

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

Session 1999

PHYSIQUE APPLIQUÉE



Série : Sciences et Technologies Industrielles

Spécialité : Génie Électrotechnique

Durée de l'épreuve : 4 heures

coefficient : 7

L'usage de la calculatrice est autorisé.

Le sujet comporte 7 pages numérotées de 1 à 7 dont les documents-réponse page 7, à rendre avec la copie.

Le sujet est composé de trois problèmes pouvant être traités de façon indépendante.

Il est rappelé aux candidats que la qualité de la rédaction, la clarté et la précision des raisonnements entreront pour une part importante dans l'appréciation des copies.

PROBLÈME 1 : TRANSFORMATEUR MONOPHASÉ

La notice d'un constructeur donne les caractéristiques d'un transformateur monophasé.

Fréquence $f = 50$ Hz.

Puissance apparente : 100 kVA Tension efficace primaire : 20,0 kV.
Tension efficace secondaire à vide : 410 V.

Pertes à vide sous tension primaire nominale : 0,21 kW.
Pertes par effet Joule en pleine charge : 2,15 kW.

Tension efficace primaire de court-circuit : 4,0 % de la tension efficace primaire nominale (c'est la tension efficace primaire qui permet d'obtenir l'intensité efficace secondaire en court-circuit égale à l'intensité efficace secondaire nominale).

Pour une charge inductive de facteur de puissance 0,80 :
Chute de tension relative au secondaire en pleine charge : 3,75 %.
Rendement en pleine charge : 97 %.

Le transformateur est en pleine charge lorsque l'intensité efficace du courant secondaire est nominale.

- 1) Calculer les intensités efficaces nominales des courants primaire et secondaire.
- 2) Calculer la tension efficace secondaire en pleine charge pour une charge inductive de facteur de puissance 0,80.
- 3) Pour vérifier la valeur donnée par le constructeur, calculer le rendement du transformateur en pleine charge par la méthode des pertes séparées pour une charge inductive de facteur de puissance 0,80.
Comparer avec la valeur de rendement donnée par le constructeur.
- 4) Le modèle équivalent au transformateur vu du secondaire est représenté sur *l'annexe 1 page 5*.
Déterminer la résistance R_s et la réactance X_s de ce modèle.

PROBLÈME 2 : MOTEUR À COURANT CONTINU ALIMENTÉ PAR UN PONT MIXTE

Partie A : Étude du pont mixte

Le secondaire d'un transformateur alimente un pont mixte symétrique dont le schéma est donné sur l'annexe 2 page 5.

Les thyristors et les diodes sont supposés parfaits. La commande des gâchettes des thyristors n'est pas représentée.

Une sonde de courant de sensibilité 100 mV/A est utilisée pour visualiser à l'oscilloscope le courant i_c dans la charge. Simultanément une sonde différentielle (S.D.) réductrice de rapport 1/20 est utilisée pour visualiser la tension u_c aux bornes de la charge.

L'oscillogramme obtenu est représenté sur l'annexe 3 page 5.

La charge du pont redresseur est constituée de l'induit d'un moteur à courant continu à excitation séparée et d'une bobine de lissage considérée comme parfaite. L'excitation du moteur est maintenue constante.

La force électromotrice E du moteur est proportionnelle à la fréquence de rotation : $E = 0,37 n$ (E en V et n en tr/min). La résistance de l'induit du moteur est $R = 120 \text{ m}\Omega$.

1) Déterminer la valeur efficace U et la fréquence f de la tension d'alimentation u du pont.

2) Déterminer :

- le retard t_0 à l'amorçage des thyristors,
- la valeur moyenne $\langle u_c \rangle$ de la tension u_c aux bornes de la charge, sachant que

$$\langle u_c \rangle = \frac{\hat{U}_c}{\pi} (1 + \cos \alpha) \quad (\alpha \text{ est le retard angulaire à l'amorçage des thyristors}).$$

- la valeur moyenne $\langle i_c \rangle$ de l'intensité i_c du courant dans la charge,
- la f.é.m E du moteur,
- la fréquence de rotation du moteur.

3) Étude expérimentale.

3.1. Représenter sur le *document réponse 1* page 7 (à rendre avec la copie) le schéma du montage permettant de visualiser simultanément la tension u et l'intensité i à l'oscilloscope (le symbole de la sonde de courant et de la sonde différentielle réductrice sont représentés sur le document réponse).

3.2. Représenter l'oscillogramme obtenu sur le *document réponse 2* page 7.

4) Le moteur fonctionne à couple constant. L'intensité moyenne $\langle i_c \rangle$ du courant dans l'induit garde la valeur déterminée à la question 2. La fréquence de rotation du moteur doit être réglée à 500 tr/min. Calculer le retard à l'amorçage t_0 des thyristors.

Partie B : Étude du moteur à courant continu

Fomesoutra.com
ça soutra !
 Docs à portée de main

La plaque d'un moteur à courant continu à excitation séparée porte les indications suivantes :

Tension d'alimentation de l'induit : 360 V Intensité du courant dans l'induit : 240 A
 Tension d'alimentation de l'inducteur : 360 V Intensité du courant dans l'inducteur : 8,5 A
 Fréquence de rotation : 900 tr/min.

La machine est parfaitement compensée.

L'annexe 4 page 6 représente les schémas de deux essais réalisés avec ce moteur.

- 1) À partir des résultats de ces deux essais, calculer :
 - la résistance de l'induit ;
 - l'ensemble des pertes dans le fer et des pertes mécaniques noté p_c pour le fonctionnement nominal.
- 2) Pour le fonctionnement nominal, calculer :
 - la puissance absorbée par l'induit et par l'inducteur ;
 - le rendement du moteur.
- 3) Le moteur fonctionne maintenant sous tension d'induit réglable. La tension d'alimentation de l'inducteur et l'intensité du courant dans l'inducteur ont leurs valeurs nominales. Le moteur fonctionne à couple électromagnétique constant égal au couple électromagnétique nominal.
 - 3.1. Montrer que l'intensité du courant dans l'induit est égale à sa valeur nominale.
 - 3.2. La tension d'alimentation de l'induit est réglée à 215 V. Calculer la fréquence de rotation du moteur.
 - 3.3. Citer le nom de deux convertisseurs permettant d'obtenir une tension moyenne réglable. Préciser pour chacun d'eux le type d'alimentation utilisée.



PROBLÈME 3 : CHUTE DE TENSION DUE À UNE LIGNE TRIPHASÉE

Aucune connaissance sur les lignes triphasées n'est nécessaire.

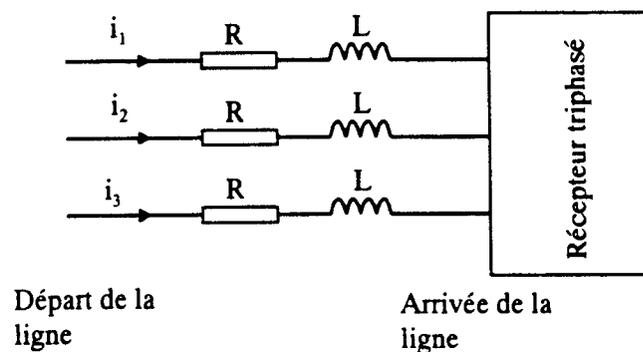
Une ligne triphasée moyenne tension alimente un récepteur triphasé équilibré qui consomme une puissance active de 4,20 MW et qui impose un facteur de puissance de 0,938.

Chaque fil de ligne a pour résistance $R = 2,43 \Omega$ et pour inductance $L = 11,2 \text{ mH}$.

La tension efficace entre phases à l'arrivée de la ligne est $U_A = 20,0 \text{ kV}$.

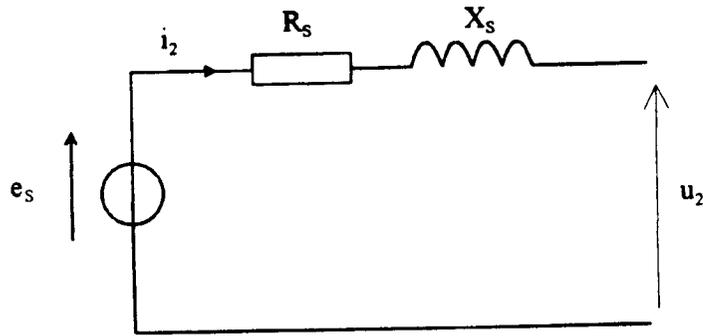
La fréquence de la tension est 50 Hz.

Le but du problème est de calculer la chute de tension due à la ligne.

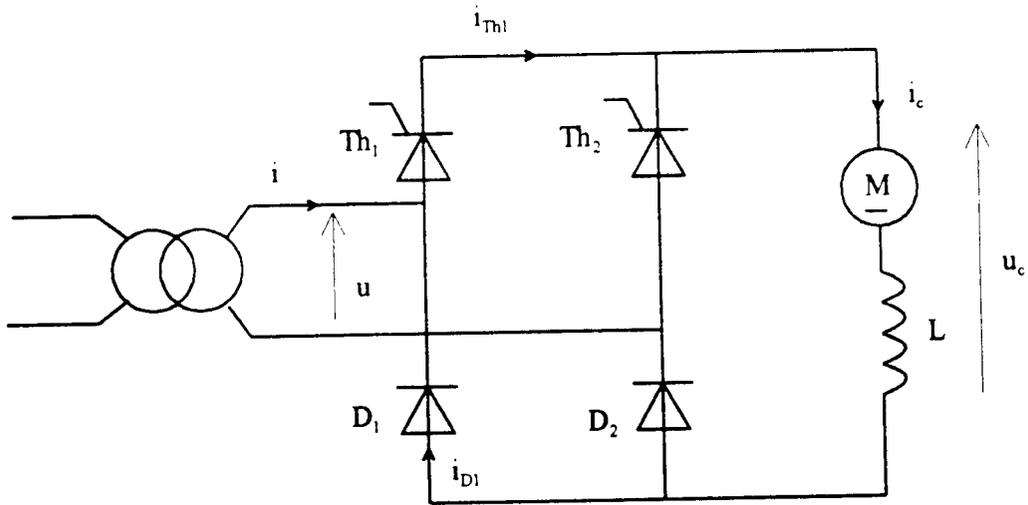


- 1) Calculer l'intensité efficace I du courant dans un fil de ligne.
- 2) Pour la ligne, calculer
 - la puissance active consommée,
 - la puissance réactive consommée (rappel : la puissance réactive consommée par une bobine d'inductance L parcourue par un courant d'intensité efficace I et de pulsation ω est $Q = L\omega I^2$).
- 3) Pour l'ensemble {ligne + récepteur}, calculer
 - la puissance active consommée,
 - la puissance réactive consommée,
 - la puissance apparente consommée
- 4) En déduire la tension efficace entre phases U_D au départ de la ligne.

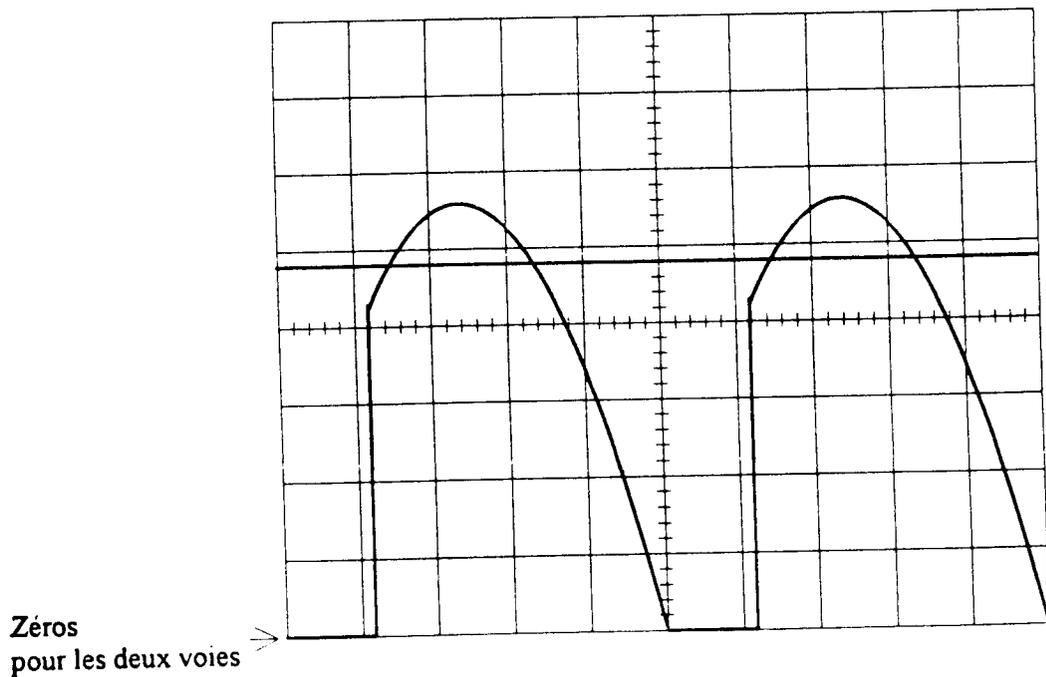
PROBLÈME 1 : ANNEXE 1



PROBLÈME 2, PARTIE A : ANNEXE 2



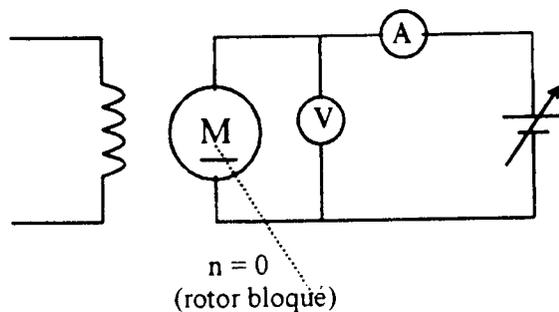
PROBLÈME 2, PARTIE A : ANNEXE 3



Calibres : 5 V/div pour les deux voies.
 Base de temps : 2 ms/div.

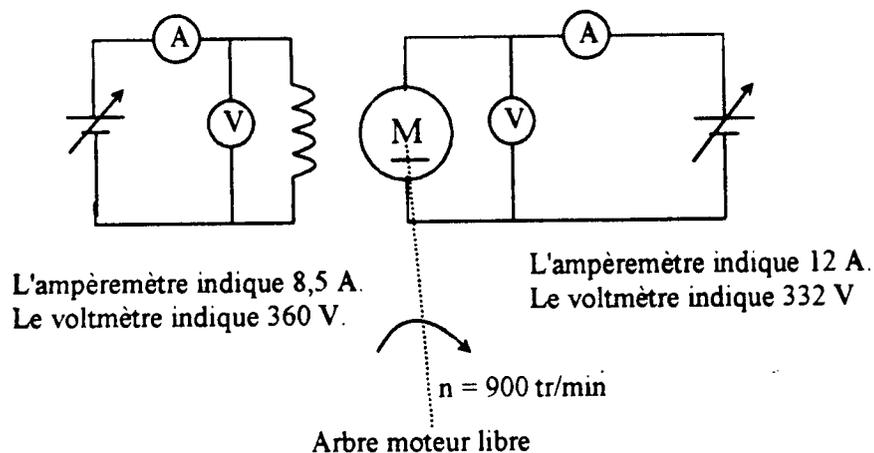
PROBLÈME 2, PARTIE B : ANNEXE 4

Essai 1 :



Une pince ampèremétrique (symbolisée par un ampèremètre) indique 240 A.
 Le voltmètre indique 28,8 V.

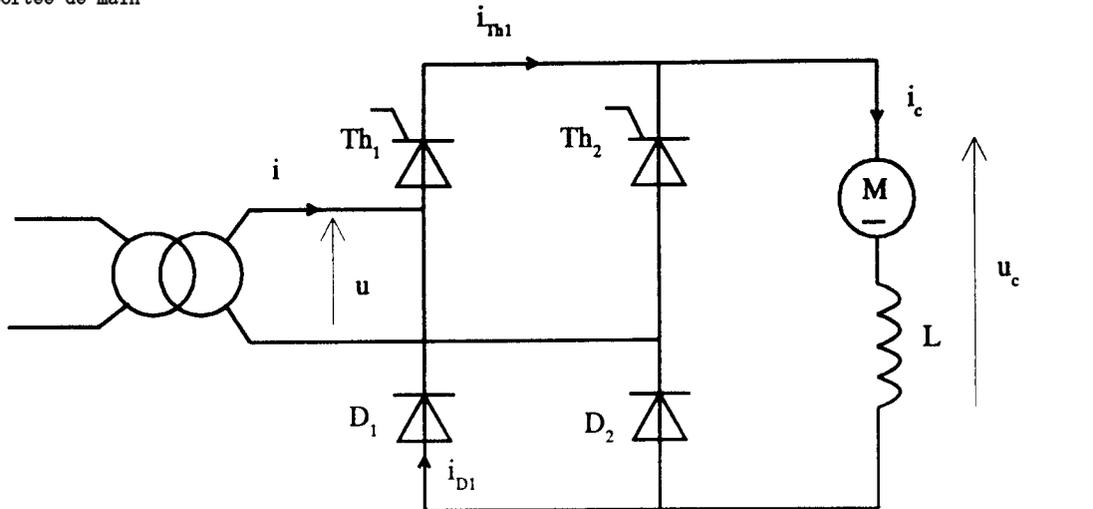
Essai 2 :



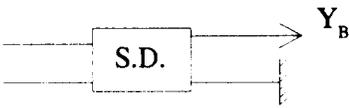
L'ampèremètre indique 8,5 A.
 Le voltmètre indique 360 V.

L'ampèremètre indique 12 A.
 Le voltmètre indique 332 V

PROBLÈME 2, PARTIE A : DOCUMENT RÉPONSE 1

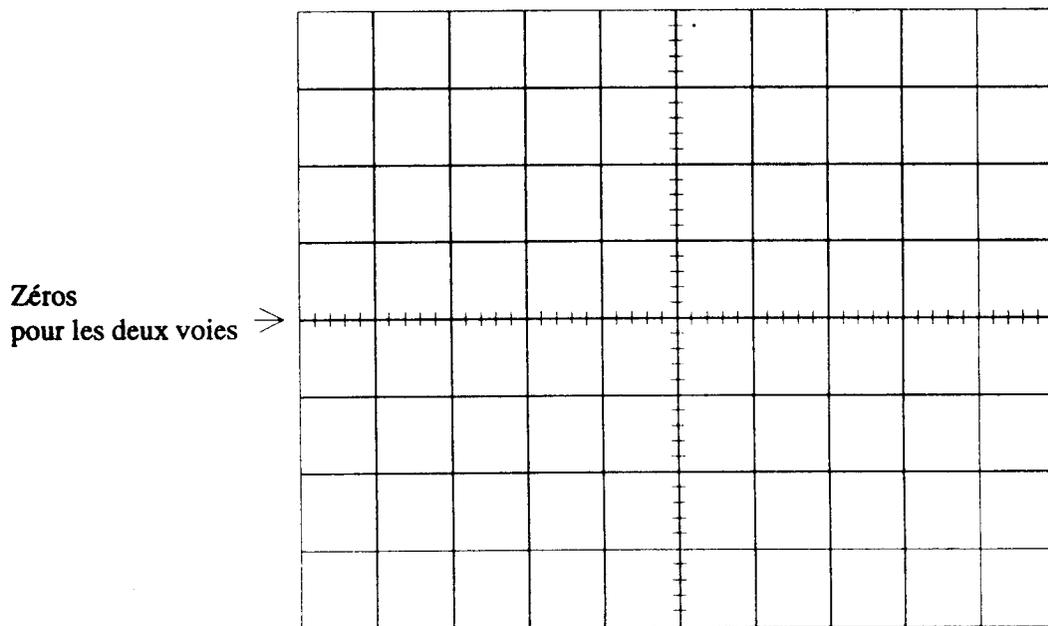



Sonde de courant
 reliée à la voie Y_A d'un oscilloscope



Sonde différentielle de tension
 reliée à la voie Y_B d'un oscilloscope

PROBLÈME 2, PARTIE A : DOCUMENT RÉPONSE 2



Sensibilité de la sonde de courant : 100 mV/A.
 Rapport de réduction de la sonde de tension : 1/20.
 Calibres : 10 V/div sur les deux voies.
 Base de temps : 2 ms/div.

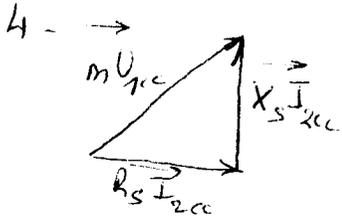
Problème 1

1 - $I_{1N} = \frac{S_N}{U_1} = \frac{100000}{20000} = 5A$ et $I_{2N} = \frac{S_N}{U_{1V}} = \frac{100000}{410} = 244A$.

2 - $U_{2N} = U_{2V} - \frac{3,75 \cdot U_{2V}}{100} = 395V$

3 - $\eta = \frac{P_2}{P_2 + F + C} = \frac{100000 \times 0,8}{100000 \times 0,8 + 210 + 2150} = 97,4\%$.

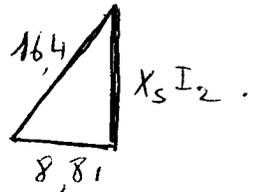
Ce rendement est comparable aux rendement constructeur.



$U_{1cc} = \frac{4}{100} \cdot 100000 \cdot 800V$

$m = \frac{U_{2V}}{U_1} = \frac{410}{20000} = 0,0205$

$R_s I_2 = \frac{C}{I_2} = 8,81V$



$R_s = 36 m\Omega$ et $X_s = \frac{1}{I_2} \sqrt{16,4^2 - 8,81^2} \Rightarrow X_s = 57 m\Omega$

Problème 2

1 - d'après l'ouillagegramme - $U = 5 \times 20 \times 5,6 = 560V \Rightarrow U = \frac{U}{\sqrt{2}} = 396V$

$T = 20ms \Rightarrow f = 50Hz$

2 - retard? 1,2 division soit 2,4ms.

$\langle u_c \rangle ? \langle u_c \rangle = \frac{U}{\pi} (1 + \cos \alpha)$ $\alpha = \frac{2\pi \times 12}{10} rad \Rightarrow \langle u_c \rangle = 311V$

$\langle i_c \rangle ? 4,8 \times 5 = 24V$ à la sonde soit $\langle i_c \rangle = 240A$.

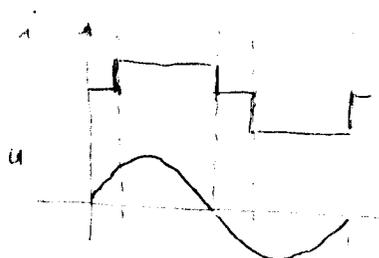
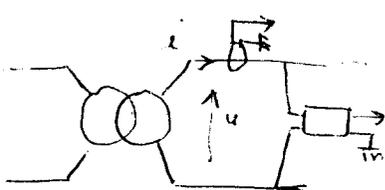
$E = \langle u_c \rangle - R \langle i_c \rangle \Rightarrow$

$E = 282V$

$n = E / 0,37$

$n = 762 tr/min$

3 -



4 - $E = 0,37n = 185V$; $\langle U \rangle = 185 + 0,12 \times 240 = 213,8V \Rightarrow \cos \alpha = 0,2 \Rightarrow t_0 = 43ms$

Problème 2 PARTIE B

1. $R_a = \frac{28,8}{240} = 120m\Omega$

$P_v = P_c + R I_v^2 \Rightarrow P_c = 332 \times 12 - 0,12 \times 12^2$

$P_c = 3967W$

2 - $P_{a\text{induit}} = 360 \times 240 = 86400W$ et $P_{a\text{inductem}} = 360 \times 8,5 = 3060W$

3 - $\eta = \frac{P_a - P_{a\text{inductem}}}{P_a} = \frac{86400 - 3967 - 0,12 \times 240^2}{86400 + 3060} = \frac{75520}{89460} = 84,4\%$

3 - $I_{ex} = i^2 \Rightarrow \phi = i t_0$ or $T = k \phi I$ donc $T = i t_0$ et $\phi = i t_0 \Rightarrow I = i t_0$

$E_2 = 215 - 0,12 \times 240 = 186V$ } $\frac{n}{500} = \frac{186}{331} \Rightarrow n = 506 tr/min$

hacheur alimenté en DC et redresseur commande alimenté en AC

Problème 3. chute de tension due à une ligne triphasée

$$1. I = \frac{P_a}{U\sqrt{3}\cos\varphi} = \frac{4200000}{20000 \times \sqrt{3} \times 0,938} = 129,3 \text{ A.}$$

2. la puissance active consommée en ligne est due à l'effet Joule.

$$P_{aL} = 3 \times 2,43 \times (129,3)^2 = 121,8 \text{ kW.}$$

la puissance réactive Q_{aL} est consommée dans les inductances.

$$Q_{aL} = 3 \cdot L\omega I^2 = 3 \times 0,0112 \times 2 \times \pi \times f \times (129,3)^2$$

$$Q_{aL} = 176400 \text{ VAR.}$$

3. d'après le théorème de Boucherot.

$$P_T = P_{a\text{recepten}} + P_{a\text{ligne}} = 4322 \text{ kW.}$$

$$Q_T = Q_{a\text{recepten}} + Q_{a\text{ligne}} = 1728 \text{ kVAR.}$$

$$S_T = \sqrt{P_T^2 + Q_T^2} = 4655 \text{ kVA.}$$

4. au départ de ligne $U_D I_D \sqrt{3} = S_T$

$$U_D = \frac{4655000}{129,3 \times \sqrt{3}} = \underline{20,78 \text{ kV}}$$