

# BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

Session 2005

## 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 9 pages numérotées de 1 à 9. Les pages 7,8 et 9 des documents réponse sont à rendre avec la copie.*

*Le sujet est composé de deux 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**  
**TABLE DE CUISSON A INDUCTION**  
(La partie A et la partie B sont indépendantes)

Le problème proposé concerne l'étude du fonctionnement d'une plaque de cuisson utilisant le chauffage par induction. Dans ce système dont le principe est représenté sur *figure 1* (page 6), un onduleur de tension alimente une charge résonante constituée d'un inducteur associé en série avec un condensateur. L'inducteur crée dans la casserole à fond ferromagnétique un champ électromagnétique variable. Il apparaît des courants de Foucault produisant par effet Joule l'échauffement de la casserole puis des aliments.

L'inducteur plat, associé au récipient, se comporte comme une charge inductive composée d'une inductance  $L$  en série avec une résistance  $R$ .

Pour un récipient donné, le constructeur fournit les valeurs que l'on adoptera pour la suite du problème :

$$R = 2,4 \, \Omega, L = 50 \, \mu\text{H} \text{ et } C = 1,2 \, \mu\text{F}.$$

***PARTIE A : Étude de la charge résonante***

On s'intéresse dans cette partie à la charge RLC série alimentée par une tension  $v(t)$  que l'on supposera purement sinusoïdale, de valeur efficace  $V$  constante et de fréquence réglable  $f$ .

**1- Fonctionnement à la fréquence de résonance**

On considère le circuit alimenté par une tension sinusoïdale de valeur efficace  $V$ , dont la fréquence correspond à la fréquence de résonance  $f_0$ , parcouru par un courant d'intensité  $I_0 = 55\text{A}$ .

1.1 À la résonance, on rappelle que les impédances respectives de l'inductance et du condensateur ont le même module. Montrer que cette propriété permet d'établir la relation :  $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ .

Donner sa valeur numérique avec 2 chiffres significatifs, valeur que l'on adoptera pour la suite du problème.

1.2 Exprimer en fonction des données les tensions efficaces  $V_R$ ,  $V_L$  et  $V_C$ . Calculer leur valeur numérique.

1.3 Quelle relation existe-t-il entre les vecteurs de Fresnel  $\vec{V}$ ,  $\vec{V}_R$ ,  $\vec{V}_L$  et  $\vec{V}_C$  ?

1.4 Compléter la *figure 2 du document réponse 1* (page 7), en représentant les vecteurs de Fresnel  $\vec{V}_R$ ,  $\vec{V}_L$  et  $\vec{V}_C$ .

En déduire la construction graphique du vecteur  $\vec{V}$ .

1.5. À l'aide de la construction graphique précédente, calculer l'impédance notée  $Z_0$  de la charge RLC à la fréquence de résonance  $f_0$ . Commenter le résultat obtenu. Justifier que cette impédance correspond à l'impédance minimale.

**2-Puissance absorbée par la charge RLC**

2.1 Donner l'expression des puissances actives consommées par chaque élément  $R$ ,  $L$  et  $C$  de la charge résonante.

2.2 Montrer que la puissance active absorbée par la charge résonante vérifie la relation  $P = RI^2$ , quelle que soit la valeur de la fréquence

2.3 On a relevé sur la *figure 1 du document réponse n°1* (page 7) l'évolution de la puissance absorbée en fonction de la fréquence d'alimentation  $f$  de la tension  $v(t)$ .

Justifier le fait que cette courbe présente un maximum.

2.4 Repérer graphiquement sur la *figure 1 du document réponse n°1 (page 7)* la fréquence de résonance  $f_0$  et la puissance  $P_0$  correspondante

2.5 En déduire que l'intensité  $I_0$  parcourant le circuit RLC à la résonance est proche de 55 A.

## ***PARTIE B : Étude du fonctionnement de l'onduleur***

La tension  $v(t)$  alimentant la charge résonante est en fait délivrée par l'onduleur représenté sur la *figure 2 située page 6*, comprenant deux interrupteurs commandés bidirectionnels  $K_1$  et  $K_2$ , réalisés chacun par l'association antiparallèle d'une diode et d'un transistor.

Les interrupteurs  $K_1$  et  $K_2$  sont commandés de façon complémentaire.  $K_1$  est fermé pendant la première demi-période ( $0 < t < T/2$ ),  $K_2$  est fermé pendant la seconde demi-période ( $T/2 < t < T$ ).

**Les semi-conducteurs sont considérés comme idéaux**, les transistors  $T_1$  et  $T_2$  sont soit bloqués soit saturés. Le dispositif de commande des interrupteurs n'est pas représenté sur le schéma et ne sera pas étudié dans ce problème. La tension de l'alimentation continue a point milieu a pour valeur  $E = 300V$ .

### **1. Étude de la phase de conduction $0 < t < T/2$**

1.1 Établir, à l'aide d'un schéma équivalent dans lequel vous remplacerez  $K_1$  et  $K_2$  par leur modèle équivalent (interrupteur ouvert ou fermé), l'expression de la tension  $v(t)$  en fonction de la tension  $E$ .

1.2 Déterminer la relation simple existant entre  $i_{K1}(t)$  et  $i(t)$ .

1.3 Dans cette phase de conduction, un courant  $i(t)$  positif est-il conduit par la diode  $D_1$  ou par le transistor  $T_1$ ? Justifier la réponse.

1.4 Même question si le courant  $i(t)$  négatif.

1.5 Dans cette phase, quelle est la valeur de l'intensité du courant  $i_{K2}(t)$  ?

### **2. Étude de la phase de conduction $T/2 < t < T$**

2.1 Établir, à l'aide d'un schéma équivalent dans lequel vous remplacerez  $K_1$  et  $K_2$  par leur modèle équivalent (interrupteur ouvert ou fermé), l'expression de la tension  $v(t)$  en fonction de la tension  $E$ .

2.2 Déterminer la relation simple existant entre  $i_{K2}(t)$  et  $i(t)$ .

2.3 Dans cette phase, quelle est la valeur de l'intensité du courant  $i_{K1}(t)$  ?

### **3. Formes d'ondes et diagramme de conduction**

En utilisant les résultats précédents et l'allure du courant  $i(t)$  donnée sur la *figure 3a* du document réponse n°2 (*page 8*):

3.1 Déterminer la fréquence de fonctionnement de l'onduleur.

3.2 Représenter, sur la *figure 3b du document réponse n°2*, l'évolution de la tension  $v(t)$ .

3.3 Compléter, sur la *figure 3c du document réponse n°2*, le diagramme de conduction précisant quel est l'élément semi-conducteur passant.

3.4 Représenter, sur la *figure 3d du document réponse n°2*, l'évolution du courant  $i_{K2}(t)$ .

3.5 Représenter, sur la *figure 3e du document réponse n°2*, l'évolution du courant  $i_{D2}(t)$ .

## Problème 2

### MOTORISATION D'UNE VOITURE ÉLECTRIQUE (Les parties A, B et C peuvent être résolues de manière indépendante)

On étudie dans ce problème une voiture électrique (106 Vedelic) motorisée par une machine synchrone à aimants permanents pouvant fonctionner en moteur ou en générateur (mode freinage électrique). Pour pouvoir fonctionner dans ces deux modes, la machine synchrone est alimentée par un onduleur de tension triphasé, lui-même commandé par une structure d'asservissement particulière appelée « autopilotage », comme le représente la figure 3 page 6.

#### A. Modélisation simplifiée d'une phase de la machine synchrone.

Pour obtenir un modèle de la machine synchrone, on entraîne son arbre à vitesse constante à l'aide d'un moteur auxiliaire. On adopte la modélisation simplifiée de la machine synchrone représentée figure 4 (page 6).

On néglige donc la résistance statorique d'un enroulement devant la réactance synchrone  $X_S$ .

##### 1. Force électromotrice E

La machine synchrone possède 8 pôles, 8 conducteurs actifs par enroulement et l'aimant permanent développe un flux maximum par pôle  $\Phi_{\max} = 20 \text{ mWb}$ . Le coefficient de Kapp de cette machine est égal à 2,22.

1.1 Rappeler la loi liant la valeur efficace E de la f.é.m. à la fréquence n de rotation du rotor, exprimée en  $\text{tr.s}^{-1}$ .

1.2 Mettre cette relation sous la forme  $E = a N$ , avec  $a = 23,7 \cdot 10^{-3} \text{ V.min.tr}^{-1}$ .

N correspond à la fréquence de rotation de la machine synchrone exprimée en  $\text{tr.min}^{-1}$ .

1.3 Calculer la f.é.m E lorsque la machine synchrone tourne à  $5000 \text{ tr.min}^{-1}$ .

##### 2. Essai en court-circuit

On effectue un essai en court-circuit à la vitesse  $N = 5000 \text{ tr.min}^{-1}$ .

On mesure :  $E_{CC} = 118,5 \text{ V}$  et  $I_{CC} = 283 \text{ A}$ .

2.1 Calculer, lors de cet essai, la fréquence f des tensions fournies par l'alternateur.

2.2 Démontrer à l'aide d'un schéma la relation  $E_{CC} = Z_S \cdot I_{CC}$  où  $Z_S$  désigne l'impédance complexe de l'inductance  $L_S$ .

2.3 Montrer que cet essai permet de déterminer successivement les valeurs de l'impédance  $Z_S$ , puis de l'inductance :  $L_S = 0,2 \text{ mH}$ .

## ***B. Utilisation de la machine synchrone en alternateur : freinage électrique***

On étudie dans cette partie le fonctionnement de la machine synchrone lorsque la voiture dévale une pente. L'arbre moteur de la machine synchrone est alors naturellement entraîné par les roues. La machine synchrone fonctionne donc en alternateur, ce qui permet de fournir de la puissance électrique vers les batteries, et par la même occasion de freiner le véhicule (freinage électrique).

On suppose dans cette partie que le frein moteur permet de maintenir constante la vitesse du véhicule (69 km/h). Ceci impose une fréquence de rotation de l'arbre constante  $N = 5000 \text{ tr.min}^{-1}$ , identique à la fréquence de rotation utilisée dans la partie précédente.

Dans ces conditions, on a mesuré l'intensité efficace parcourant chaque phase :  $I = 155 \text{ A}$ .

Le dispositif de commande impose la valeur de l'angle  $\alpha = (\vec{E}, \vec{I}) = -58,5^\circ$ .

1. A partir du schéma équivalent figure 4 (page 6), donner la relation vectorielle existant entre  $\vec{V}_{LS}$ ,  $\vec{V}$  et  $\vec{E}$ .
2. Calculer les valeurs efficaces  $E$  et  $V_{LS}$ .
3. Compléter le diagramme de Fresnel sur la figure 4 du document réponse n°3 (page 9).
4. En déduire graphiquement la valeur efficace  $V$  puis la valeur approximative de la différence de phase  $\varphi = (\vec{I}, \vec{V})$  existant entre la tension  $v(t)$  et le courant  $i(t)$ .
5. Donner l'expression littérale de la puissance électrique  $P$  fournie par la machine synchrone triphasée vers les batteries puis calculer sa valeur numérique.

## ***C. Fonctionnement moteur à vitesse maximale***

La voiture évolue maintenant sur terrain plat à vitesse maximale ( $v = 110 \text{ km/h}$ ), soit  $N = 8000 \text{ tr.min}^{-1}$ . La machine synchrone fonctionne donc en moteur.

Elle fournit un couple moteur utile de moment  $T_u = 23 \text{ N.m}$ , le courant efficace dans chaque enroulement vaut  $I = 134 \text{ A}$  et l'angle  $\alpha$  est maintenu constant à la valeur  $\alpha = (\vec{E}, \vec{I}) = 75^\circ$ .

1. On adopte dans cette partie une convention récepteur. Représenter le modèle équivalent d'une phase du moteur en tenant compte de cette convention.
2. Quelle est la fréquence  $f$ ? En déduire  $Z_{LS}$ , puis calculer  $V_{LS}$

Donner la relation vectorielle existant entre  $\vec{V}_{LS}$ ,  $\vec{V}$  et  $\vec{E}$ .

3. Compléter le diagramme de Fresnel sur la figure 5 du document réponse n°3 (page 9). On notera que la valeur de  $E$  est imposée.
4. En déduire graphiquement la valeur de  $V$  et celle du déphasage  $\varphi$ .
5. Exprimer littéralement, puis calculer, la puissance électrique  $P_a$  absorbée par le moteur synchrone triphasé.
6. En déduire le rendement du moteur dans cette phase de fonctionnement.

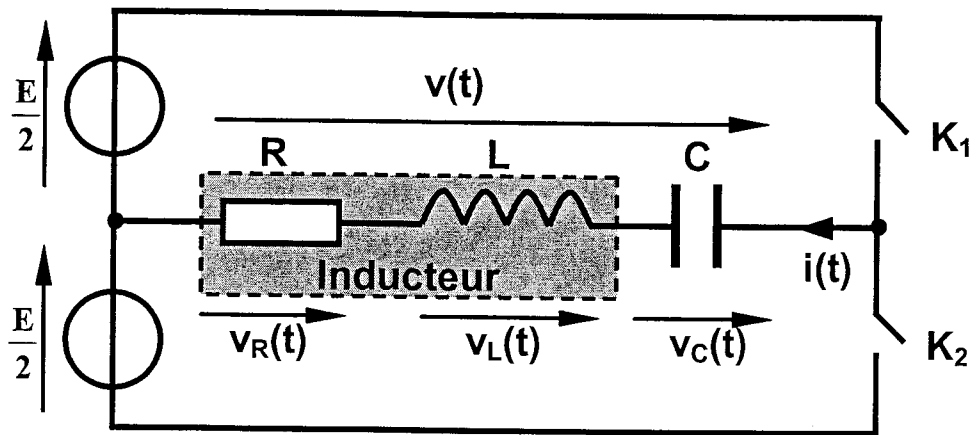


Figure 1

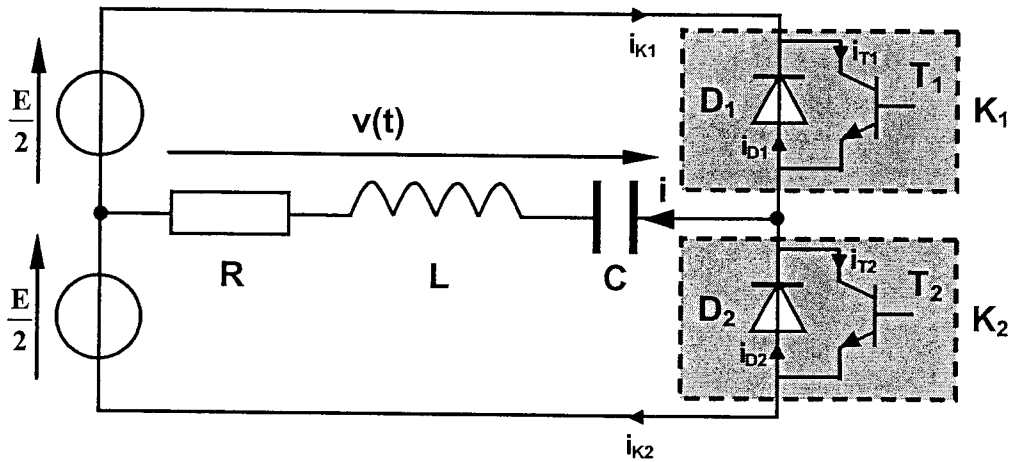


Figure 2

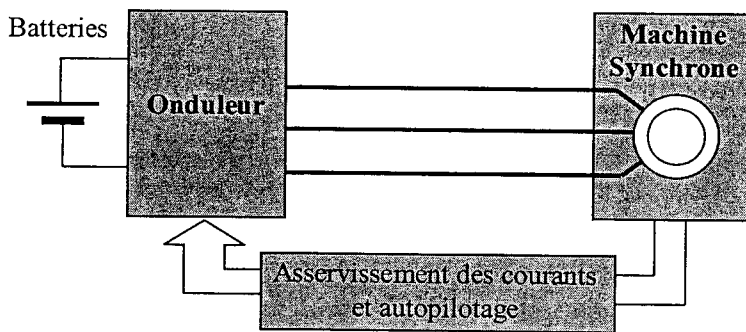


Figure 3

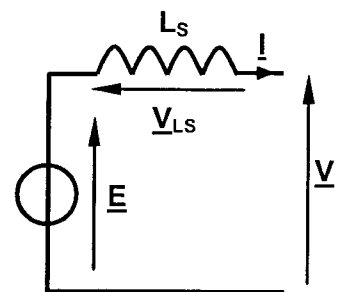


Figure 4

Document réponse n°1 (à joindre avec la copie)

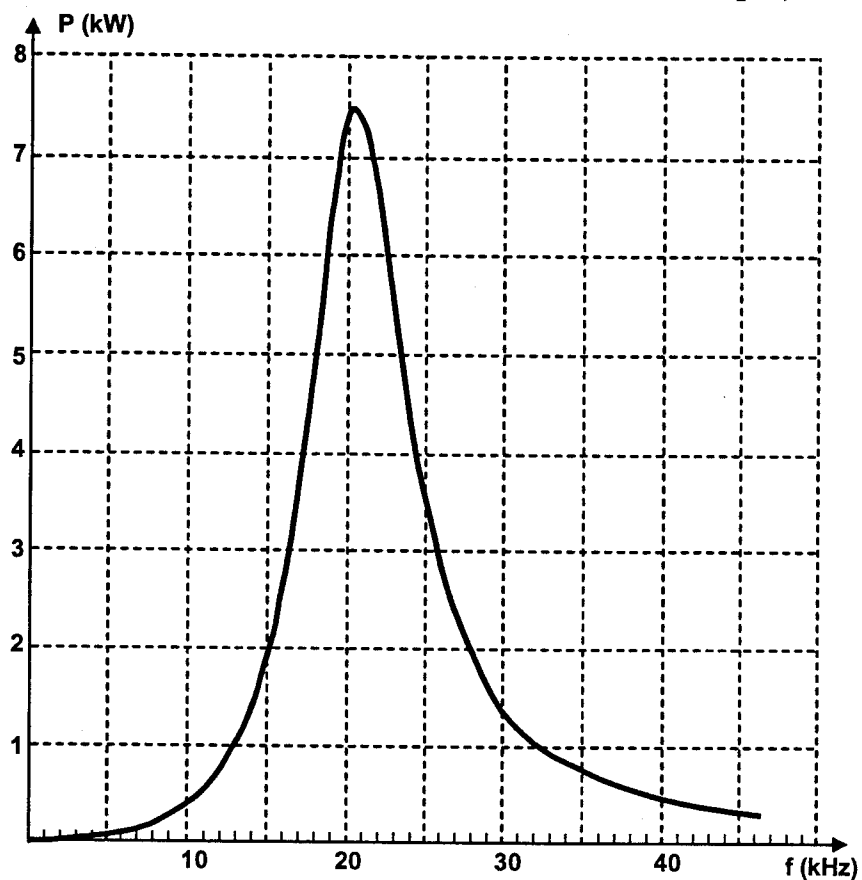


Figure 1

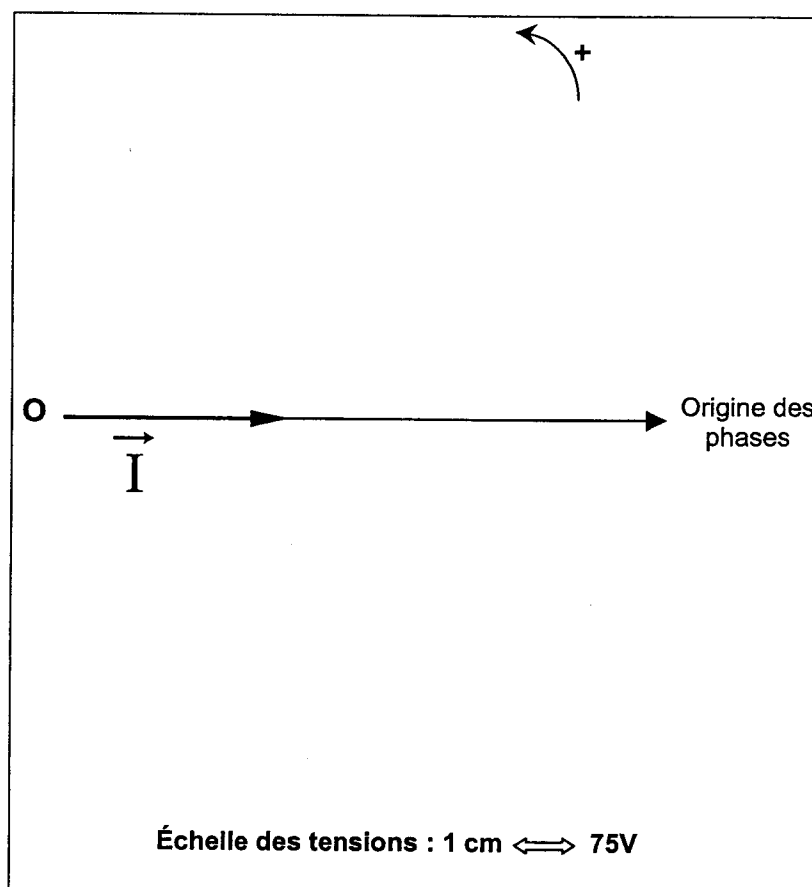


Figure 2

Figure 3 a

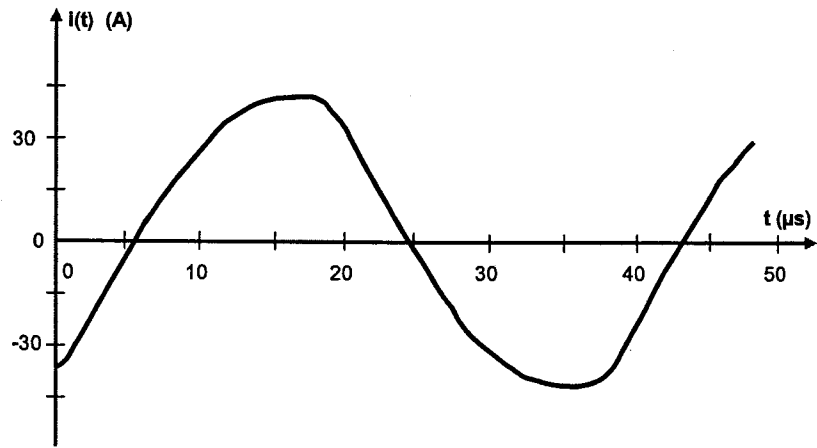


Figure 3 b

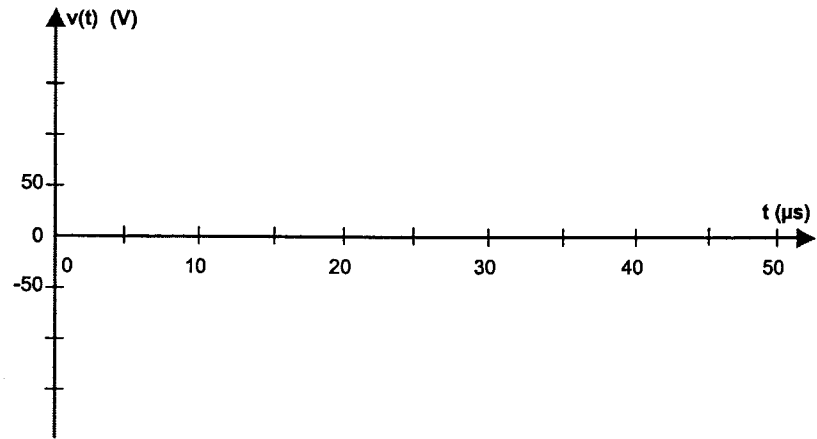


Figure 3 c

élément passant

Figure 3 d

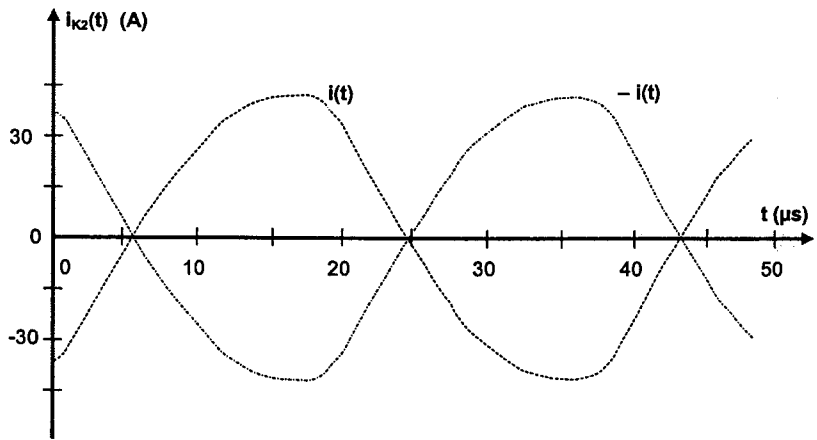
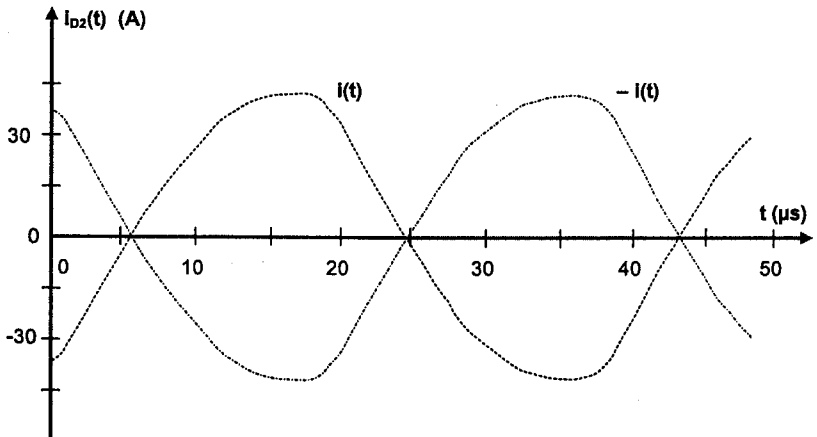


Figure 3 e



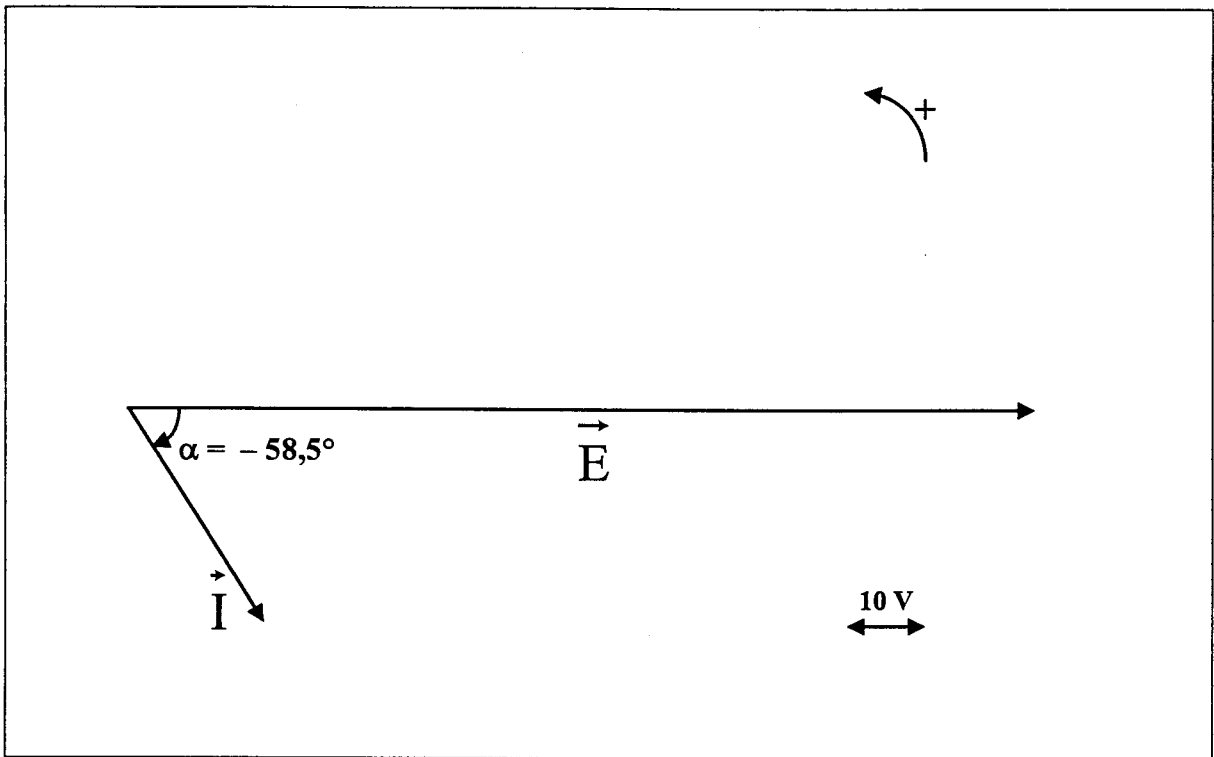


Figure 4

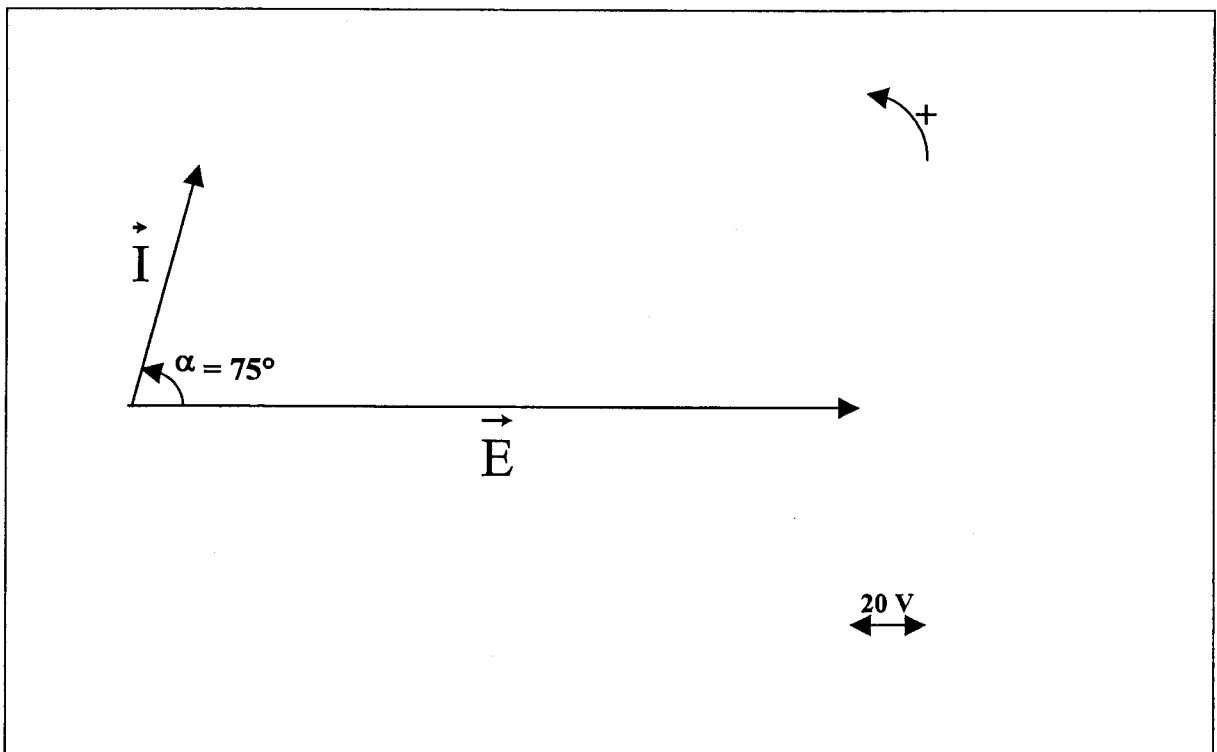


Figure 5