alimente par le transformateur n°1 seul. Représenter le schéma équivalent par phase de l'alimentation du bloc de condensateurs par le transformateur en négligeant les inductances en aval du transformateur et la résistance du transformateur.**

Déterminer l'expression du courant de pointe I_p à la mise sous tension des condensateurs en fonction de V (tension simple), L et C (respectivement inductance et capacité par phase). Calculer ce courant de pointe.

$I_{2n} = 460$ A, pour une phase $L = (X\% \times V_{20}) / (100 \times I_{2n} \times \omega)$ et $C = 4200 \times 10^3 / 3 \times V_2^2 \times \omega$
donc $(1 / L \times C)^{0,5} = \omega_0 = 5,3 \times \omega$

$C = 59,41 \mu\text{F}$, $L = 6,03 \text{ mH}$, $\omega_0 = 1670 \text{ rd/s} = 5,3 \times \omega$

On obtient un circuit oscillant qui peut être mis sous tension à $V_{2\text{max}} = V_{20} \times 1,414$

La résolution de l'équation différentielle du circuit LC donne $u_{cp} = V_{20} \times 1,414 \cos(\omega_0 \times t)$

D'où $i_{cp} = C \times V_{20} \times 1,414 \times \omega_0 \sin(\omega_0 \times t)$

La valeur maximale de i_{cp} , $i_{cp\text{max}} = I_p = C \times V_{20} \times 1,414 \times \omega_0 = V_{20} \times 1,414 \times (C/L)^{0,5} = 1292$ A

- Q20. Exprimer le courant I_c dans la batterie de condensateurs, en fonction de I_p , Q et S_{cc} (S_{cc} puissance de court circuit en VA au secondaire du transformateur) et calculer I_c .**

$I_p = V_2 \times 1,414 \times (C / L)^{0,5}$,

$C = Q / (3 \times V_2^2 \times \omega)$, $I_c = Q / (3 \times V_2)$, $I_p = V_2 \times 1,414 \times [Q / (3 \times V_2^2 \times L\omega)]^{0,5}$

$L\omega = 3V_2^2 / S_{cc}$

$I_p = [(V_2 \times 1,414 \times Q) / (3 \times V_2^2)] \times (S_{cc} / Q)^{0,5} = I_c \times 1,414 \times (S_{cc} / Q)^{0,5}$

$I_c = (I_p / 1,414) \times (Q / S_{cc})^{0,5}$

$S_{cc} = 133$ MVA et $Q = 4200$ kvar

$I_c = 162$ A

- Q21. Dans le cas où le rapport I_p/I_c est supérieur à 100, le constructeur préconise l'emploi d'une inductance de choc. Quel est le rôle de cette inductance, est-elle nécessaire dans ce cas ?**

$I_p/I_c = 7,95$ donc l'inductance de choc n'est pas nécessaire dans ce cas. Cette inductance permet de limiter le courant d'appel sans induire de la puissance active.

EXPLOITATION PÉDAGOGIQUE

- Q22. Proposer le plan du travail demandé aux étudiants dans le cadre d'une séance d'essais de systèmes dont l'objectif est de :**

⇒ **justifier l'intérêt économique et technique de l'amélioration du facteur de puissance d'une installation industrielle.**

⇒ **de mettre en œuvre un système de compensation en gradins.**

Partie étude.

Il faut justifier le fait de relever le facteur de puissance par un calcul économique.

Cibler l'atelier et dimensionner la batterie de condensateurs à mettre en œuvre.

Faire étudier la batterie retenue en analysant sa mise en œuvre.

Partie essais.

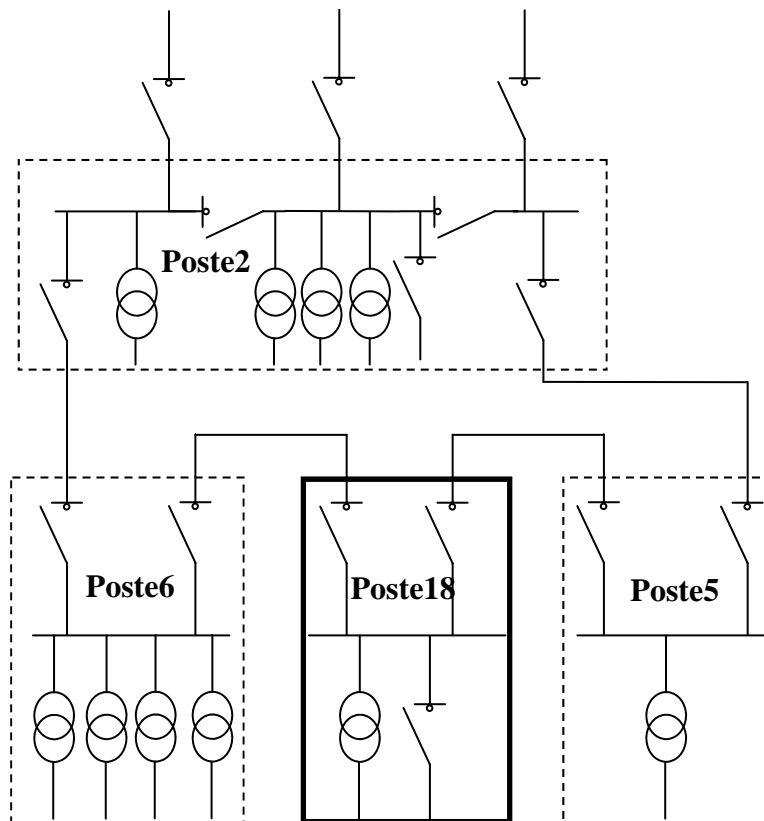
- ↪ Essais sans la batterie de condensateurs
Relever le facteur de puissance de l'atelier en fonction des différentes charges mise en service en fonction d'un scénario donné par le professeur.
- ↪ Réglage de la batterie
Régler la batterie en gradins pour répondre au mieux au scénario fixé.
- ↪ Essais avec la compensation.

Q23. Proposer un relevé qui permettrait de mettre en évidence l'utilisation ou non d'une inductance de choc. Donner les appareils de mesure à utiliser et le schéma du montage à réaliser.

Faire un enregistrement de la tension et du courant appelés lors de la mise sous tension de la batterie et quantifier la pointe de courant transitoire. Le résultat de cet essai est aléatoire mais il doit sensibiliser les étudiants à l'importance des perturbations non répétitives des réseaux.

A4 Étude du transformateur du poste 18

Q24. Représenter un schéma simplifié unifilaire de l'alimentation du poste 18 à partir du poste 1 à l'aide des documents DTA10, DTA11 et DTA18.



Q25. Choisir les cellules B, D et C du poste 18 avec les documents DTA19 à DTA20. Choisir le fusible de la cellule C avec le document DT21.

Cellules du type Fluokit M24

Cellules B: Type IS 17,5 kV

Cellule C: Type PFA 17,5 kV

Cellule D: Type IS 17,5 kV

Fusible de la cellule C: Type FD 15 kV – 63 A

EXPLOITATION PÉDAGOGIQUE

Q26. Proposer un planning organisationnel de ce thème de sorte que les étudiants puissent effectuer toutes les tâches du projet pendant les semaines concernées.

Voir tableau page suivante :

		S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20
F1	Étude technique et économique																
T11	Analyser le CDC et les appels d'offre																
T13	Concevoir des solutions techniques et des procédures																
T14	Réaliser les dossiers techniques de fabrication et d'exécution																
T15	Elaborer une offre adaptée au cahier des charges																
T16	Analyser les causes d'un dysfonctionnement																
T18	Répondre à un besoin de formation																
F2	Réalisation exécution et industrialisation																
T22	Adapter les solutions techniques																
T23	Régler les paramètres et mettre au point le processus de fabrication																
T24	Proposer des améliorations de procédé et d'organisation																
T25	Réaliser un ouvrage, un équipement ou un produit																
T26	Appliquer les textes administratifs et réglementaires																
F3	Planification, suivi technique maîtrise des coûts																
T31	Programmer et assurer le suivi de la réalisation et des essais																
T32	Assurer le suivi de l'ensemble du cycle d'achat																
T33	Organiser l'ordonnancement, la logistique et la gestion des flux																
T34	Préparer, planifier l'intervention																
T35	Suivre les coûts, les délais et la qualité de la réalisation																
T36	Rechercher et décider des recours à la sous-traitance																
T37	Fournir un appui technique aux opérateurs de fabrication																
F4	Animation coordination d'équipe																
T41	Assurer une responsabilité hiérarchique																
T42	Assurer une gestion des ressources humaines																
T43	Animer des groupes de travail dans le cadre d'une procédure qualité																
T44	Accueillir des intervenants sur le chantier																
F5	Essais mise en service contrôle																
T51	Contrôler la conformité d'un produit																
T52	Suivre les indicateurs d'assurance qualité																
T53	Réaliser les essais et les mesures nécessaires à une qualification																
T54	Effectuer la mise en service																
T55	Procéder à la réception avec le client																
F6	Maintenance SAV																
T61	Organiser les interventions de maintenance, locales ou à distance																
T62	Réaliser les réglages, corrections, expertises et dépannages																
F7	Relations clients fournisseurs																
T71	Conseiller techniquement le client																
T74	Informé le client sur l'état d'avancement des travaux																
T75	Former le client à la prise en main et au dépannage du 1er niveau																
T76	Animer des réunions ou intervenir dans des conférences techniques																

A5 Étude du transformateur du four A

Q27. Les plots de réglage agissent sur le nombre de spires au primaire, montrer comment en faisant varier le nombre de spires il est possible de modifier la tension secondaire.

$$m = V_2 / V_1 = N_2 / N_1 \text{ si } N_1 \text{ diminue } V_2 \text{ augmente mais } I_2 \text{ doit diminuer}$$

Q28. Déterminer le courant maximum pour un enroulement du secondaire.

$$I_{pn} = 169 \text{ A. } I_{sn} = 3660 \text{ A pour } U_s = 100 \text{ V}$$

Pour le couplage secondaire « étoile parallèle »,

Q29. Proposer un schéma du montage et calculer :

- ⇒ la tension secondaire entre phase minimum $U_{2miniEp}$
- ⇒ la tension secondaire entre phase maximum U_{2maxEp}
- ⇒ Le courant maximum par phase au secondaire pour $U_{2miniEp}$
- ⇒ Le courant maximum par phase au secondaire pour U_{2maxEp}

$$\text{La tension secondaire entre phase minimum } U_{2miniEp} = 173 \text{ V}$$

$$\text{La tension secondaire entre phase maximum } U_{2maxEp} = 346 \text{ V}$$

$$\text{Le courant maximum par phase au secondaire pour } U_{2miniEp}, I_{max Ep1} = 3660 \times 4 = 14640 \text{ A}$$

$$\text{Le courant maximum par phase au secondaire pour } U_{2maxEp}, I_{max Ep27} = 1830 \times 4 = 7320 \text{ A}$$

Pour le couplage secondaire « Etoile série parallèle »,

Q30. Proposer un schéma du montage et calculer :

- ⇒ la tension secondaire entre phase minimum $U_{2miniEs}$
- ⇒ la tension secondaire entre phase maximum U_{2maxEs}
- ⇒ Le courant maximum par phase au secondaire pour $U_{2miniEs}$
- ⇒ Le courant maximum par phase au secondaire pour U_{2maxEs}

$$\text{La tension secondaire entre phase minimum } U_{2miniEsp} = 346 \text{ V}$$

$$\text{La tension secondaire entre phase maximum } U_{2maxEsp} = 692 \text{ V}$$

$$\text{Le courant maximum par phase au secondaire pour } U_{2miniEsp}, I_{max Esp1} = 3660 \times 2 = 7320 \text{ A}$$

$$\text{Le courant maximum par phase au secondaire pour } U_{2maxEsp}, I_{max Esp27} = 1830 \times 2 = 3660 \text{ A}$$

Pour le couplage secondaire « triangle parallèle »,

Q31. Proposer un schéma du montage.

Pour ce montage on limite le courant en ligne à 14 800 A, donner :

- ⇒ la tension secondaire entre phase minimum
- ⇒ la tension secondaire entre phase maximum
- ⇒ Le courant maximum par phase au secondaire pour U_{2mini}
- ⇒ Le courant maximum par phase au secondaire pour U_{2max}
- ⇒ La tension secondaire à partir de laquelle on limite le courant secondaire

$$\text{La tension secondaire entre phase minimum } U_{2miniTp} = 100 \text{ V}$$

$$\text{La tension secondaire entre phase maximum } U_{2maxTp} = 200 \text{ V}$$

$$\text{Le courant maximum par phase au secondaire pour } U_{2miniTp},$$

$$I_{max Ep1} = 3660 \times 4 \times 1,732 = 25357 \text{ A}$$

$$\text{Le courant maximum par phase au secondaire pour } U_{2maxTp},$$

$$I_{max Ep27} = 1830 \times 4 \times 1,732 = 12678 \text{ A}$$

$$\text{La tension secondaire à partir de laquelle on limite le courant secondaire, } U'_{2maxTp} = 171 \text{ V}$$

Q32. Si la fabrication du produit réfractaire impose un courant de 10 000 A dans les électrodes et une tension entre les électrodes de 253 V, quel couplage doit-on choisir ?

Pour obtenir un courant de 10000 A dans les électrodes et une tension entre les électrodes de 253 V, il faut choisir le couplage étoile parallèle.

Q33. Calculer l'impédance ramenée au primaire mini et max selon le réglage du régleur et selon le mode de couplage.

Proposer des essais pour déterminer ces impédances.

Des essais à vide et en court circuit pour les différentes positions du réglage et ceci pour les différents modes de couplage permettent de séparer les impédances primaires et secondaires afin de déterminer les impédances ramenées au primaire.

A6 Étude du pré dimensionnement des conducteurs d'alimentation des électrodes

A6.1 Dimensionnement des tubes de cuivre

Q34. L'effet de peau est défini par la formule suivante :

$$\delta = \sqrt{\frac{\rho}{\pi * \mu_0 * \mu_r * f}}$$

Rappeler à quoi correspond l'effet de peau et calculer l'épaisseur de peau d'un tube à 20°C et à 40°C.

Montrer comment évolue l'épaisseur de peau avec la température.

Justifier l'épaisseur maximale du conducteur choisie par le constructeur.

La perméabilité magnétique du vide est de $4 \times \pi \times 10^{-7}$

La résistivité du cuivre utilisé est de $1,72 \times 10^{-8} \Omega.m$ à 20°C

L'épaisseur de peau est de 9,3 mm

La résistivité du cuivre utilisé est de $1,85 \times 10^{-8} \Omega.m$ à 40°C

L'épaisseur de peau est de 9,68 mm

Quand la température augmente l'épaisseur de peau augmente

L'épaisseur retenue par le constructeur est standard et tient compte des contraintes mécaniques et thermiques

Q35. Pour une densité de courant dans le tube égale à 20 fois celle dans l'électrode et une épaisseur du tube de 15 mm, calculer les diamètres intérieur et extérieur du tube de cuivre nécessaire.

La densité dans l'électrode est de 0,198 A/mm²

La densité dans le tube est de 4 A/mm²

Connaissant l'épaisseur et la section on peut écrire ;

$$S = \pi \times Ra^2 - \pi \times Rb^2 = \frac{14000}{4} = 3500 \text{ mm}^2$$

$$Ra^2 - Rb^2 = 1125 \text{ mm}^2 \text{ et } Ra - Rb = 15 \text{ mm d'où } Ra = 45 \text{ mm } Rb = 30 \text{ mm}$$

diamètre extérieur $\phi_e = 90 \text{ mm}$ et diamètre intérieur $\phi_i = 60 \text{ mm}$

Q36. Calculer la résistance du tube par unité de longueur.

$$\text{Résistance du tube par unité de longueur } R_u = \frac{\rho}{S} = 5 \times 10^{-6} \Omega m^{-1}$$

Q37. Si on néglige l'effet de peau, quel diamètre de conducteur de cuivre plein aurait t-on pu choisir ? (On suppose pour cette question une densité de courant de 4 A/mm²).

$$\text{Si on néglige l'effet de peau, } S = \pi \times Rc^2 = \frac{14000}{4} = 3500 \text{ mm}^2$$

$$\text{Le diamètre du conducteur est } \phi_c = 2 \times Rc = 2 \times \sqrt{\frac{S}{\pi}} = 66,7 \text{ mm}$$

Calculer la valeur moyenne de la densité de courant dans l'épaisseur de peau avec $J_0 = 10,5 \text{ Amm}^{-2}$.

Si on suppose que 82% du courant passe dans l'épaisseur de peau, vérifier que la densité de courant moyenne est cohérente.

$$J_{(z)} = J_0 \times e^{-z/\delta}$$

Valeur moyenne de $J_{(z)}$ entre 0 et δ : $J_{\text{moy}} = \frac{1}{\delta} \int_0^{\delta} J_0 \times e^{-\frac{z}{\delta}} \times dz = -J_0 \times \left[e^{-\frac{z}{\delta}} \right]_0^{\delta} = 6,67 \text{ A} \cdot \text{mm}^{-2}$

Section de peau $S_p = \pi \times (R^2 - (R - \delta)^2) = \pi \times (33,3^2 - (33,3 - 9,3)^2) = 1674 \text{ mm}^2$

$I_p = 11200 \text{ A}$ d'où $J' = \frac{11200}{1674} = 6,69 \text{ A} \cdot \text{mm}^{-2}$

En utilisant la formule de Levasseur ci-dessous calculer la résistance par unité de longueur du conducteur et la comparer à la résistance par unité de longueur du tube choisi par le constructeur de diamètre intérieur de 70 mm et diamètre extérieur de 100 mm.

Conclure sur le choix du constructeur.

$$K_1 = \sqrt[6]{\left(\frac{3}{4}\right)^6 + \left(\frac{3500}{209,2 \times 9,3}\right)^6} + 0,25 = 1,8 + 0,25 = 2,05$$

$$R_{a1} = 2,25 \times R_{u1} = 2,25 \times 5 \times 10^{-6} = 11,25 \times 10^{-6} \Omega \text{m}^{-1}$$

$$K_2 = \sqrt[6]{\left(\frac{3}{4}\right)^6 + \left(\frac{4005}{314 \times 9,3}\right)^6} + 0,25 = 1,37 + 0,25 = 1,62$$

$$R_{a2} = 1,62 \times R_{u2} = 1,62 \times 4,37 \times 10^{-6} = 7,07 \times 10^{-6} \Omega \text{m}^{-1}$$

Pour une section de cuivre légèrement plus grande (+14%) mais une constitution complètement différente, le constructeur a réduit de 37% les pertes supplémentaires.

A6.2 Dimensionnement des câbles souples

Q38. Sachant que le courant maximal admissible est de 14 000 A, déterminer la section de cuivre des torons, le nombre de conducteurs pour chaque toron et le nombre de couche de conducteurs dans chaque toron.

Déterminer le diamètre réel d'un toron en tenant compte d'un foisonnement des conducteurs de 10%.

La section de cuivre totale du câble est $S_c = 14000 / 4 = 3500 \text{ mm}^2$;

La section de cuivre d'un toron est $S_t = 500 \text{ mm}^2$

La section de cuivre d'un conducteur est $S_{co} = 0,693 \text{ mm}^2$

Le nombre de conducteur est de $N_{co} = 721$ conducteurs

Si les conducteurs sont uniformément répartis sur les n couches

$$N_{co} = 1 + 6 + 12 + 18 + 24 + \dots + 6 \times n$$

$$N_{co} = 1 + 6 \times (1 + 2 + 3 + \dots + n) = 1 + 6 \times (n / 2) \times (n + 1) = 1 + 3 \times n \times (n + 1)$$

$$N_{co} = 1 + 3 \times n^2 + 3 \times n = 721 \text{ d'où } n = 15 \text{ couches}$$

On retient 15 couches.

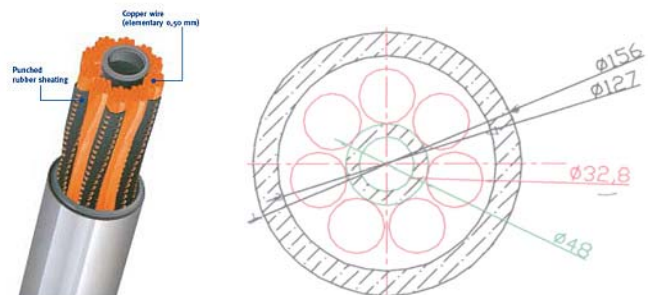
Soit Φ_{co} , le diamètre d'un conducteur. Le diamètre réel du câble est $\Phi_c = \Phi_{co} + n \times 2 \times \Phi_{co}$

$$\Phi_c = 1,1 \times 31 \times 0,95 = 32,4 \text{ mm}$$

Q39. Proposer une organisation interne du câble et calculer le diamètre maximum du conduit de refroidissement en tenant compte d'un foisonnement des torons de 20%.

Le diamètre maximum disponible est :

$$\Phi_{cr} = 127 - 2 \times 1,2 \times (32,4) = 49,2 \text{ mm}$$



Q40. Quel doit être la qualité du fluide caloporteur ?

Calculer les pertes par effet joule dans un câble et justifier le rôle du refroidissement, On suppose que toute l'énergie dissipée par unité de longueur de câble est évacuée par le fluide caloporteur. Écrire l'équation de l'égalité des énergies et en déduire le débit d'eau nécessaire pour que l'élévation de la température de l'eau ne dépasse 0,5°C par mètre (tous les autres échanges thermiques sont considérés comme négligeables).

Le fluide caloporteur doit être traité contre le calcaire et les micros algues qui viennent boucher les canalisations.

Les pertes par effet Joule dans un câble sont :

$$P_{jr} = \frac{\rho \times L}{S} \times I^2 = \frac{1,85 \times 10^{-8} \times 6}{3500 \times 10^{-6}} \times 14000^2 = 6,21 \text{ kW}$$

Il est impératif de refroidir le câble pour évacuer cette énergie qui contribue à élever la température du câble donc à augmenter sa résistance.

$$\text{Égalité des énergies: } dW_e = \frac{\rho \times L}{S} \times I^2 \times dt = dW_{th} = dm \times c_e \times \Delta\theta = \rho_e \times dV \times c_e \times \Delta\theta$$

$$\frac{\rho \times L}{S} \times I^2 = \rho_e \times \frac{dV}{dt} \times c_e \times \Delta\theta = \rho_e \times Q \times c_e \times \Delta\theta$$

$$Q = \frac{\rho_{40} \times I^2}{S \times \rho_e \times c_e} \times \frac{L}{\Delta\theta} = \frac{1,85 \times 10^{-8} \times (14 \times 10^3)^2 \times 1}{3500 \times 10^{-6} \times 10^3 \times 4,18 \times 10^3 \times 0,5} = 4,95 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

Il faut un débit minimum de $Q = 1,78 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$

Q41. En quoi cette solution facilite t-elle la réalisation du circuit de refroidissement ?

Faire un schéma du circuit électrique et un schéma du circuit hydraulique.

Calculer dans ce cas les nouvelles pertes joules et le débit d'eau nécessaire, on se place dans les mêmes conditions que la question précédente. Conclure sur la solution retenue.

Cette solution facilite la réalisation du circuit de refroidissement car l'arrivée et le départ du circuit d'eau sont au même endroit et plus loin du four.

Les 2 câbles sont en parallèles et les circuits d'eau sont en série.

Pertes Joule dans ce cas, on suppose que le courant se répartit en 2 courants de 7500 A.

La résistance d'un câble est :

$$R_{11} = \frac{\rho \times L}{S} = \frac{1,85 \times 10^{-8} \times 6}{2500 \times 10^{-6}} = 4,44 \times 10^{-5} \Omega$$

Les pertes d'un câble sont :

$$P_{jr21} = \frac{\rho \times L}{S} \times I^2 = \frac{1,85 \times 10^{-8} \times 6}{2500 \times 10^{-6}} \times 7000^2 = 2,17 \text{ kW}$$

Les pertes totales dans les 2 câbles : $P_{jr2t} = 4,35 \text{ kW}$

Le débit est calculé pour une longueur de câble de 12 m donc la température peut s'élever de 6°C entre l'entrée et la sortie.

$$Q' = \frac{P_{jr2t}}{\rho_e \times c_e} \times \frac{1}{\Delta\theta} = \frac{4,35 \times 10^3}{10^3 \times 4,18 \times 10^3 \times 6} = 1,73 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

Il faut un débit minimum de $Q = 0,62 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. Cette solution permet de limiter le débit, les pertes et la résistance équivalente des câbles, elle entraînera un surcoût.

EXPLOITATION PÉDAGOGIQUE

Q42. Proposer quatre technologies de capteur de courant qui peuvent être utilisées pour mesurer ce type de courant et dresser un tableau comparatif des performances de ce type de capteur.

Le shunt, le transformateur de courant, le capteur à effet Hall et la sonde de Rogowski.

Q43. En utilisant 3 de ces technologies proposer un montage pour mettre en évidence la technologie la mieux adaptée pour mesurer le courant absorbé par le four qui permettrait de délivrer une tension image du courant comprise entre 0 et 10 V pour un courant variant de 0 à 14 000 A.

Proposer un montage avec les mêmes formes de courant et de tension avec des lampes à arc.

Le shunt ne permet pas d'isolation galvanique entre la puissance et le signal de mesure.
Faire des relevés avec les autres capteurs de la question Q42.

CORRECTION - PARTIE B

Étude du transfert des dalles à la sortie de la cuisson

B1 Analyse du suivi d'une affaire

Q44. Rappeler les 6 points importants du déroulement d'une telle affaire et donner les tâches à effectuer pour chaque étape. Le document DTB1, du référentiel du BTS électrotechnique, rappelle les activités professionnelles et les tâches liées à une telle affaire.

Les 6 points importants du déroulement d'une telle affaire sont :

Étude générale et de délai	T11 à T16
Réalisation des équipements	T22, T23, T25, T26
Démontage de l'ancien système et montage du nouveau	T25, T26
Réglages et essais sur le site	T51 à T55
Fourniture des dossiers	T14, T71
Suivis	T74, T75, T76

Q45. Les travaux ne peuvent s'effectuer que durant la période de fermeture estivale. Dans ce cas quelle procédure temporelle est obligatoire pour ce genre de projet afin d'éviter les indemnités de retard ?

Il faut établir un calendrier général prévisionnel qui indique les étapes du projet et les délais pour les réaliser. Utiliser un diagramme Pert. Envisager un travail en 2 x 8 h ou 3 x 8 h et un travail le week-end.

EXPLOITATION PÉDAGOGIQUE

Q46. Proposer le plan du cahier des charges à remettre aux étudiants ainsi que la répartition des tâches entre étudiants.

Proposition de plan de cahier des charges
Répartition des tâches entre étudiants

- 1-Présentation générale du problème
 - ☞ Présentation des partenaires
 - ☞ Nature du besoin
 - ☞ Pérennité du produit
 - ☞ Produits équivalents
 - ☞ Projet
 - ☞ Equipement:
 - ☞ Prestations
 - ☞ Coût:
 - ☞ Environnement
 - ☞ Expression fonctionnelle du besoin
 - ☞ Limite du cahier des charges
- 2-Agencement des procédés élémentaires
 - ☞ Évaluation du problème posé
 - ☞ Principe des solutions envisagées
 - ☞ Domaine technologique d'application
- 3-Analyse structurelle
 - ☞ Description de l'installation
 - ☞ Description des constituants à intégrer sur l'installation
- 4-Analyse temporelle
 - ☞ Description temporelle du fonctionnement demandé
 - ☞ Description des contraintes liées au cahier des charges
- 5-Documents liés à l'affaire

Tâches		Étudiant 1	Étudiant 2	Étudiant 3	total
F1 Etude Technique et Economique					
T11	Analyser le CDC et les appels d'offre				
T12	Contribuer à l'analyse fonctionnelle				
T13	Concevoir des solutions techniques et des procédures				
T14	Réaliser les dossiers techniques de fabrication et d'exécution				
T15	Elaborer une offre adaptée au cahier des charges				
T16	Analyser les causes d'un dysfonctionnement				
T17	Contribuer à la conception de la procédure de test				
T18	Répondre à un besoin de formation				
F2 Réalisation exécution et industrialisation					
T21	Contribuer au développement du produit				
T22	Adapter les solutions techniques				
T23	Régler les paramètres et mettre au point le processus de fabrication				
T24	Proposer des améliorations de procédé et d'organisation				
T25	Réaliser un ouvrage, un équipement ou un produit				
T26	Appliquer les textes administratifs et réglementaires				
F3 Planification suivi technique maîtrise des coûts					
T31	Programmer et assurer le suivi de la réalisation et des essais				
T32	Assurer le suivi de l'ensemble du cycle d'achat				
T33	Organiser l'ordonnancement, la logistique et la gestion des flux				
T34	Préparer, planifier l'intervention				
T35	Suivre les coûts, les délais et la qualité de la réalisation				
T36	Rechercher et décider des recours à la sous-traitance				
T37	Fournir un appui technique aux opérateurs de fabrication				
F4 Animation coordination d'équipe					
T41	Assurer une responsabilité hiérarchique				
T42	Assurer une gestion des ressources humaines				
T43	Animer des groupes de travail dans le cadre d'une procédure qualité				
T44	Accueillir des intervenants sur le chantier				
T45	Coordonner des actions de formation				
T46	Participer à l'animation du réseau de distributeur d'installateurs et de BE				
F5 Essais mise en service contrôle					
T51	Contrôler la conformité d'un produit				
T52	Suivre les indicateurs d'assurance qualité				
T53	Réaliser les essais et les mesures nécessaires à une qualification				
T54	Effectuer la mise en service				
T55	Procéder à la réception avec le client				
F6 Maintenance SAV					
T61	Organiser les interventions de maintenance, locales ou à distance				
T62	Réaliser les réglages, corrections, expertises et dépannages				
F7 Relations clients fournisseurs					
T71	Conseiller techniquement le client				
T72	Collaborer avec les fournisseurs pour la conception				
T73	Participer aux négociations avec les fournisseurs et le client				
T74	Informier le client sur l'état d'avancement des travaux				
T75	Former le client à la prise en main et au dépannage du 1er niveau				
T76	Animer des réunions ou intervenir dans des conférences techniques				

B2 Étude de la solution existante du mouvement de translation du pont

B2.1 Étude de la chaîne cinématique

Q47. D'après les caractéristiques (documents DTB2 et DTB5), déterminer les valeurs des vitesses linéaires de translation TPV, PV_{minimum} et GV du chariot.

$N_{TPV} = 1440 \text{ tr} \times \text{mn}^{-1}$ - Réduction de $1/15 \times 1/25$ - $N_{STPV} = 3,84 \text{ tr} \times \text{mn}^{-1}$
 1 tour correspond au nombre de dents multiplié par le pas, soit $25 \times 20 = 500 \text{ mm}$
 $V_{STPV} = 1920 \text{ mm} \times \text{mn}^{-1}$ soit $V_{STPV} = 32 \text{ mm} \times \text{s}^{-1}$ $V_{STPV} = \mathbf{0,032 \text{ m} \times \text{s}^{-1}}$

$N_{GV} = 1300 \text{ tr} \times \text{mn}^{-1}$ - Réduction de $1/15$ - $N_{SGV} = 86,66 \text{ tr} \times \text{mn}^{-1}$
 $V_{SGV} = 43333 \text{ mm} \times \text{mn}^{-1}$ soit $V_{SGV} = 722 \text{ mm} \times \text{s}^{-1}$ $V_{SGV} = \mathbf{0,722 \text{ m} \times \text{s}^{-1}}$

$N_{PV} = N_{GV} / 6,5 = 200 \text{ tr} \times \text{mn}^{-1}$ - Réduction de $1/15$ - $N_{SGV} = 13,33 \text{ tr} \times \text{mn}^{-1}$
 $V_{SGV} = 6666 \text{ mm} \times \text{mn}^{-1}$ soit $V_{SGV} = 111 \text{ mm} \times \text{s}^{-1}$ $V_{SGV} = \mathbf{0,111 \text{ m} \times \text{s}^{-1}}$

Q48. À partir des masses en mouvement, déterminer la valeur de l'inertie totale ramenée sur l'arbre du moteur GV.

La masse de l'ensemble mobile est $M = 6000 \text{ kg}$,

La grande vitesse est $V_{SGV} = 0,722 \text{ m} \times \text{s}^{-1}$ pour une vitesse du moteur $N_{GV} = 1300 \text{ tr} \times \text{mn}^{-1}$

L'inertie de la charge ramenée sur l'arbre du moteur est $J_c = M * \left(\frac{V_{sgv}}{\Omega_{gv}} \right)^2 = 0,1688 \text{ kg} * \text{m}^2$

L'inertie du moteur est $J_m = \frac{MD^2}{4}$ avec D diamètre de giration, d'où $MD^2 = 0,274 \text{ kg} \times \text{m}^2$

$J_m = 0,0685 \text{ kg} \times \text{m}^2$

L'inertie totale est $J_t = J_c + J_m = \mathbf{0,237 \text{ kg} \times \text{m}^2}$

Q49. On considère que la caractéristique mécanique du moteur est une droite.

Tracer et donner l'équation de la caractéristique mécanique du moteur à partir des données du document DTB5.

$T_m = a \times N + b$. Pour $N = 0$, $T_m = 20 \text{ N.m}$ et pour $N = 1300 \text{ tr} \times \text{mn}^{-1}$, $T_m = 3,5 \text{ N.m}$
 $b = 20 \text{ Nm}$ et $a = -0,0127 \text{ Nm} \times \text{tr}^{-1} \times \text{mn}$ donc $T_m = \mathbf{-0,0127 \times N + 20}$

Q50. On se place dans le cas où l'on n'agit pas sur le ralentisseur et où l'on considère que le couple résistant est constant et égal au couple nominal du moteur à $N = 1300 \text{ tr/mn}$. Donner l'équation de l'évolution de la vitesse du chariot en fonction du temps lors de sa montée en vitesse, de l'arrêt à sa vitesse nominale.

$$J_t * \frac{d\Omega}{dt} = T_m - T_r$$

$$J_t * \frac{2 * \pi}{60} * \frac{dN}{dt} = 0,0127 * N + 20 - 3,5$$

$$1,954 * \frac{dN}{dt} + N = 1300 \text{ soit } N = 1300 * \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \text{ avec } \tau = 1,954 \text{ s}$$

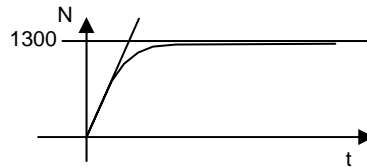
Q51. Tracer la courbe de $N = f(t)$ pendant le démarrage et déduire le temps de mise en vitesse depuis la position arrêt du chariot jusqu'à la vitesse nominale.

Déterminer la distance parcourue pendant ce temps.

Quelle courbe $N = f(t)$ doit-on obtenir pour éviter le balancement de la charge ?

Expliquer comment, sur la solution existante, cet inconvénient avait été supprimé.

Tracer la courbe de $N = f(t)$ pendant le démarrage



Le temps de mise en vitesse depuis la position arrêt du chariot jusqu'à la vitesse nominale est $T_d = 5 \times \tau = 9,77s$

La distance parcourue pendant ce temps est L_d .

$$L_d = \int_0^{5\tau} v l * dt = 0,722 \int_0^{5\tau} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) * dt = 4 * \tau * 0,722 = 5,64m$$

La courbe $N = f(t)$ doit être une courbe en S pour obtenir le moins de balancement.

Sur l'ancien système, l'accélération donc la montée en vitesse est contrôlée par le ralentisseur.

B2.2 Étude de la variation de vitesse

Q52. Rappeler le principe de fonctionnement du ralentisseur. Préciser les rôles du ralentisseur TELMA dans cette machine. Quels sont les inconvénients d'une telle solution ? (Documents DTB3 et DTB4).

Le ralentisseur est constitué d'un disque plein (volant n°84 sur Doc DTB3) qui se déplace dans un champ fixe créé par la bobine de l'inducteur (bobine 86 sur Doc DTB3). Ce disque est donc le siège de courant de Foucault qui s'opposent à la cause qui leur donne naissance c'est-à-dire la rotation. Plus le courant de l'inducteur est importante plus le couple de ralentissement est important.

Dans cette machine asynchrone à cage résistive (voir caractéristique mécanique), le ralentisseur crée donc un couple résistant supplémentaire qui permet de contrôler le démarrage et d'obtenir différentes vitesses de rotation.

Les inconvénients d'une telle solution sont l'encombrement du moteur et les pertes supplémentaires générées d'où un surdimensionnement du moteur et un surcoût.

Q53. À partir des documents DTB2 à DTB6, décrire le principe retenu sur la solution existante pour obtenir les trois vitesses TPV, PV et GV.

La Très Petite Vitesse est obtenue avec un moteur asynchrone de 550 W, un réducteur supplémentaire de $1/25^{\text{ème}}$ et un embrayage magnétique.

La Grande Vitesse et la Petite Vitesse sont obtenues avec le moteur frein ralentisseur de 2,2 kW et le réducteur de rapport $1/15^{\text{ème}}$.

B3 Étude de la nouvelle motorisation du mouvement de translation

B3.1 Choix de la nouvelle motorisation

Q54. Choisir le réducteur à associer à ce moteur pour conserver les performances de l'ancien système. Utiliser le document DTB9.

Donner la plage de variation de vitesse du moteur.

La vitesse linéaire est de $0,7 \text{ m} \times \text{s}^{-1}$; compte tenue de la chaîne, la vitesse de rotation de sortie de l'arbre est $v_s = 84 \text{ tr} \times \text{mn}^{-1}$.

On choisit le réducteur Orthobloc OT 2203, sa vitesse de sortie est de $90,6 \text{ tr} \times \text{mn}^{-1}$.

Le rapport de réduction est de type 16 mais pour ce réducteur le rapport est 15,8.

Calcul des vitesses :

$v_{sGV} = 0,700 \text{ m} \times \text{s}^{-1}$	$N_{sGV} = 84,00 \text{ tr} \times \text{mn}^{-1}$	$N_{mGV} = 1327,20 \text{ tr} \times \text{mn}^{-1}$
$v_{sPV} = 0,110 \text{ m} \times \text{s}^{-1}$	$N_{sPV} = 13,20 \text{ tr} \times \text{mn}^{-1}$	$N_{mPV} = 208,56 \text{ tr} \times \text{mn}^{-1}$
$v_{sTPV} = 0,032 \text{ m} \times \text{s}^{-1}$	$N_{sTPV} = 3,84 \text{ tr} \times \text{mn}^{-1}$	$N_{mTPV} = 60,67 \text{ tr} \times \text{mn}^{-1}$

- Q55. Rappeler l'équation de la caractéristique mécanique du moteur dans la zone de fonctionnement stable et tracer les caractéristiques mécaniques passant par les points de fonctionnement correspondant aux vitesses GV , PV_{mini} et TPV . Donner les 3 fréquences d'alimentation du moteur qui permettent d'obtenir les vitesses précédentes.**

Commenter le choix du moteur retenu si l'accélération est limitée à $0,18 \text{ m} \times \text{s}^{-2}$

$$T_m = -a \times N + b \times f \text{ avec } a = K \times \Phi^2 \text{ et } b = K \times \Phi^2 / p$$

Φ : flux sous un pôle et p : nombre de paires de pôles.

Si le flux est constant les droites sont parallèles et si le couple est constant la variation de vitesse entre le fonctionnement à vide et en charge est constante.

Pour le point nominal $N_{mn} = 1440 \text{ tr} \times \text{mn}^{-1}$, $T_{mn} = 9,7 \text{ Nm}$ et $f = 50 \text{ Hz}$, la variation de vitesse entre le fonctionnement à vide et en charge est de $60 \text{ tr} \times \text{mn}^{-1}$.

Donc pour $T_m = 3 \text{ Nm}$ la variation de vitesse, pour $f = 50 \text{ Hz}$, est $\Delta N_m = 18,55 \text{ tr} \times \text{mn}^{-1}$

D'après nos hypothèses, cette variation est donc constante quelque soit f .

Pour la vitesse **GV** ; $N_{mGVs} = 1346 \text{ tr} \times \text{mn}^{-1}$ et $f_{GV} = 44,86 \text{ Hz}$

Pour la vitesse **PV** ; $N_{mPVs} = 227,1 \text{ tr} \times \text{mn}^{-1}$ et $f_{PV} = 7,57 \text{ Hz}$

Pour la vitesse **TPV** ; $N_{mTPVs} = 79,2 \text{ tr} \times \text{mn}^{-1}$ et $f_{TPV} = 2,64 \text{ Hz}$

Le moteur retenu est surdimensionné pour le fonctionnement en régime stabilisé mais dans les phases de démarrage, si l'accélération est limitée à $0,18 \text{ m} \times \text{s}^{-2}$, le couple accélérateur

$$\text{est } T_a = J_t' \times \frac{2 \times \pi}{60} \times \frac{1327}{0.7} \times 0,18 = J_t' \times 35,73$$

Avec $J_t' = J_c + J_m' = 0,1688 + 0,0049 = 0,1737 \text{ kg} \times \text{m}^2$ d'où $T_a = 6,2 \text{ Nm}$

Pendant les phases de démarrage le couple moteur est égal à $T_m = 9,2 \text{ Nm}$

- Q56. Donner les références du variateur à associer au moteur (documents DTB10 et DTB11). Expliquer le fonctionnement du module de freinage.**

On choisit le variateur UMV4301 calibre 2,5T

Le module de freinage est constitué d'une résistance extérieure et d'un transistor de commande.

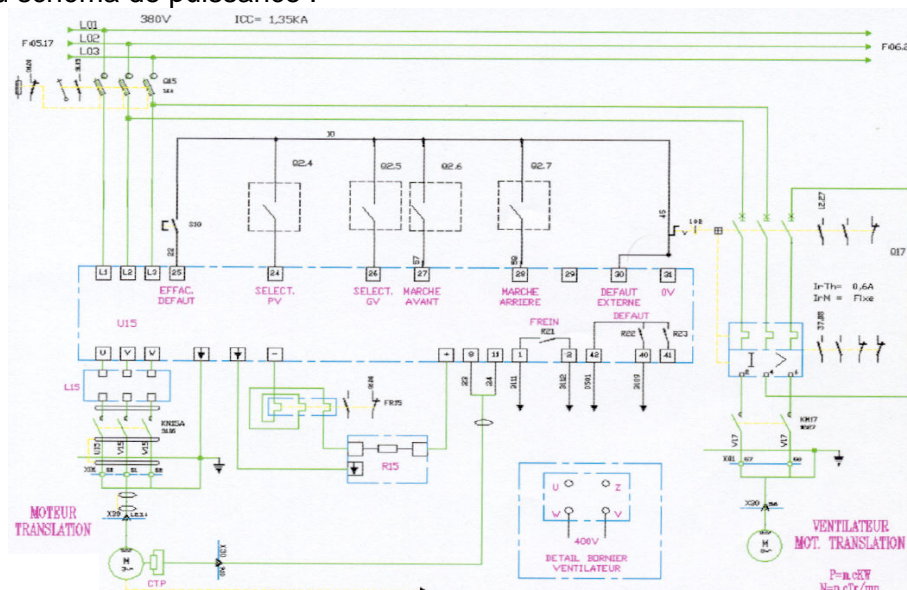
Le transistor et la résistance en série sont connectés sur le bus continu du variateur. La commande du transistor se fait en fonction de la tension du bus continu V_{bus} .

Si $V_{bus} > V_{bush}$ le transistor conduit et l'énergie est dissipée dans la résistance.

Si $V_{bus} < V_{busb}$ le transistor ne conduit pas.

- Q57. Réaliser le nouveau schéma de puissance à l'aide des documents DTB12 et DTB13. Toutes les fonctions et sécurités présentes sur les anciens schémas devront être conservées et si nécessaire adaptées.**

Nouveau schéma de puissance :



EXPLOITATION PÉDAGOGIQUE

Q58. Proposer à partir du schéma équivalent pour une phase du moteur, une démonstration rapide de l'équation de la caractéristique mécanique du moteur et justifier la condition de la question Q55 concernant le flux.

Proposer un essai de systèmes permettant de relever la caractéristique mécanique du moteur pour 3 fréquences différentes.

$$g * T_m * \Omega_s = 3 * R_2 * I_2^2$$

$$I_2^2 = \frac{g^2 * (m * E_1)^2}{R_2^2 + (g * X_2)^2} \text{ si le glissement est faible } I_2^2 = \frac{g^2 * (m * E_1)^2}{R_2^2}$$

$$T_m = \frac{3 * R_2 * p * g * (m * E_1)^2}{2 * \pi * f * R_2^2} = \frac{3 * p * m^2 * g * (E_1)^2}{2 * R_2 * \pi * f} = \frac{3 * p^2 * m^2}{2 * \pi * R_2} * \left(\frac{E_1}{f}\right)^2 * (n_s - n)$$

$$T_m = -K * \Phi^2 * n + K * \Phi^2 * \frac{f}{p} = -a * n + b * f$$

Si le flux dans la machine est constant, c'est-à-dire que le rapport E_1 / f est constant, alors les coefficients a et b sont constants.

Pour 3 valeurs de la fréquence, il faut relever le couple, avec un capteur de couple si le système en dispose, et la vitesse du moteur pour différentes charges.

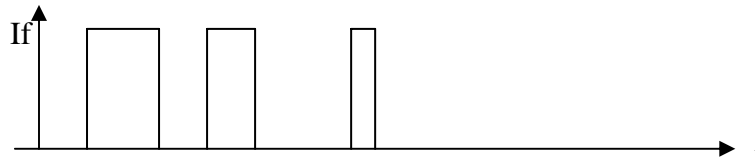
Si on ne dispose pas de capteur de couple on peut mesurer la puissance absorbée par le moteur entre le fonctionnement à vide et en charge et estimer par les mesures appropriées les pertes dans la machine. La puissance utile se déduit des relevés et le couple se calcule à partir des valeurs obtenues.

Q59. Les étudiants ont relevé le courant dans la résistance de freinage et déduisent que seulement une puissance moyenne de 10 W a été dissipée dans cette résistance pendant la phase de freinage. Cette résistance peut dissiper au maximum 50 W.

Donner l'allure du courant qu'ils ont pu relever et justifier leur calcul.

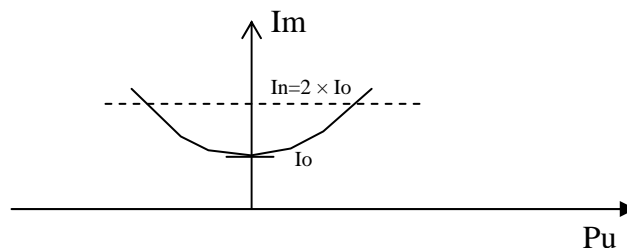
Donner l'allure de la courbe du courant efficace du moteur en fonction de la puissance utile. Comment fonctionne la machine asynchrone pendant le freinage?

L'allure du courant est la suivante:



Le rapport cyclique pendant la phase de freinage n'est pas constant. Il faut calculer la valeur moyenne sur la durée du freinage.

Allure du courant dans la machine en fonction de P_u (voir diagramme du cercle)



La machine fonctionne en génératrice asynchrone.

B3.2 Choix du câble du moteur de translation

Q60. D'après les caractéristiques de l'installation et en prenant une densité de courant de 4 A/mm^2 , déterminer la section normalisée et le nombre, des conducteurs de puissance du câble.

Calculer la chute de tension induite par ce câble et conclure (prendre, $\rho = 1,9 \times 10^8 \Omega \cdot \text{m}^{-1}$).

Choisir le câble ÖLFLEX, sur le document DTB14, adapté à l'alimentation du nouveau moteur frein et donner la référence du câble retenu.

Quels sont les avantages de ce type de câble ?

$J = 4 \text{ A} \times \text{mm}^{-2}$ donc $S = 3,5 / 4 = 0,875 \text{ mm}^2$. On choisit la section normalisée de $1,5 \text{ mm}^2$.

4 conducteurs de $1,5 \text{ mm}^2$ (PE + 3 Ph) pour l'alimentation du moteur

2 conducteurs de $S_f = 0,75 \text{ mm}^2$ pour le frein ($I_f = 0,45 \text{ A}$)

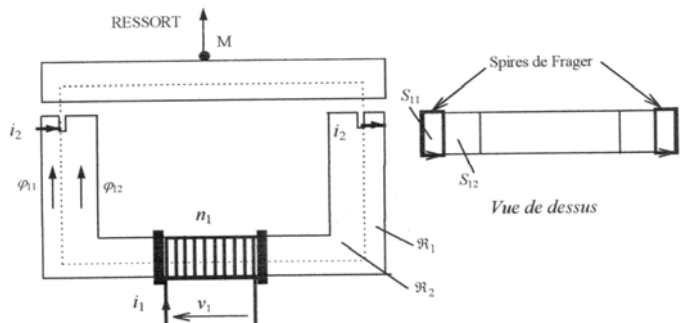
2 conducteurs de $S_s = 0,75 \text{ mm}^2$ pour la sonde

La résistance pour une phase est de $R_{ph} = \frac{\rho^* l}{S} = 0,38 \Omega$

La chute de tension par phase est de $\Delta V = R_{ph} \times I \times \cos\phi = 1 \text{ V}$, ceci est négligeable.

Q61. Le frein électromagnétique est alimenté en alternatif, il est constitué d'un électroaimant avec 2 spires de Frager. Expliquer le rôle de ces spires et donner une représentation de cet électroaimant.

Les spires de Frager évitent les vibrations de l'électroaimant, elles évitent que la force d'attraction passe par zéro dans le circuit magnétique.



EXPLOITATION PÉDAGOGIQUE

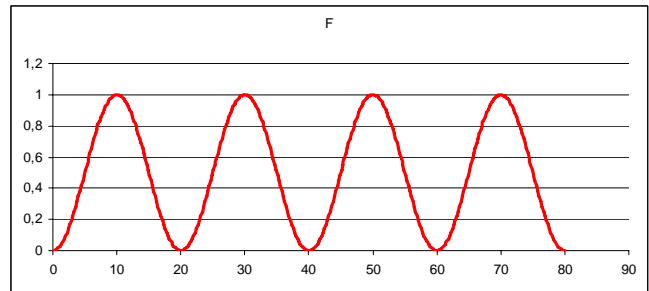
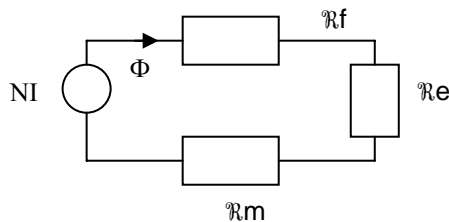
Étude d'un contacteur sans spire de Frager

Q62. Donner l'expression de la réductance du circuit magnétique avec et sans entrefer et écrire la relation d'Hopkinson dans chaque cas.

La force d'attraction s'exprime sous la forme $F = \frac{\phi^2}{2\mu_0 S_2}$, si le courant dans la bobine

est de la forme $i = I_m \times \sin(\omega \times t)$ que peut-on dire de l'évolution de la force dans le temps ? Tracer l'allure de $F(t)$.

$$N * I = (\mathcal{R}_f + \mathcal{R}_e + \mathcal{R}_m) * \Phi$$



Quand l'entrefer est égal à 0, la réductance est nulle.

La force d'attraction passe par 0 puisque le \sin^2 passe par 0, d'où la vibration.

Étude d'un contacteur avec 2 spires de Frager.

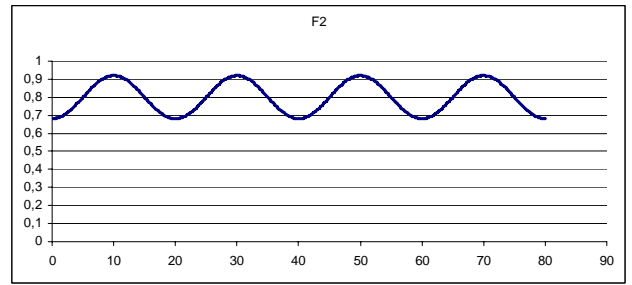
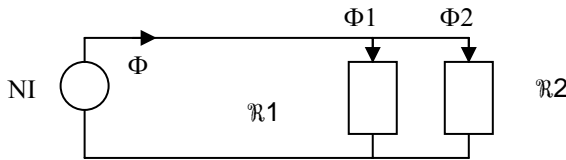
Q63. Représenter le schéma équivalent du nouveau circuit quand l'entrefer est nul, avec Φ_1 le flux dans les spires de Frager et Φ_2 le flux dans le reste du circuit.

Dans les mêmes conditions d'alimentation que la question Q62, la force s'exprime sous la forme $F(t) = A(\sin^2(\omega \times t) + B \sin^2(\omega \times t + \phi))$ mettre cette équation sous la forme

$$\text{suivante } F(t) = A \times \frac{(1+B)}{2} - D \times \cos(2 \times \omega \times t + \Psi).$$

Tracer l'allure de $F(t)$ et en déduire l'intérêt de ces spires.

Schéma équivalent du nouveau circuit quand l'entrefer est nul, avec Φ_1 le flux dans les spires de Frager et Φ_2 le flux dans le reste du circuit.



Dans ce cas la force s'exprime sous la forme

$$F(t) = A(\sin^2(\omega \times t) + B \sin^2(\omega \times t + \varphi))$$

Cette force peut se mettre sous la forme

$$F(t) = A \times \frac{(1+B)}{2} - D \times \cos(2 \times \omega \times t + \Psi)$$

$$\text{avec } \operatorname{tg}(\Psi) = \frac{\sin(2 * \varphi) * \frac{A * B}{2}}{\frac{A}{2} + \frac{A * B}{2} * \cos(2 * \varphi)} \text{ et } D = \frac{\frac{A}{2} + \frac{A * B}{2} * \cos(2 * \varphi)}{\cos(\operatorname{Arctg}(\Psi))}$$

B3.3 Étude de l'alimentation électrique du variateur

Q64. Calculer le facteur de puissance de la charge constituée du moteur et du variateur et indiquer le moyen d'améliorer ce facteur de puissance. Proposer 2 technologies de compensation.

À partir de l'expression générale du facteur de puissance, donner les causes d'un mauvais facteur de puissance.

Le facteur de puissance du moteur au point nominal donné par le constructeur est de 0,8. Comment évolue ce facteur de puissance en fonction de la charge du moteur ?

Donner l'allure de la courbe du facteur de puissance du moteur en fonction de la puissance utile.

$$P_{\text{um}} = 1500 \text{ W} ; P_{\text{am}} = 1500 / 0,8 = 1875 \text{ W} ; P_{\text{ar}} = 1875 / 0,95 = 1973 \text{ W}$$

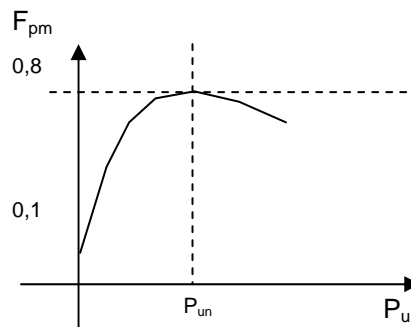
$$S_r = \sqrt{3} \times U_r \times I_r = 2632 \text{ VA d'où } F_{\text{pr}} = 0,75$$

Ce mauvais facteur de puissance est dû à la puissance déformante, c'est-à-dire à la présence d'harmonique de courant.

On peut améliorer ce facteur de puissance avec l'implantation de filtres anti-harmoniques passifs ou actifs du côté réseau.

Le facteur de puissance du moteur évolue de 0,1 à vide à 0,8 à la charge nominale.

Allure de la courbe de $F_{\text{pm}} = f(P_u)$:



Q65. Calculer le taux de distorsion harmonique du courant par rapport au fondamental en utilisant le document DTB15.

Calculer la valeur efficace du courant fondamental.

$$\operatorname{THD}_F = \frac{\sqrt{I_5^2 + I_7^2}}{I_F} * 100 = 100 * \sqrt{(0,8)^2 + (0,6)^2} = 100\%$$

$$I_5 = 0,8 \times I_F \text{ et } I_3 = 0,6 \times I_F \text{ et } I_r = 3,8 \text{ A} = \sqrt{I_F^2 + I_5^2 + I_3^2} = 2 \times I_F \text{ donc } I_F = 1,9 \text{ A}$$

Le circuit de puissance du variateur est composé principalement de : redresseur, circuit intermédiaire avec condensateurs et onduleur de tension triphasé.
50% des pertes dans les câbles sont dues à la présence d'harmoniques de courant.

B4 Automatisation et choix de capteur

B4.1 Choix du capteur de position (Documentation DTB16 et DTB17)

**Q66. Pourquoi ne pas avoir placé directement un codeur sur l'arbre moteur ?
D'après les documents techniques, donner les avantages et les inconvénients des deux types de capteurs proposés sur ces documents pour cette application.**

Si l'on place le codeur directement sur l'arbre moteur on ne peut pas tenir compte des jeux de la chaîne cinématique d'où l'intérêt de mesurer le déplacement réel du chariot.

Codeur incrémental, on perd les informations en cas de coupure.

Codeur analogique, on sait à tout moment où se trouve le chariot.

**Q67. On choisira un capteur de position avec sortie analogique. Donner la résolution du système en fonction du type de sortie analogique retenue.
Donner la référence du capteur choisi.**

La distance est de 4,5 m on choisit un codeur de 5 m de capacité de mesure.

Référence du codeur WS17KT 5000 10V L25.

Pour 10 V on a 10000 points donc 1 point correspond à 1 mV et 1 mV correspond à 0,5 mm.

La précision est de 0,5 mm, elle est le double de celle demandée.

B4.2 Automatisation du déplacement des dalles

Q68. Compléter le GEMMA de l'installation (document réponse DRB1).

GEMMA de l'installation. Voir document réponse DRB1 corrigé.

Q69. Donner l'expansion de la macro étape M1 du GRAFCET de marche automatique de l'installation (document réponse DRB2).

Donner le GRAFCET de sûreté (document réponse DRB2).

Expansion de la macro étape M1 du GRAFCET de marche automatique de l'installation, voir document réponse DRB2 corrigé.

Le GRAFCET de sûreté, voir document réponse DRB2 corrigé.

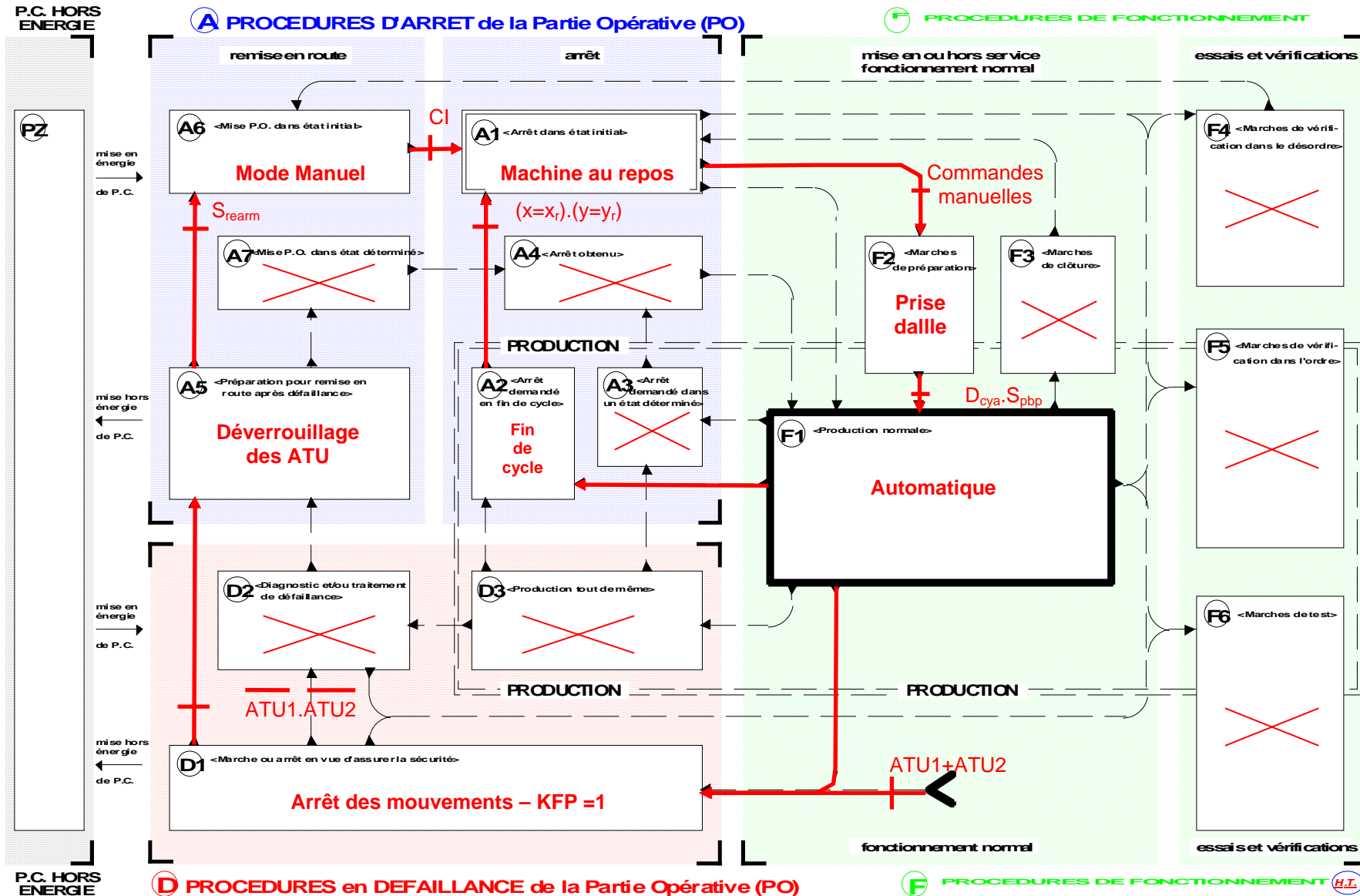
Corrigé du Document Réponse DR B1

GEMMA Guide d'Étude des Modes de Marches et d'Arrêts

ADEPA

LEGENDE
P.O. = Partie Opérative
P.C. = Partie Commande

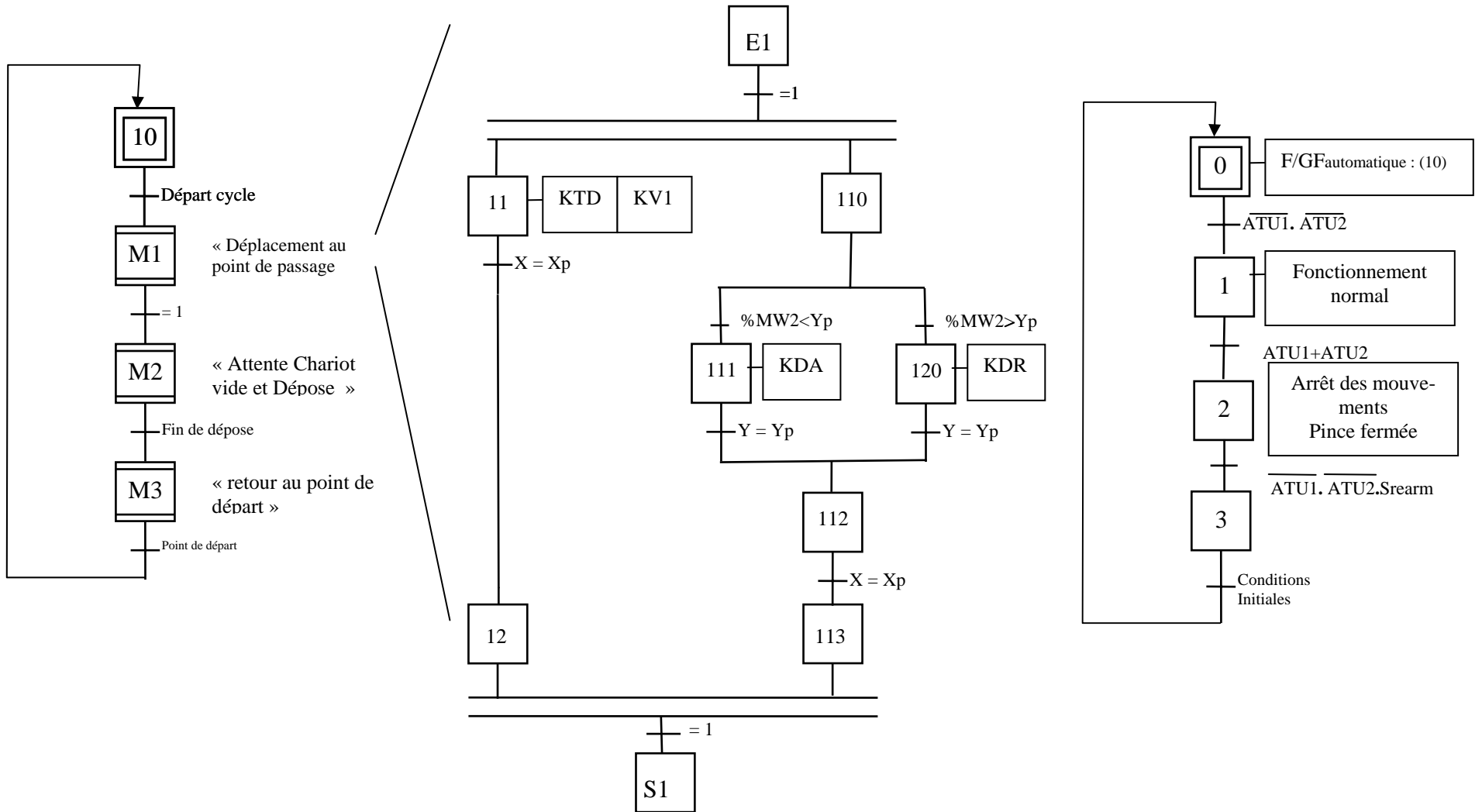
Références de l'équipement



Corrigé du Document Réponse DR B2

GRAFNET DE FONCTIONNEMENT AUTOMATIQUE

Expansion de M1



CORRECTION - PARTIE C

Étude du groupe électrogène de secours de l'alimentation du circuit de refroidissement du four

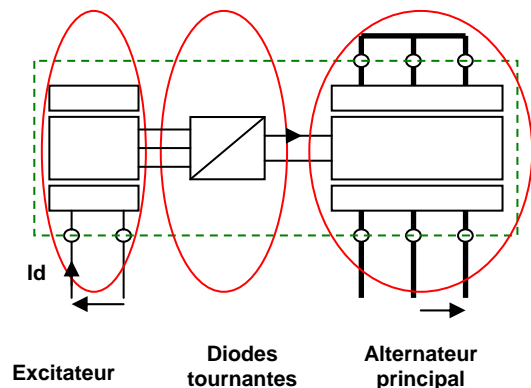
C1 Caractéristiques technologiques du groupe

Q70. Donner le schéma de principe d'un alternateur avec un exciteur sans bague ni balai. Donner les deux types possibles d'excitation de l'exciteur.

Schéma de principe d'un alternateur sans bague ni balais

Les 2 types d'excitation sont les suivants :

- Excitation de type shunt
- Excitation de type compound



Q71. La classe d'isolation de l'alternateur est H, à quoi correspond cette lettre ? L'indice de protection est IP 23, à quoi correspond cet indice ?

La classe d'isolation thermique de l'alternateur est codée par la lettre H. Cela signifie qu'une variation de température de 150°K est autorisée (doc DTC1) puisqu'il s'agit d'un groupe de secours.

et une température maximale au niveau des points chauds de la machine de 180°C.

L'indice de protection est IP 23 :

- ↪ 2, protection contre les corps solides > 12,5 mm
- ↪ 3, protection contre l'eau en pluie jusqu'à 60° de la verticale.

Q72. Le bobinage du stator de l'alternateur principal est du type « bobinage conséquent » avec un pas de 2/3.

À l'aide d'un schéma développé, expliquer ce type de bobinage.

Les 2 bobines successives rencontrées en suivant l'enroulement déterminent des pôles de même nom, il y a une bobine pour 2 pôles et par phase. Les bobinages sont décalés de $(2/3) \times n$ encoches, si n est le nombre total d'encoches, ce qui correspond à un décalage électrique de $2\pi/3$.

L'enroulement par "pôles conséquents" est le plus utilisé en triphasé car les têtes de bobines peuvent être groupées en 2 plans.

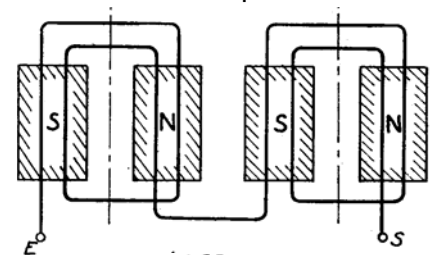
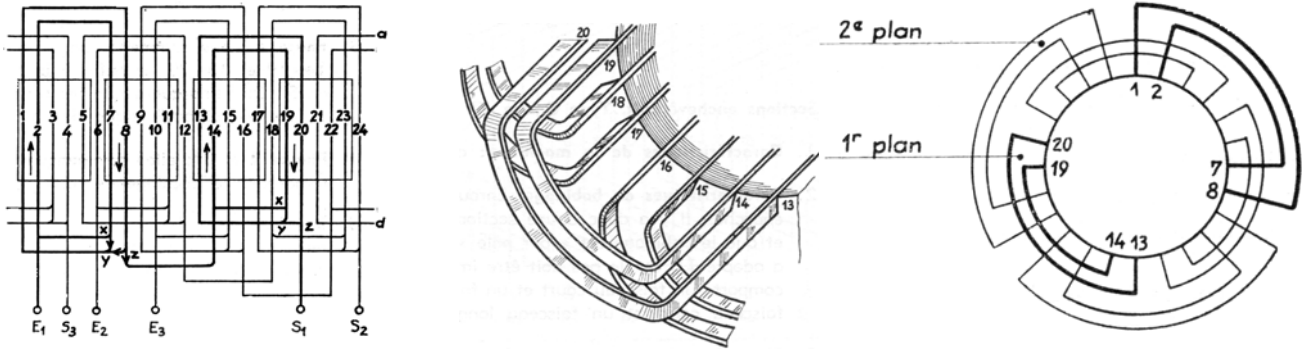


Schéma développé des bobinages pour un alternateur 4 pôles 24 encoches



C2 Étude de l'alternateur

C2.1 Comportement de l'alternateur lors d'un court-circuit triphasé.

Q73. Donner l'allure du courant dans une phase en fonction du temps lors du court-circuit.

Allure du courant dans une phase en fonction du temps lors du court-circuit.

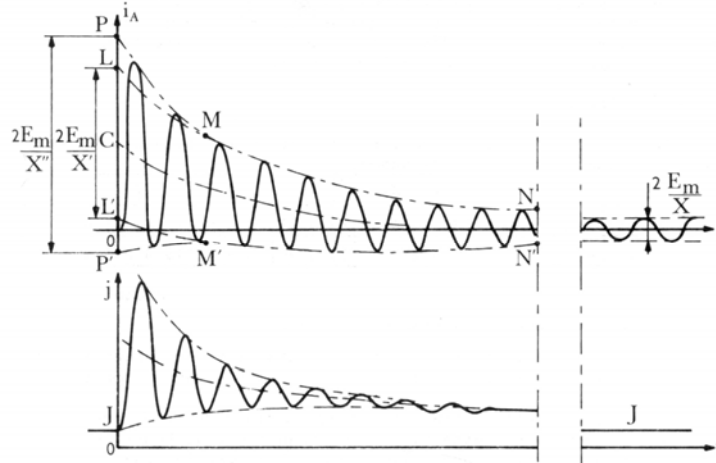


Fig. 22

Q74. Déterminer les caractéristiques du disjoncteur qui permet de protéger cet alternateur en cas de court-circuit à la sortie et la valeur de réglage de son déclencheur.

Au début du court-circuit c'est la réactance subtransitoire qui limite le court-circuit à :

$$I_{cc} = \frac{I_n}{X''_d} = \frac{1862}{15} * 100 = 12413A$$

Au bout de 2 alternances, T''d = 18 ms, c'est la réactance transitoire qui limite le court-circuit

$$I_{cc} = \frac{I_n}{X'_d} = \frac{1862}{27} * 100 = 6896A$$

Le courant nominal du disjoncteur est de 1862 A, son pouvoir de coupure doit être supérieur à 6896 A et sa tension nominale est de 400 V. Il faut que le déclencheur soit réglé à 6800 A.

Q75. Le disjoncteur doit être équipé d'un dispositif de protection contre les courants résiduels limité à 0,5 A.

Choisir le disjoncteur et son dispositif de protections et de mesures sur les documents DTC3 à DTC5.

Donner les réglages des courants du dispositif de protections et de mesures.

On choisit le disjoncteur **NW20** qui a un courant nominal assigné de **I_n = 2000 A**.

Le pouvoir de court-circuit est nettement suffisant : **65 000 A**.

On choisit une unité de contrôle Micrologic 7.0A qui dispose d'une protection différentielle.

Réglages du dispositif de protections et de mesures :

- ↙ Le courant nominal du disjoncteur est de 2000 A
- ↙ Le courant nominal du groupe est 1862 A

- ↙ Le courant de court-circuit du groupe est de $6896 \text{ A} = 3,7 \times I_n$
- ↙ Le courant de réglage est $I_r = I_n \times 0.9 = 1800 \text{ A}$
(Le disjoncteur déclenche entre $1,05 \times I_r$ et $1,2 \times I_r$ = soit entre 1890 A et 2160 A)
- ↙ Le courant de seuil est de $I_{sd} < I_r \times 3 = 5400 \text{ A}$
- ↙ Le courant $I_{\Delta n} = 0,5 \text{ A}$

EXPLOITATION PÉDAGOGIQUE :

Q76. Proposer 2 types de démarreur pour ces pompes en donnant la structure du démarreur retenue avec ses avantages et ses inconvénients.

Démarrage par gradateur triphasé

- ⇒ 2 thyristors tête bêche par phase
- ⇒ variation de la tension d'alimentation du moteur à $f = \text{cte}$
- ⇒ limitation du courant de démarrage, phase de démarrage non réglable.

Démarrage par convertisseur de fréquence

- ⇒ Redresseur filtre onduleur de tension
- ⇒ Variation de la fréquence à flux constant
- ⇒ Grande souplesse de démarrage, coût légèrement plus important

Q77. En fonction des caractéristiques du groupe fournies, évaluer le courant de court-circuit au niveau de l'alternateur.

Le mode d'excitation de cet alternateur est compound, quelle sera la répercussion sur le courant de court-circuit en régime établi ?

Le courant nominal est de 21,6 A et le courant de court-circuit est de 77,6 A pendant la phase transitoire. Avec une excitation de type compound le courant de court-circuit en régime stabilisé est égal au courant de court-circuit transitoire soit 77,6 A.

Q78. Rappeler les trois activités du chantier.

Les trois activités du chantier sont :

- ⇒ Organisation et planification du chantier
- ⇒ Pilotage et réalisation du chantier
- ⇒ Réception et contrôle du chantier

Q79. À partir de la fiche d'évaluation "réception et contrôle du chantier" fournie sur le document DTC7, proposer une fiche de procédure d'essai pour cette activité de chantier.

Définir une procédure pour vérifier l'installation réalisée avant la mise sous tension à la mise sous tension.

Apporter les réglages nécessaires.

Exemple de fiches de procédures :

CONTROLES ET ESSAIS FINALS				B
N° Affaire :	AFFAIRE :			
Identification Chantier :	Cde client :			
Préparation pour contrôles et essais				B1
Opération	NA	effectuée	Observations	
- réglages	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
- ouverture de tous les organes de coupure	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
- préparation à la mise sous tension	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
- prise instruments de contrôles/mesures spécifiques	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
- autre(s)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Contrôles visuels avant mise sous tension				B2
Opération	NA	contrôlée	Observations	
- Préparation pour les contrôles et essais finals.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
- protection contre les contacts directs	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
- chantier	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
- liaisons équipotentielles raccordées	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
- fusibles en place	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
- thermiques réglés	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
- arrêt(s) d'urgence(s) enclenché	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
- couplage adéquate transformateur effectué	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
- raccordement appareillage spécifique	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
- interrupteur(s) de sécurité ouvert(s)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
- câblage	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
- autre(s)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Contrôles et essais à la mise sous tension				B3
Contrôle/Essai	NA	effectué	Observations	
- TENSION D'ALIMENTATION (amont protection générale)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
- TENSION(S) GENEREE(S) PAR L'INSTALLATION	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
- LIAISONS EQUIPOTENTIELLES (mesure U phase/masse)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
- SENS DE ROTATION DES PHASES.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
- CHUTE DE TENSION	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
- ISOLEMENT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
- SENS DE ROTATION MOTEUR	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
- CIRCUITS COMMANDE (logique plan électrique)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
contacts de sécurité	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
unités de commande	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
unités de signalisation	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
tensions ou signaux sur borniers	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
- CONTROLE DES CIRCUITS MESURE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
- CONTROLE FONCTIONNEMENT APPAREILS SPECIFIQUES	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
contrôle et essai des entrées/sorties automate(s)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
contrôle signal pour appareils de mesure	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
- BORNERS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
- AUTRES	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
CQ				
DATE :	VISA :			
NOM :				

C3 Régulation de la tension de l'alternateur

C3.1 Principe et intérêt de ce type d'excitation

Q80 *Quel est le principe utilisé pour cette régulation, s'aider de schémas de principe pour expliquer la solution (donner les organes de puissance qui interviennent dans le régulateur).*

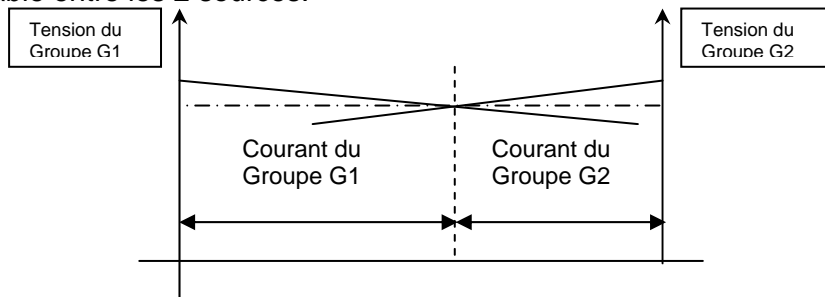
C'est une régulation de type shunt où le courant d'excitation est généré par les 2 bobinages auxiliaires branchés entre X_1 et X_2 et Z_1 et Z_2 .

La composition des courant des enroulements une fois redressés génère une tension aux bornes de l'inducteur qui permet de fixer un plafond de tension.

Pour obtenir une régulation très précise de la tension, une boucle de régulation permet d'adapter le courant inducteur en fonction de la charge à l'aide d'un transistor de puissance.

Q81 *Expliquer par la caractéristique en charge de l'alternateur l'intérêt de ce potentiomètre.*

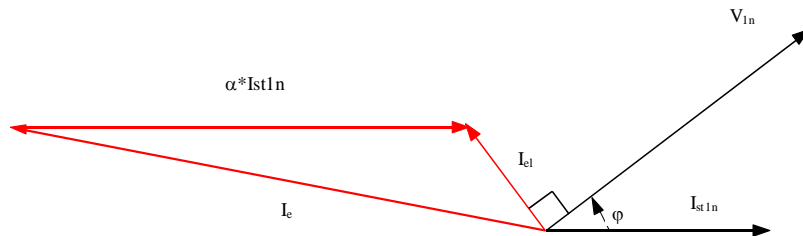
La tension générées par le capteur de courant de marche en parallèle est ajustable par le potentiomètre P1, elle vient fausser la boucle de régulation afin d'obtenir un point de fonctionnement stable entre les 2 sources.



C3.2 Régulateur de tension R449

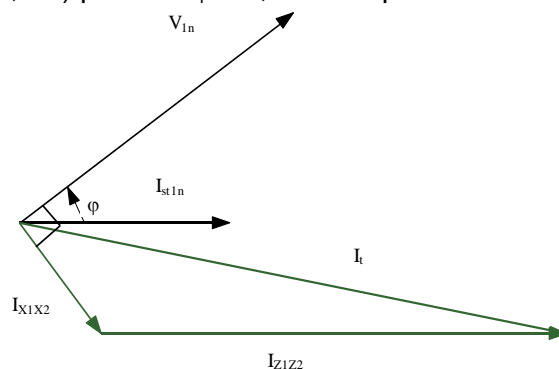
Q82 *Tracer les diagrammes de Rothert (diagramme tension et diagramme courant) pour $\cos\varphi = 0,8$ AR en prenant I_{st} (courant dans une phase) comme origine.*

Tracé des diagrammes de Rothert :



Q83 *Tracer les diagrammes de Fresnel de la composition vectorielle des courants dans les enroulements "Z1; Z2" et "X1; X2" pour $\cos\varphi = 0,8$ AR en prenant I_{st1} comme origine. Comparer ce diagramme à celui de la question précédente. Que peut-on dire de l'amplitude du courant dans l'inducteur ?*

Tracé des diagrammes de Fresnel de la composition vectorielle des courants des enroulements (Z1, Z2) et (X1, X2) pour $\cos\varphi = 0,8$ AR en prenant I_{st} comme origine.



Les diagrammes des questions Q82 et Q83 sont homothétiques.
L'amplitude du courant dans l'inducteur est proportionnelle à la composition vectorielle des 2 courants précédents, cette composition vectorielle de courant est l'image du diagramme des courants de Potier ou Rothert.

Q84 *Que peut-on conclure sur ce dispositif de régulation ?*

Ce dispositif de régulation permet de créer un courant inducteur qui s'adapte au variation du courant débité par l'alternateur et au variation du $\cos\phi$ de la charge pour maintenir une tension de sortie égale à U_n avec une plage de variation de 10% sans signal de retour tension.

EXPLOITATION PÉDAGOGIQUE :

Q85 *Des essais réalisés sur un réseau de faible impédance et sur l'alternateur de 15 kVA ont donné les résultats du document DTC11.*

Commenter les allures des tensions obtenues et justifier la valeur de la tension aux bornes de l'alternateur. Pourquoi le régulateur ne respecte-t-il pas sa précision ?

On peut mesurer la présence d'harmoniques 5 sur la tension et voir que la régulation de tension est réalisée à partir du fondamental de tension.

Quand le taux d'harmonique de tension augmente, la tension de sortie de l'alternateur augmente car le fondamental de tension est régulé à 230 V.